

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE METAS DE RECOLECCIÓN Y VALORIZACIÓN PARA EL PRODUCTO PRIORITARIO “PILAS Y APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS” CONTENIDO EN LA LEY 20.920

Febrero de 2022

Presentación

El presente informe corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de metas de recolección y valorización para el producto prioritario “*Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos*” contenido en la *Ley 20.920 Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje*.

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de proponer políticas y formular normas, planes y programas en materia de residuos y otras sustancias que puedan afectar el medio ambiente, según lo establecido en la letra g) del Artículo 70 de la *Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. En este contexto, y en el marco de lo que contempla la Ley 20.920, es atribución del Ministerio el establecimiento de metas de recolección y valorización para los residuos de productos prioritarios predefinidos. Corresponde al MMA además, según el Título Tercero, Párrafo 2°, Artículo 25 del Decreto Supremo N°8 *Reglamento que regula el Procedimiento de Elaboración de los Decretos Supremos establecidos en la Ley N° 20.920*, elaborar un AGIES del Anteproyecto de Decreto Supremo (DS) que establezca metas de recolección y valorización de residuos y otras obligaciones asociadas de los productos prioritarios establecidos en esta ley. En particular, el AGIES debe evaluar, considerando la situación actual y la situación con Anteproyecto, los costos que implique el cumplimiento del Anteproyecto de metas, así como sus principales beneficios y deberá ser realizado dentro del plazo de elaboración del Anteproyecto.

El proceso de elaboración de un Decreto Supremo que establezca metas de recolección y valorización, desde el desarrollo del Anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

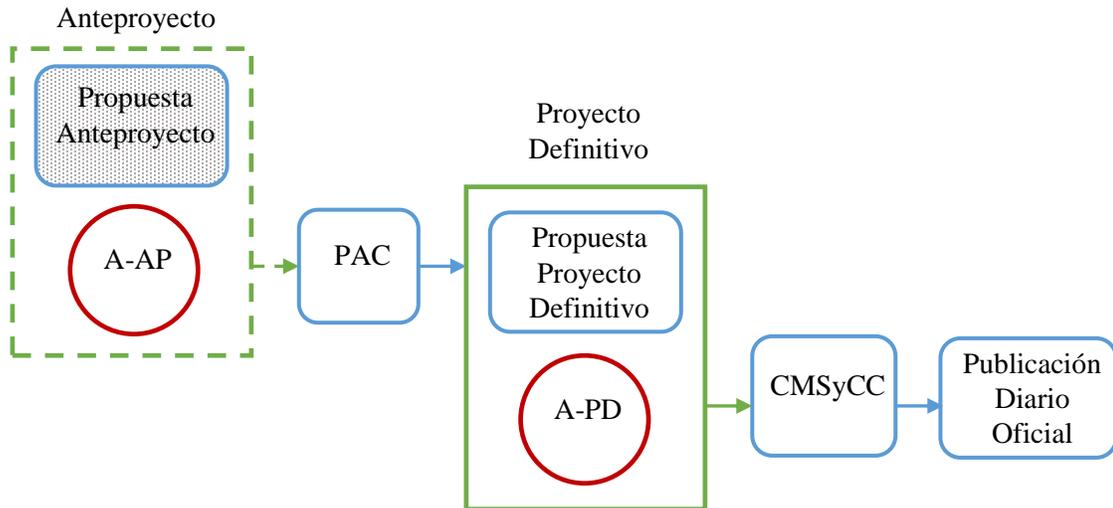
- AGIES del Anteproyecto (A-AP), para apoyar el proceso de participación ciudadana,

- Actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo (A-PD), que corresponde a una actualización de los valores del AGIES de Anteproyecto en base a antecedentes surgidos de la etapa de Participación Ciudadana (PAC), para apoyar al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático (CMSyCC) en la toma de decisión, de conformidad con lo dispuesto en el Artículo 71, Letra f), de la Ley 19.300.

Es importante señalar que estos documentos son un apoyo a la toma de decisión de la autoridad y sirven para nutrir los procesos de Participación Ciudadana, el Consejo Consultivo y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático, por lo que no deben ser considerados como los únicos o definitivos instrumentos de evaluación. Tanto el AGIES del Anteproyecto como la actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo corresponden solamente a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión; otros antecedentes corresponden, por ejemplo, a consideraciones geográficas y demográficas, datos históricos, situación política, entre otros.

El presente documento corresponde al AGIES del Anteproyecto (A-AP) de Decreto Supremo que establece metas de recolección y valorización del producto prioritario “Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos”; en línea con el proceso de elaboración del DS esquematizado en la Figura 1.

Figura 1: Etapa Actual del AGIES



Fuente: Elaboración propia

En este análisis, y según la mejor información disponible por el MMA, se evalúa el cumplimiento del Anteproyecto de metas de recolección, valorización y otras obligaciones asociadas para pilas y aparatos eléctricos y electrónicos. Se estiman los beneficios económicos, sociales y ambientales producto de la reducción en la cantidad de residuos que se destinan a eliminación y el aumento de las cantidades que se recolectan y valorizan. Además, se estiman los costos que implica el cumplimiento de las metas dadas por las mayores necesidades de recolección y valorización.

Resumen

El presente documento muestra la metodología y resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de Decreto Supremo que establece metas de recolección y valorización y otros aspectos regulatorios para el producto prioritario *Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEEP)*, definido por la Oficina de Implementación Legislativa y Economía Circular del MMA.

La regulación considera metas graduales de recolección y valorización para las pilas y los AEE en un plazo de 10 años. Además, se define una meta específica de recolección para la subcategoría *Aparatos de Intercambio de Temperatura (AIT)*. Las metas se establecen en relación a la cantidad de *AEEP* puesta en el mercado el año inmediatamente anterior, mientras que los regulados corresponden a productores que enajenan los productos.

El AGIES evalúa los beneficios y costos asociados al cumplimiento de las metas de recolección y valorización definidas en el Anteproyecto en un horizonte de 10 años (2023-2032). Los resultados indican lo siguiente¹:

- Los beneficios cuantificados por aumento en recolección y valorización, y menores desamenidades, se estiman en US\$ 391,5 millones en valor presente.
- Los costos monetizados por la recolección, transporte, pretratamiento, valorización, administración, y garantía del Sistema de Gestión se estiman en US\$ 328,1 millones en valor presente.

La valoración de los beneficios y costos para la regulación propuesta indica que su implementación tiene asociada una razón beneficio-costos de 1,2.

¹ Se considera el tipo de cambio promedio para 2021: CLP/USD 759,07 (https://www.sii.cl/valores_y_fechas/dolar/dolar2021.htm)

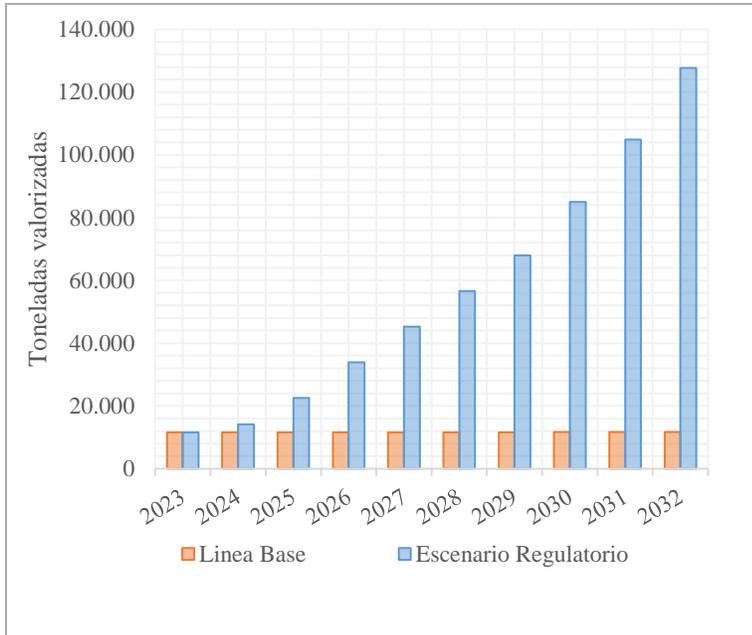


Figura A: Cantidad de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos recolectadas y valorizadas en línea base y escenario regulatorio

La Figura A muestra las toneladas de residuos de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos recolectadas en el horizonte de evaluación considerando el escenario regulatorio y la línea base.

La línea base corresponde a la proyección de las cantidades de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos y Pilas recolectadas y valorizadas en el año base (2019). El escenario regulatorio muestra las cantidades totales recolectadas debido al cumplimiento de las metas.

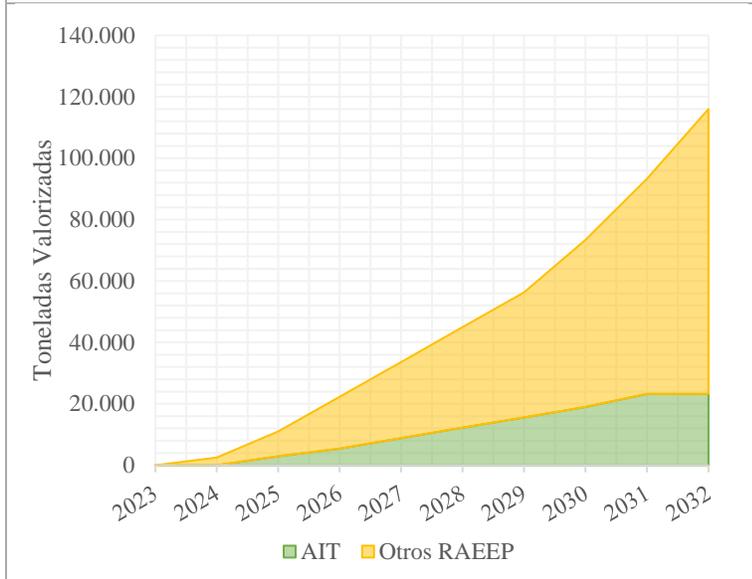


Figura B: Distribución del adicional recolectado y valorizado debido a la regulación según subdivisión.

La Figura B muestra el aporte al total adicional valorizado como consecuencia de la regulación de las dos subdivisiones consideradas en la evaluación para pilas y aparatos eléctricos y electrónicos.

(AIT: Aparatos de intercambio de temperatura)

Indicador	Valor
Valor Presente de Beneficios al 2022 (MM USD)	391,5
Valor Presente de Costos al 2022 (MM USD)	328,1
Razón B/C	1,2

Tabla A: Beneficios, costos y razón B/C.

La tabla A muestra los valores presentes en millones de dólares (VP MM USD) del beneficio y el costo del cumplimiento de las metas de recolección y valorización, así como costos administrativos y operativos de un sistema de gestión. Además, se muestra la razón beneficio-costo.

El horizonte de evaluación corresponde a 2023-2032, donde el valor presente se calcula al año 2022 considerando una tasa de descuento de 6% (MIDESO, 2018).

Contenido

Resumen	3
Índice de Figuras	6
Índice de Tablas.....	7
Acrónimos y Abreviaturas.....	9
1 Antecedentes	10
1.1 Regulación a Evaluar	11
2 Metodología AGIES para metas REP	13
2.1 Metodología General	13
2.2 Metodología específica AGIES para Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos .	14
3 Línea Base	17
3.1 Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos puestos en el Mercado	18
3.2 Residuos de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos.....	18
3.3 Recolección, Valorización y Distribución de residuos de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos	20
4 Resultados	22
4.1 Línea Base proyectada	22
4.2 Toneladas recolectadas y valorizadas	25
4.3 Costos asociados a las metas de recolección y valorización.....	28
4.4 Beneficios asociados a las metas de recolección y valorización	29
4.5 Indicadores económicos.....	31
5 Conclusiones	32
6 Referencias	33
7. Anexos Metodológicos.....	34
Anexo A Línea Base	35
Anexo B Modelación y estimación de Costos.....	42
Anexo C Modelación y estimación de Beneficios.....	53

Índice de Figuras

Figura 1: Etapa Actual del AGIES	2
Figura 2-1: Metodología general utilizada en el AGIES.....	13
Figura 2-2: Ciclo de vida del producto prioritario Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEEP)	14
Figura 3-1 : Distribución de probabilidad para tasa de falla de un computador de escritorio vendido en 2010	19
Figura 4-1: Toneladas valorizadas en escenario regulatorio y línea base (ton/año)	25
Figura 4-2: Toneladas recolectadas y valorizadas por subdivisión (ton/año).....	26
Figura 4-3: Distribución temporal de los costos de la regulación según componente (MMUSD/año)	28
Figura 4-4: Distribución temporal de los beneficios de la regulación según componente (MMUSD/año)	29

Índice de Tablas

Tabla 1-1: Metas de recolección y valorización de residuos de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos (%/año)	11
Tabla 1-2: Obligación de instalaciones de recepción y almacenamiento de residuos de AEEP.	12
Tabla 1-3: Obligación de cobertura de recolección puerta a puerta de pilas y AEE.....	12
Tabla 2-1: Costos y Beneficios derivados del cumplimiento de la regulación para Pilas y AEE	16
Tabla 3-1: Subdivisión, Tipos y Subtipos según los que se agrupan los AEEP y sus residuos	17
Tabla 4-1: Total proyectado* de AEEP puestos en el mercado en miles de toneladas por año y subtipo.	22
Tabla 4-2: Total proyectado de RAEEP generados en miles de toneladas por año y subtipo.	23
Tabla 4-3: Línea base de valorización por subdivisión	23
Tabla 4-4: Total proyectado de RAEEP disponible para recolectar en miles de toneladas por año y zona geográfica.	24
Tabla 4-5: Toneladas recolectadas y valorizadas con escenario regulatorio (en toneladas) para el periodo 2023-2032.....	25
Tabla 4-6: Distribución de las toneladas adicionales valorizadas debido al escenario regulatorio (ton/año).....	26
Tabla 4-7: Cantidad acumulada de instalaciones adicionales de pretratamiento que deberán estar operativas para cada año producto de la regulación	27
Tabla 4-8: Instalaciones de recepción necesarias para cumplir con la regulación	27
Tabla 4-9: Costos para cumplimiento de metas de recolección y valorización (MMUSD-2022).....	28
Tabla 4-10: Beneficios para cumplimiento de metas de recolección y valorización (MMUSD-2022).....	29
Tabla 4-11: Indicadores económicos de la regulación	31
Tabla A-1: Parámetros estimados para proyección de AEE puestos en el mercado en el periodo 2020-2032.....	37
Tabla A-2: Parámetros función Weibull utilizados para estimar la generación de residuos de AEE para el periodo 2022-2032	39
Tabla A-3: Línea base 2019 para destino final de los residuos de AEEP (ton)	40
Tabla A-4: Línea base de valorización 2019 para los residuos de AIT (ton).....	41
Tabla B-1: Costos medios de recolección según subtipo de RAEEP, zona y método de recolección (USD/ton).....	42
Tabla B-2: Costos medios de pretratamiento según subtipo de RAEEP y zona de recolección (USD/ton)	44
Tabla B-3: Costos medios de transporte según subtipo de RAEEP y zona de recolección (USD/ton)	46
Tabla B-4: Proporción valorizable y NO valorizable por subtipo de RAEEP (%)	47

Tabla B-5: Composición porcentual de la fracción NO valorizable de RAEEP según subtipo y material, y costo de disposición final (USD/ton) 48

Tabla B-6: Parámetros de costos unitarios para Instalaciones de Recepción y Almacenamiento de residuos..... 51

Tabla B-7: Costos unitarios por campaña de difusión de servicio de retiro desde los hogares (USD) 52

Tabla C-1: Composición porcentual de la fracción valorizable de RAEEP según subtipo y material, y precio de venta (USD/ton)..... 53

Tabla C-2: Disposición a pago (DAP) unitaria por aumento en un punto porcentual de la tasa de reciclaje de RAEEP (clp/persona al mes)..... 56



Acrónimos y Abreviaturas

Instituciones

MIDESO:	Ministerio de Desarrollo Social, Gobierno de Chile
MMA:	Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile
UE:	Unión Europea

Monedas

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

Abreviaturas

ACB:	Análisis Costo Beneficio
AEEP:	Pilas y Aparatos eléctricos y electrónicos
AGIES:	Análisis General del Impacto Económico y Social
AP:	Anteproyecto
CMSyCC:	Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático
CO ₂ :	Dióxido de Carbono
CO ₂ eq:	Dióxido de Carbono equivalente
DAP:	Disposición a Pagar
DS:	Decreto Supremo
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
LB:	Línea Base
OILEC:	Oficina de Implementación Legislativa y Economía Circular
PAC:	Participación Ciudadana
PD:	Proyecto Definitivo
PYMES:	Pequeñas y Medianas Empresas
RAEEP:	Residuos de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos
REP:	Responsabilidad Extendida del Productor
SG:	Sistema de Gestión
ton:	Toneladas
VP:	Valor Presente

Formato

- "," separador decimal
- "." separador de miles

1 Antecedentes

El presente documento corresponde al AGIES del Anteproyecto de Decreto Supremo que establece Metas de Recolección y Valorización y de otras obligaciones asociadas para el producto prioritario *Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. Este se enmarca en el conjunto de productos prioritarios establecidos en la Ley 20.920 que establece el marco para la gestión de residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y fomento al Reciclaje. El presente AGIES evalúa la regulación aplicada sobre el cuarto y quinto producto prioritario, tras los Decretos Supremos que establecen metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de neumáticos (DS N°8/2019 MMA)², envases y embalajes (DS N°12/2020 MMA)³, y aceites lubricantes (pronto a publicarse).

Los Aparatos Eléctricos y Electrónicos o AEE, corresponden a productos ampliamente utilizados en los hogares a nivel global. Desde la instalación de los sistemas REP en Europa, en la década de los 90s, los residuos de estos productos han sido sustantivamente recolectados, junto con los de envases y embalajes, baterías y vehículos fuera de uso (Ahlers, Hemkhaus, Hibler, & Hannak, 2021). En el año 2002, la Directiva 2002/96/CE⁴ de la Unión Europea estableció la responsabilidad de los productores en prevenir la generación de residuos de AEE y de fomentar su reutilización, reciclaje y otras formas de valorización (WSP, 2020).

Las pilas también han seguido una esta trayectoria similar: en el año 1991 la Directiva 91/157/CEE⁵ de la Unión Europea consensuó las legislaciones para los estados miembros sobre la valorización y eliminación controlada de este producto cuando contenga sustancias peligrosas. En 1993, los países miembros de la Unión Europea establecen requisitos mínimos de etiquetados que permitan la recolección por separado, además de prohibir la comercialización de pilas alcalinas de manganeso destinadas a la utilización prolongada en condiciones extremas y las alcalinas de contenido de mercurio (Hg) superior a un límite de 0,0025% en peso (WSP, 2020).

El presente AGIES evalúa los costos y beneficios de la implementación de metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas para residuos de AEEP. En primer lugar, se describe la regulación evaluada y las obligaciones asociadas para los productores, en la sección 2 se presenta la metodología general utilizada y, de manera específica, la metodología que permite establecer la comparación entre las situaciones de línea base y con regulación. La sección 3 muestra en detalle la línea base de AEEP puestos en el mercado, su distribución geográfica, sus residuos generados y su destino final. En la sección 4 se describen los resultados obtenidos respecto de las toneladas recolectadas y recicladas y, los costos y beneficios asociados al cumplimiento de la regulación.

² Ver en: <https://rechile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/62-DS-8-REP-publicacion-Diario-Oficial-20-01-2021.pdf>

³ Ver en: <https://rechile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/76-DS-12-del-2020-publicado-en-el-DO.pdf>

⁴ Ver en: <https://www.boe.es/doue/2003/037/L00024-00039.pdf>

⁵ Ver en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1991-80314>

Los detalles metodológicos, supuestos, valores, fuentes de información, entre otros, se encuentran identificados y detallados en los anexos metodológicos.

1.1 Regulación a Evaluar

En la regulación se definen, específicamente en los sus Artículos 4 y 5, las **categorías y subcategorías** para los productos de AEEP. Estas son:

- a. *Aparatos Grandes*: aquellos con una dimensión exterior superior a 50 centímetros
 - i. *Paneles Fotovoltaicos*
 - ii. *Aparatos de intercambio de temperatura*
 - iii. *Otros aparatos grandes*
- b. *Aparatos Pequeños*: aquellos no contenidos en la categoría Aparatos Grandes,
- c. *Pilas Grandes*: aquellas con un peso mayor a 5 kilogramos,
- d. *Pilas pequeñas*: aquellas no contenidas en la categoría Pilas grandes.

Establece también el Anteproyecto que “...no estarán sujetos a metas de recolección y valorización los productos pertenecientes a la categoría Pilas Grandes y a la subcategoría Paneles Fotovoltaicos.”

Luego, en el Artículo 20 la regulación establece las **metas de recolección y valorización** de residuos de AEEP que deberán cumplir los productores.

Las metas, establecidas como porcentaje del total de AEEP puestos en el mercado en el año inmediatamente anterior, son:

Tabla 1-1: Metas de recolección y valorización de residuos de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos (%/año)

Año	Meta General RAEEP	Aparatos de Intercambio de Temperatura (AIT)
2023	3%	n/a
2024	5%	
2025	8%	6%
2026	12%	9%
2027	16%	13%
2028	20%	17%
2029	24%	21%
2030	30%	25%
2031	37%	30%
2032	45%	30%

Fuente: Anteproyecto Decreto Supremo Metas Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos

La regulación indica que los productos AEEP sujetos a metas deberán cumplir con la meta general indicada en la Tabla 1-1, la que considera a todos los residuos con excepción de las categorías *Pilas Grandes* y la subcategoría *Paneles Fotovoltaicos*. Además, a partir del tercer año se aplicará una meta específica para la subcategoría *Aparatos de intercambio de temperatura*. Esta última meta deberá ser cumplida exclusivamente con residuos derivados de los productos pertenecientes a dicha subcategoría. La valorización de los aparatos de intercambio de temperatura aportará al cumplimiento de la meta de dicha subcategoría y también a la meta general.

Por último, la regulación establece obligaciones asociadas que el regulado deberá cumplir. En el Artículo 28 se señala la obligación de la instalación y operación de instalaciones de recepción y almacenamiento de residuos de AEEP (RAEEP), en cada una de las capitales regionales y en comunas que tengan una población superior a 150.000 habitantes, según los plazos indicados a continuación:

Tabla 1-2: Obligación de instalaciones de recepción y almacenamiento de residuos de AEEP.

Plazo Cumplimiento	Criterio poblacional
Primer año	Superior a 500.000
Segundo año	Superior a 250.000 y todas las capitales regionales
A contar del tercer año	Superior a 150.000

Fuente: Anteproyecto Decreto Supremo Metas Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Adicionalmente, en el Artículo 29 se establece que se deberá proveer a los generadores de RAEEP el servicio de retiro de estos desde sus domicilios con una frecuencia de al menos 2 veces por año, de acuerdo con los siguientes plazos:

Tabla 1-3: Obligación de cobertura de recolección puerta a puerta de pilas y AEE.

Plazo	Porcentaje de las viviendas atendidas
Primer año	10%
Segundo año	30%
Tercer año	50%
Cuarto año	70%
A contar del quinto año	80%

Fuente: Anteproyecto Decreto Supremo Metas Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Para efectos de este análisis, se supone como año de entrada en vigencia el 2023, siendo la evaluación a 10 años realizada en el periodo 2023-2032.

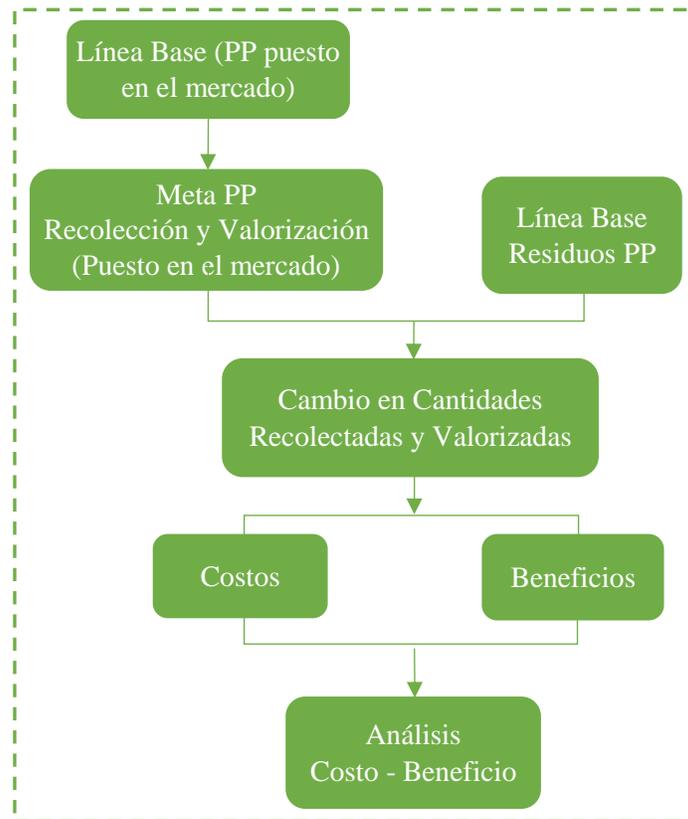
2 Metodología AGIES para metas REP

2.1 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 2-1 se muestra un esquema de la metodología general para un ACB de metas de recolección y valorización. La definición de metas implica un cambio en la cantidad de residuo del producto prioritario destinada a la recolección y valorización. El AGIES evalúa la diferencia entre lo que se ha denominado “línea base”, consistente en la situación actual proyectada sin la implementación del Decreto que establece metas, y la situación al implementarse la regulación. 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 a los 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 2-1: 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 monetario al impacto cuantificado.

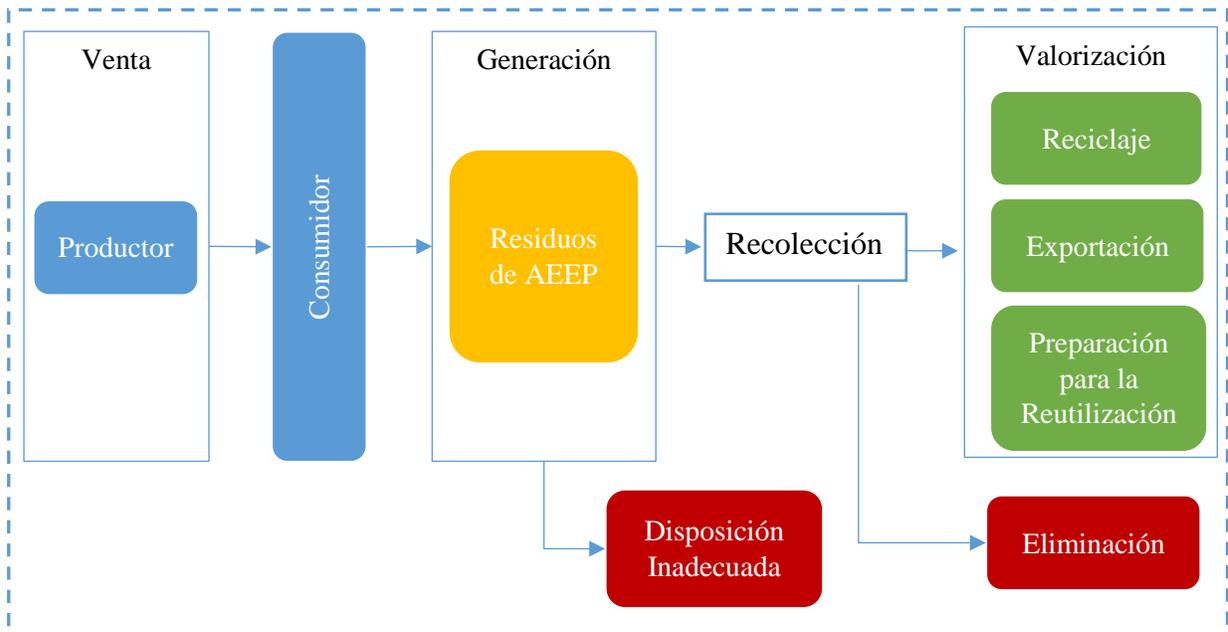
Por lo general, la contaminación del medio ambiente, así como las desamenidades por mayor contaminación o emisiones, son eventos que generan costos sociales pero que son difíciles de cuantificar y valorizar. Ante tales situaciones, se recurre a estrategias de valoración económica que permiten asignar un valor monetario a impactos sociales para los que no se ha establecido un valor económico.

2.2 Metodología específica AGIES para Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Para llevar a cabo la evaluación se determina primero la situación actual o línea base, identificando todos aquellos aspectos de esta que se verán afectados por la regulación. Posteriormente se determinan los actores de los que depende el cumplimiento, y los aspectos que conciernen a cada uno de ellos, con lo que se plantea un modelo que permita determinar cuál será la situación con Anteproyecto.

La determinación de la línea base se basa en la Figura 2-2, que muestra una representación del ciclo de vida de los AEEP. En cada etapa se generarán impactos como consecuencia de la regulación.

Figura 2-2: Ciclo de vida del producto prioritario Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEEP)



Fuente: Elaboración propia

Para determinar la situación actual se desarrolla una metodología para estimar la cantidad de AEEP introducidos en el mercado, los residuos generados y las cantidades recolectadas y valorizadas. Además, debido a que los consumidores generarán RAEEP a lo largo del territorio nacional, la metodología permite determinar la situación actual considerando su distribución geográfica.

El modelo simulado para la evaluación considera entonces al regulador, quien determina el qué, cómo y cuándo de la regulación; y el regulado, que se verá obligado a cumplir con lo dispuesto por el regulador y decidirá desde dónde recolectar los residuos.

Se asume que el regulado buscará cumplir incurriendo en el mínimo costo neto posible (enfoque costo eficiencia) considerando en su decisión tanto los costos como los beneficios económicos que recolectar los distintos RAEEP le significará, es decir:

min **Costo neto del cumplimiento** (toneladas)

Sujeto a :

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

Específicamente, y dado que es función del AGIES comparar la situación actual con la situación con Anteproyecto, 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 en la figura 2-1, es posible identificar costos y beneficios económicos, ambientales y sociales, ligados a cada una de las cinco etapas al ciclo de vida del producto prioritario (Figura 2-2). 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 los 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 2-1.

Tabla 2-1: Costos y Beneficios derivados del cumplimiento de la regulación para Pilas y AEE

	Valorizados	No valorizados
Costos	<ul style="list-style-type: none"> • Costos por mayor recolección • Costos por mayor monitoreo y fiscalización • Costos por mayor pretratamiento • Costos por mayor valorización • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos por adaptación de contratos por parte de las municipalidades en las acciones particulares tendientes al retiro programado de RAEEP.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Beneficios por mayor ingreso por venta de residuos valorizados • Beneficios por menor desamenidad asociada a la mayor recolección y valorización de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> • 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 gases refrigerantes

Fuente: Elaboración propia

3 Línea Base

En esta sección se presenta la metodología utilizada para estimar los AEEP puestos en el mercado, su proyección a lo largo del horizonte de evaluación y la generación de residuos de estos productos prioritarios. Asimismo, por medio de información primaria y secundaria, se estima la cantidad recolectada y valorizada para el año base (ver detalle metodológico y parámetros en Anexo A).

Dada la gran diversidad de características que presentan los distintos productos que forman parte de AEEP, y para efectos del AGIES se ha establecido una subdivisión en base a las metas establecidas en la regulación (ver Tabla 1-1), posteriormente estas se han clasificado en 6 tipos, con sus respectivos subtipos, respondiendo a características tales como tamaño, uso, composición, etc. La descripción de estos tipos y subtipos, así como los códigos alfanuméricos con los que serán llamados para fines de este análisis, se detallan en la Tabla 3-1 a continuación.

Tabla 3-1: Subdivisión, Tipos y Subtipos según los que se agrupan los AEEP y sus residuos

Subdivisión	Código Tipo	Descripción Tipo	Código Subtipo	Descripción Subtipo
AIT (Aparatos de intercambio de temperatura)	A	Aparatos de intercambio de temperatura	A1	Aparato eléctrico de intercambio de temperatura clorofluorocarburos (CFC), hidroclorofluorocarburos (HCFC), hidrofluorocarburos (HFC), hidrocarburos (HC) o amoníaco (NH3)
			A2	Otros aparatos eléctricos con gases
			A3	Aparato eléctrico de aire acondicionado
			A4	Aparato eléctrico con aceite u otro líquido en circuitos o condensadores.
Otros AEEP (Todos los AEEP sujetos a meta no clasificados como AIT)	B	Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm2	B1	Monitores y pantallas planas
			B2	Otros monitores y pantallas
			B3	Otros monitores y pantallas con pila o batería que no pueda extraerse por el consumidor del AEE
	C	Lámparas	C1	Lámparas de descarga (lámparas con gases en su interior)
			C2	Lámparas LED
	E	Grandes aparatos no incluidos en las categorías anteriores.	E1	Equipos de informática y telecomunicaciones grandes
			E2	Otros grandes aparatos
	F	Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)	F1	Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños
			F2	Otros aparatos pequeños
			F3	Otros aparatos pequeños con pila o batería que no pueda extraerse por el consumidor del AEE
P	Pilas	P2	Pilas pequeñas	

Fuente: Elaboración propia

3.1 Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos puestos en el Mercado

El producto prioritario AEEP es enajenado en el mercado por productores importadores y locales, que para el caso de Chile son minoritarios. Asimismo, pueden registrarse exportaciones de AEEP hacia otros países. La cantidad de producto prioritario (en toneladas) que se considera como puesto en el mercado cada año puede expresarse como:

$$AEEP_t^N = N_t^{NP} + N_t^{Imp} - N_t^{Ex} \tag{Ecuación 1}$$

Donde:

- $AEEP_t^N$: ventas totales de AEEP en el año t [ton].
- N_t^{NP} : producción nacional de AEEP en el año t [ton].
- N_t^{Imp} : importaciones de AEEP en el año t [ton].
- N_t^{Ex} : exportaciones de AEEP en el año t [ton].

Considerando datos oficiales de comercio exterior, es posible establecer el total de AEEP puesto en el mercado para el año de línea base (2019) y años anteriores (1991-2018). Esto permite, mediante la utilización de una serie de datos temporales, proyectar el comportamiento estimado de su venta en el futuro, con el objeto de evaluar el esfuerzo que significará el cumplimiento de las futuras metas de recolección y valorización.

Siguiendo a (E2Biz, 2019a) y (DICTUC, 2019) se identifican un total de 390 distintos códigos arancelarios en el sistema aduanero como representantes del total de AEEP que se comercializan en el país. Dado que es necesario calcular el total de AEEP puestos en el mercado en toneladas, se realizaron una serie de ajustes a los datos originales, agrupándolos de acuerdo a “E-waste statistics: Guidelines on classification, reporting and indicators” (UNU, 2018), con el objeto de poder asociarles pesos promedios y de facilitar el manejo de la información.

Así, es posible agrupar los 390 códigos arancelarios en 55 categorías de AEEP (UNU, 2018), que comparten composiciones de materiales, características y sobre todo distribuciones de vida útil similares, las que posteriormente pueden ser agrupadas nuevamente en los subtipos que se utiliza en la evaluación (ver Tabla 3-1 y Anexo A.a)

Utilizando los valores de ventas para el periodo 1991-2019 y el método de Suavizamiento Exponencial con Tendencia (E2Biz, 2019a), se puede estimar la cantidad de AEEP que ingresarán y saldrán del país para el periodo de evaluación, esto es 2023-2032 (ver Anexos A.b y A.c)

3.2 Residuos de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Para la estimación de los residuos de AEEP (o RAEEP) se utiliza el método de oferta de mercado (o de ventas), el que establece que un AEEP puesto en el mercado se transformará en residuo en un momento futuro de acuerdo a su vida útil. Este método es ampliamente

usado en la experiencia internacional y por organismos internacionales, incluyendo la EPA y Unión Europea (E2Biz, 2019a).

Matemáticamente, es posible plantear el método como:

$$RAEEP_{n,t} = AEEP_{n,t}^N (t - l_{s_n}) \tag{Ecuación 2}$$

Donde,

$RAEEP_{n,t}$: cantidad de residuos de AEEP del subtipo n generados en el año t [ton/año].

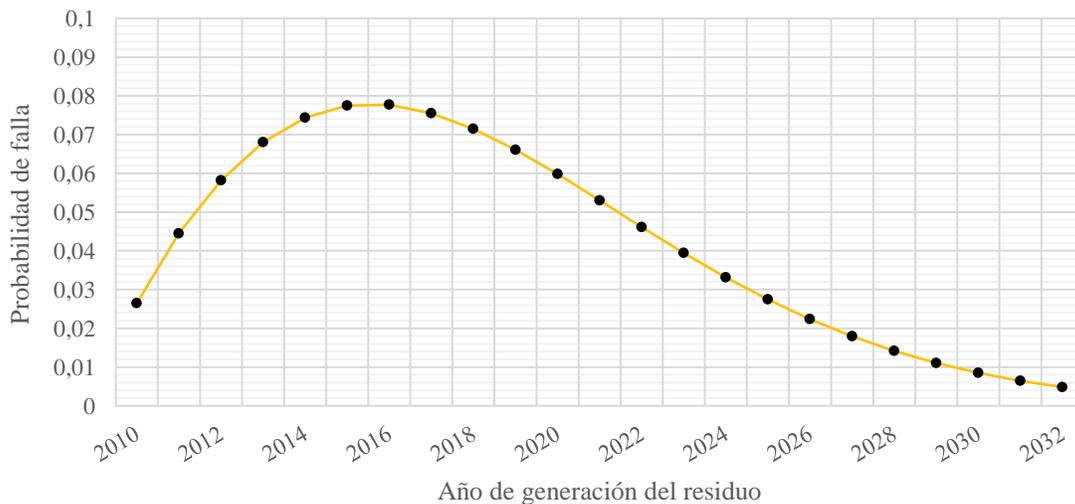
$AEEP_{n,t}^N$: ventas totales de AEEP del subtipo n en el año t [ton/año].

l_{s_n} : esperanza de vida (vida útil) del AEEP del subtipo n [años].

La vida útil de los distintos AEEP ha sido estimada de manera internacional mediante datos empíricos, y ajustada a distribuciones de probabilidad por UNU (2018). La teoría estadística revela que la distribución *Weibull* se puede utilizar para modelar una gran cantidad de variables aleatorias positivas asociadas a falla de los productos, particularmente, de AEE (E2Biz, 2019a). La principal ventaja de esta distribución es su capacidad de estimar pronósticos de falla con una precisión razonable y con pocos datos.

A modo de ejemplo se muestra la distribución de probabilidad de la tasa de falla estimada para computadores de escritorio según UNU (2018)⁶ vendidos en 2010.

Figura 3-1 : Distribución de probabilidad para tasa de falla de un computador de escritorio vendido en 2010



Es posible observar, de acuerdo a lo estimado, que la totalidad de computadores vendidos en 2010 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

⁶ Específicamente se refiere a *Unu key 302: Desktop PCs (excl. monitors, accessoires)*

de residuos de AEEP para un año determinado corresponderá a residuos de AEEP vendidos en ese mismo año, pero también en los años anteriores.

Luego, las toneladas de RAEEP que se generan de manera anual, considerando aquellos AEEP puestos en el mercado desde 1991, estarán dadas por:

$$RAEEP_T = \sum_{1991}^{t=T} AEEP_t * TF_{(T-t)} \tag{Ecuación 3}$$

Donde:

$RAEEP_T$: total de residuos de AEEP generados en el año T [ton], con T \in [1991-2032]

$AEEP_t$: ventas totales de AEEP en el año t [ton].

$TF_{(T-t)}$: tasa de falla de productos prioritarios en el año T-t de funcionamiento,

Para el caso de los residuos de Pilas, no se cuenta con antecedentes sobre los parámetros de forma ni escala para una distribución de probabilidad asociada a la vida útil, de modo que, para este producto en particular, no se aplican tasas probabilísticas, sino que se consideran únicamente los parámetros de residencia promedio en los lugares de usos, esto es, considerar que las pilas enajenadas en los mercados, tras haber transcurrido un período de tiempo fijo, acaban su vida útil y se transforman en residuos (DICTUC, 2021). El valor de los parámetros considerados en la estimación se detalla en el Anexo A.d.

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.

3.3 Recolección, Valorización y Distribución de residuos de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Los RAEEP son recolectados por gestores para ser trasladados a instalaciones de pretratamiento y/o tratamiento, o bien son conducidos a su eliminación y disposición final. Diversos estudios han levantado antecedentes respecto a la cantidad de empresas que realizan estos procesos y las cantidades de residuos que reciben en sus instalaciones (E2Biz, 2019b); (WSP, 2020); (DICTUC, 2021). Con el objeto de actualizar los datos disponibles para el año base se recabó información primaria específica para el AGIES contactando a las empresas gestoras a través de una encuesta. Del total de instalaciones contactadas (27) respondió el 52%.

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 al fin de vida de RAEEP

realizan procedimientos de destrucción, eliminación y disposición final para el caso de RAEE; y encapsulamiento, desactivación, inertización, eliminación y/o disposición final para los residuos de pilas.

Para distribuir de manera geográfica tanto la generación de residuos como la línea base de recolección y valorización se asume que todos los habitantes del país consumirán y generan la misma cantidad de residuos de AEEP, y que el total de toneladas valorizadas se distribuye proporcionalmente a las cantidades de residuos generados. En otras palabras, para efectos de la evaluación, se considera que la distribución geográfica de los residuos sigue la distribución geográfica de la población a lo largo del país.

4 Resultados

Se presentan a continuación los resultados obtenidos utilizando la metodología de determinación de línea base y situación con regulación anteriormente señalada.

Se presenta, en primer lugar, la situación de línea base proyectada para el periodo 2022-2032; luego, las cantidades de residuos adicionales recolectados y valorizados por la implementación de la regulación, y finalmente los costos y beneficios derivados del cumplimiento de las metas y obligaciones asociadas establecidas (el detalle metodológico y los parámetros considerados para la estimación de costos y beneficios se detallan en Anexos B y C).

4.1 Línea Base proyectada

Las cantidades, en miles de toneladas, puestas en el mercado para el año de línea base (año 2019) y la proyección a considerar en la evaluación según subtipo de AEEP se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 4-1: Total proyectado* de AEEP puestos en el mercado en miles de toneladas por año y subtipo.

Subtipo AEEP	2019	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
A1-A2	78,7	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1
A3	7,7	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
A4	3,1	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
B2	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7
C1	25,5	31,1	31,1	31,2	31,2	31,2	31,2	31,3	31,3	31,3	31,3	31,4
C2	23,5	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2
E1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
E2	50,4	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6
F1	48,2	43,6	43,7	43,8	43,9	44,0	44,1	44,2	44,3	44,4	44,6	44,7
F2	26,4	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2
P2	3,2	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3
Total	285,6	282,0	282,2	282,4	282,6	282,8	283,0	283,2	283,4	283,5	283,7	283,9

*Para 2019 se muestra el valor real, mientras que para el periodo 2022-2032 se muestran los valores proyectados en función de la serie temporal 1991-2019.

Fuente: Elaboración propia

El total de residuos que se generarán como consecuencia de los AEEP puestos en el mercado desde el año 1991 durante el periodo de evaluación es:

Tabla 4-2: Total proyectado de RAEEP generados en miles de toneladas por año y subtipo.

Subtipo AEEP	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
A1-A2	53,08	55,99	58,68	61,12	63,32	65,28	67,01	68,53	69,84	70,96
A3	3,39	3,52	3,64	3,75	3,84	3,93	3,99	4,05	4,10	4,13
A4	2,67	2,79	2,90	3,01	3,10	3,19	3,27	3,34	3,40	3,46
B2	16,05	16,60	17,05	17,41	17,71	17,94	18,12	18,26	18,37	18,46
B3	1,69	1,19	0,81	0,54	0,34	0,21	0,12	0,07	0,04	0,02
C1	23,09	24,13	25,08	25,92	26,68	27,35	27,93	28,45	28,89	29,27
C2	21,51	22,06	22,54	22,97	23,33	23,64	23,91	24,15	24,34	24,51
E1	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
E2	38,27	39,17	40,04	40,87	41,66	42,39	43,07	43,70	44,28	44,81
F1	29,32	30,33	31,35	32,39	33,44	34,52	35,61	36,70	37,78	38,84
F2	24,56	24,73	24,88	25,01	25,12	25,21	25,29	25,35	25,41	25,45
P2	2,36	2,63	3,19	2,66	2,70	2,76	2,80	2,85	2,90	2,95
Total	216,17	223,34	230,35	235,82	241,42	246,59	251,32	255,62	259,52	263,02

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-3 se muestran las toneladas y tasas de valorización de línea base (2019), consideradas en la evaluación:

Tabla 4-3: Línea base de valorización por subdivisión

Subdivisión	Toneladas valorizadas en Línea Base	Tasa de Valorización de Línea Base (%)
AIT	2.297	2,6%
Otros RAEEP	9.446	4,8%
Total RAEEP	11.744	4,1%

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la distribución de los residuos disponibles para recolectar de acuerdo a las zonas geográficas definidas es:

Tabla 4-4: Total proyectado de RAEEP disponible para recolectar en miles de toneladas por año y zona geográfica.

Zona Geográfica ⁷	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Norte Chico	12,2	12,7	13,2	13,5	13,9	14,3	14,6	14,9	15,2	15,5
Norte Grande	14,2	14,7	15,2	15,6	16,0	16,4	16,8	17,1	17,4	17,7
Central	152,0	157,3	162,5	166,6	170,8	174,6	178,1	181,2	184,1	186,7
Sur	24,2	25,0	25,8	26,4	27,0	27,5	28,0	28,5	28,9	29,3
Austral	3,0	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6
Total	205,6	212,8	219,9	225,4	231,0	236,2	240,9	245,3	249,2	252,7

Fuente: Elaboración propia

⁷ Se consideran las siguientes zonas geográficas:

Norte Chico: Regiones de Atacama y Coquimbo.

Norte Grande: Regiones de Arica, Tarapacá y Antofagasta.

Central: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule y Biobío.

Sur: Regiones de La Araucanía, Los Lagos y Los Ríos.

Austral: Regiones de Aysén y Magallanes.

4.2 Toneladas recolectadas y valorizadas

Para el periodo de 10 años evaluado, la regulación consigue aumentar en 79,6% las toneladas valorizadas tal como detalla la Tabla 4-5.

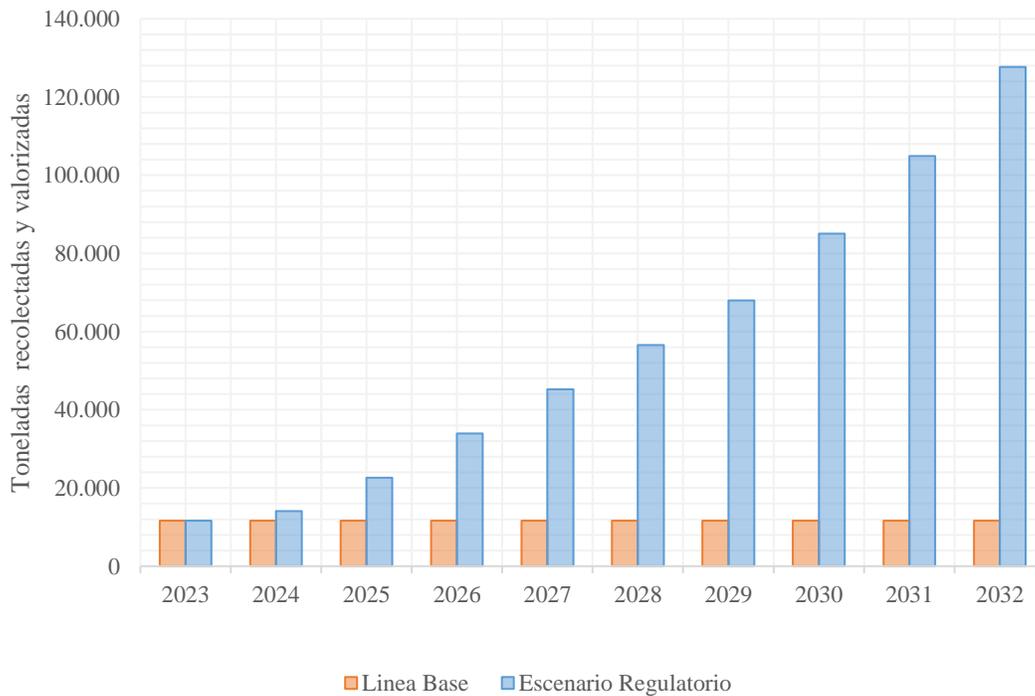
Tabla 4-5: Toneladas recolectadas y valorizadas con escenario regulatorio (en toneladas) para el periodo 2023-2032

Subdivisión	Línea Base	Escenario Regulatorio
AIT	21.731	132.140
Otros RAEEP	94.595	437.457
Total	116.326	569.598

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-1 se comparan la situación actual con la situación con regulación a lo largo del tiempo:

Figura 4-1: Toneladas valorizadas en escenario regulatorio y línea base (ton/año)



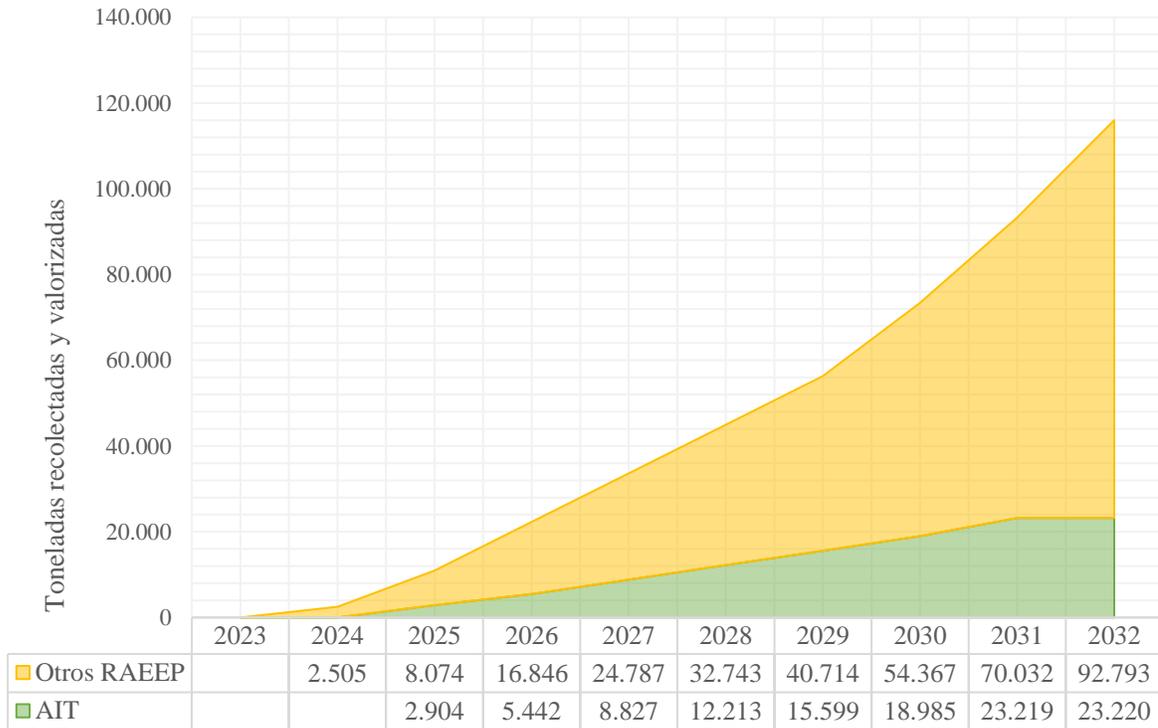
Fuente: Elaboración propia

Del total de residuos recolectados y valorizados debido a la implementación de la regulación (delta de toneladas recolectadas y valorizadas), durante el año 2024 la totalidad corresponden a la subdivisión *Otros RAEEP*. Posteriormente se incorporan los *AIT* representado estos el

20,9% y el 16,7% del total del delta de recolección y valorización, en 2025 y 2032 respectivamente.

En detalle:

Figura 4-2: Toneladas recolectadas y valorizadas por subdivisión (ton/año)



Fuente: Elaboración propia

A nivel de subtipo la distribución de las toneladas valorizadas es la siguiente:

Tabla 4-6: Distribución de las toneladas adicionales valorizadas debido al escenario regulatorio (ton/año)

Subdivisión	Subtipo	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
AIT	A1-A2			2.116	5.414	8.725	12.047	15.381	19.572	19.540
	A3		2.904	3.326	3.413	3.488	3.550	3.605	3.647	3.680
Otros RAEEP	B3						1	1	2	2
	E1	1	1	2	2	1	3	2	159	159
	E2								9.519	31.193
	F1				3.716	10.736	18.622	32.086	36.086	37.117
	F2	2.504	8.074	16.843	21.069	22.006	22.090	22.279	24.265	24.322
Total		2.505	10.978	22.287	33.614	44.956	56.313	73.353	93.251	116.014

Fuente: Elaboración propia

El cumplimiento de metas significará la creación de instalaciones adicionales de pretratamiento una vez superada la capacidad instalada de línea base. El número de instalaciones adicionales que deberán instalarse y estar operativas de manera adicional a la capacidad actual, en cada año del periodo evaluado son las siguientes:

Tabla 4-7: Cantidad acumulada de instalaciones adicionales de pretratamiento que deberán estar operativas para cada año producto de la regulación

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	0	0	0	2	6	9	13	19	25

Fuente: Elaboración propia

La obligación especificada del Artículo 29, relativa a la instalación de lugares de recepción de residuos, para el año 2032, se traduce en:

Tabla 4-8: Instalaciones de recepción necesarias para cumplir con la regulación

Zona geográfica	Número de instalaciones necesarias para cumplir con la regulación
Norte Chico	3
Norte Grande	5
Central	33
Sur	4
Austral	2
Total	47

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de Instalaciones que deben estar activas en 2032 responde al aumento gradual de la obligación, expresada en la regulación, y al crecimiento poblacional comunal proyectado según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

4.3 Costos asociados a las metas de recolección y valorización

El valor presente de los costos agregados dados por el cumplimiento de la regulación en el periodo evaluado asciende a US\$ 328,1 millones.

Tabla 4-9: Costos para cumplimiento de metas de recolección y valorización (MMUSD-2022)⁸

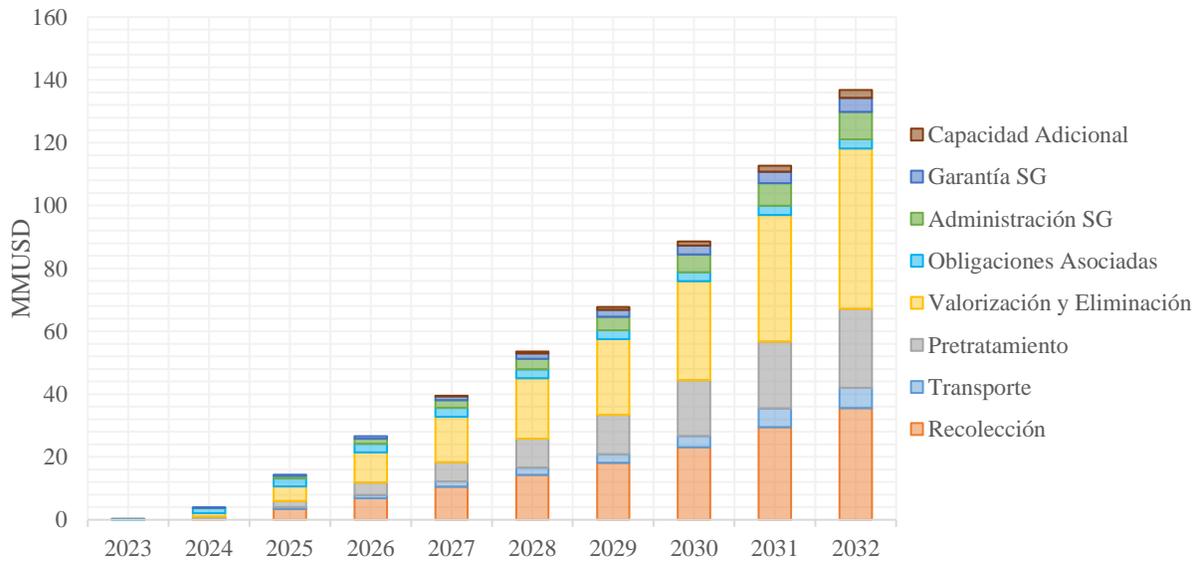
Componente del costo	Total en Valor Presente (MMUSD-2022)
Recolección	85,2
Transporte	14,6
Pretratamiento	58,9
Valorización y Eliminación	118,1
Capacidad Adicional	4,3
Obligaciones Asociadas	16,1
Administración Sistema de Gestión	20,5
Garantía Sistema de Gestión	10,4
Costo Total	328,1

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 4-9, el componente de costo más preponderante es el de proceso de valorización y eliminación, alcanzando el 36% del total.

Por otro lado, la distribución temporal de los costos es:

Figura 4-3: Distribución temporal de los costos de la regulación según componente (MMUSD/año)



Fuente: Elaboración propia

⁸ Se considera una tasa de descuento social de 6%

4.4 Beneficios asociados a las metas de recolección y valorización

Los beneficios en valor presente ascienden a US\$ 391,5 millones, generándose el mayor aporte al beneficio total por la venta de residuos valorizados.

El detalle de los beneficios en valor presente es:

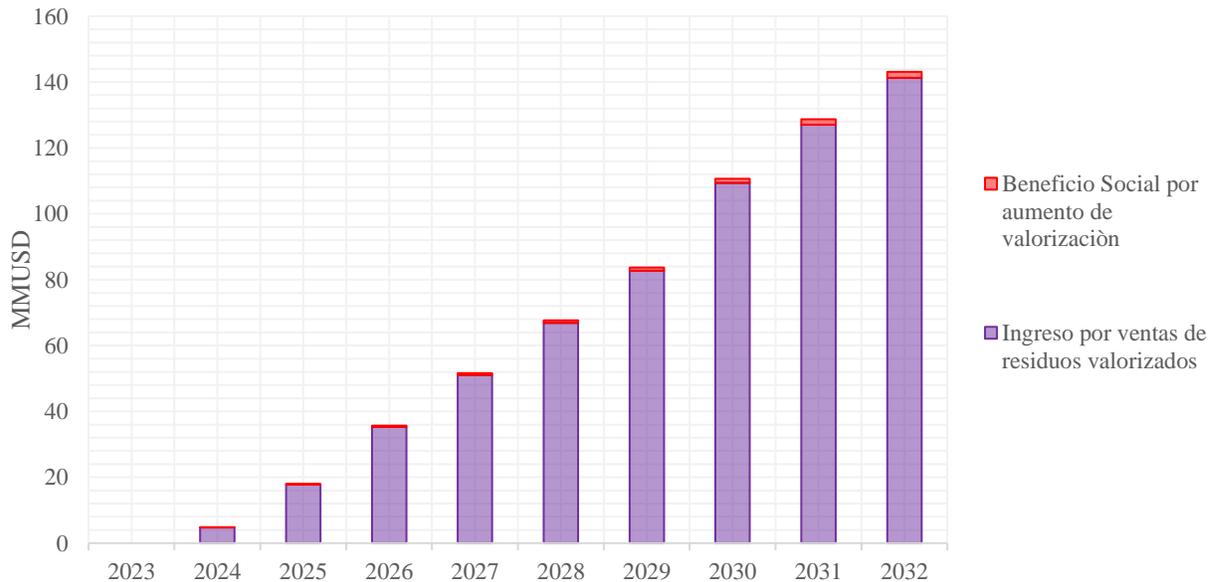
Tabla 4-10: Beneficios para cumplimiento de metas de recolección y valorización (MMUSD-2022)⁹

Componente del beneficio	Total en Valor Presente (MMUSD-2022)
Beneficio social por aumento de valorización	4,6
Ingreso por ventas de residuos valorizados	386,9
Beneficio Total	391,5

Fuente: Elaboración propia

Del total de beneficios, los asociados a la venta de residuos valorizados representan el 99,4% del total para el año 2024 y el 98,7% para el año 2032. El detalle en la Figura 4-4.

Figura 4-4: Distribución temporal de los beneficios de la regulación según componente (MMUSD/año)



Fuente: Elaboración propia

Como se indicó antes, la inexistencia de metodologías validadas y la dificultad de cuantificar los impactos asociados, han impedido que para la evaluación del Anteproyecto se puedan valorizar todos los beneficios generados. Algunos de estos beneficios no valorizables son:

⁹ Se considera una tasa de descuento social de 6%

- Disminución en las cantidades de residuos que pudiesen contaminar cursos de aguas: la implementación de metas de recolección y valorización para los residuos de AEEP asegura que las cantidades de residuos que hoy son dispuestos de manera inadecuada disminuyan.
- Incentivos a la economía circular por la mayor cantidad de materiales recolectados que permitirán se desarrollen industrias y nuevos negocios asociados, especialmente aquellos enfocados en la reincorporación de los residuos en nuevos procesos productivos, generando un impulso a esta forma de producción, incrementado los ingresos y los empleos asociados.
- Beneficios por la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociados a la menor disposición inadecuada de los residuos de AEEP. Esta menor disposición inadecuada también implica un aumento del tratamiento correcto de los gases refrigerantes y la reducción del consumo de materias primas no renovables en relación a la situación sin la regulación.
- Disminución de microbasurales, dados por la disminución de la mala disposición que genera un círculo vicioso atrayendo la acumulación de más residuos. Las metas de recolección evitan que esto siga ocurriendo en la misma magnitud.
- Aumento de la conciencia social respecto de la problemática ambiental al acercar los servicios de recolección de RAEEP a la ciudadanía. Esto es especialmente relevante para aquellos sectores en los que no existen alternativas que permitan disponer adecuadamente estos residuos hoy en día.
- Aumento en mano de obra contratada: La implementación de nuevos servicios de recolección, pretratamiento y valorización acarrea una nueva necesidad de mano de obra con distintos niveles de calificación.

4.5 Indicadores económicos

La implementación del escenario regulatorio significa aumentos en costos y beneficios. Estos resultados se integran en la razón Beneficio Costo, que permite estimar si la regulación implica o no mayores beneficios en términos monetarios para la sociedad. Los indicadores económicos estimados se muestran en la Tabla 4-11, donde el beneficio asciende a un Valor Presente de US\$ 391,5 millones. El costo valorizado se estima en un Valor Presente de US\$ 328,1 millones, generándose así una razón entre beneficios y costos de 1,2 para la regulación evaluada.

Tabla 4-11: Indicadores económicos de la regulación

Indicador	Total en Valor Presente (MMUSD-2022)
VP Beneficio (MMUSD-2022)	391,5
VP Costo (MMUSD-2022)	328,1
Razón B/C	1,2

Fuente: Elaboración propia

5 Conclusiones

El AGIES evaluó los beneficios y costos de las metas de recolección, valorización y otras obligaciones asociadas para *Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos*, definidas en el Anteproyecto correspondiente, en un horizonte de 10 años (2023-2032).

Los resultados indican que los beneficios valorizables por el aumento en recolección y valorización, ascienden a USD 391,5 millones en valor presente. Por otro lado, los costos monetizados por la recolección, transporte, pretratamiento, valorización, administración, y garantía del Sistema de Gestión se estiman en USD 328,1 millones en valor presente.

La valoración de los beneficios y costos del escenario regulatorio propuesto indica que la implementación de las metas es rentable desde la perspectiva social con una razón beneficio-coste de 1,2.

Si bien el mayor aporte a los beneficios netos se genera por la venta de los residuos valorizados, es importante considerar que existen una serie de beneficios sociales que no han podido ser valorizados pero que, sin embargo, existirán producto de la implementación de la normativa.

Finalmente, es de relevancia señalar que los resultados obtenidos en esta evaluación obedecen a la metodología y supuestos establecidos y deben ser considerados como un antecedente más para la toma de decisiones, a la cual se deben incorporar otros elementos importantes para la discusión del instrumento.

6 Referencias

- Ahlers, J., Hemkhaus, M., Hibler, S., & Hannak, J. (2021). *Analysis of Extended Producer Responsibility Schemes Assessing the performance of selected schemes in European and EU countries with a focus on WEEE, waste packaging and waste batteries.*
- 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). *Antecedentes para la elaboración de Análisis Económico de Metas de Recolección y Valorización para el Producto Prioritario "Pilas" contenido en la Ley REP 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".*
- EUCOBAT & Mobius. (2017). *How battery life cycle influences the collection rate of battery collection schemes. 22nd ICBR - International Congress on Battery Recycling.*
- 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.
- MIDESO. (2018). *Precios Sociales. Departamento de Metodologías y Estudios. División de Evaluación Social.*
- Ministerio de Hacienda. (2019). *Bonos vigentes Tesorería de la República de Chile.*
- Ministerio del Medio Ambiente. (2019). *Análisis general de impacto económico y social de Anteproyecto de Decreto Supremo que establece metas y obligaciones asociadas de residuos de Envases y Embalajes.*
- Steer Davies Gleave. (2011). *Análisis de costos y competitividad de modos de transporte terrestre de carga interurbana. Informe Final., Subsecretaría de Transporte.*
- UNU. (2018). *E-Waste statistics guidelines on classification, reporting and indicators. Second Edition.*
- WSP. (2020). *Asesoría para la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile - Producto Prioritario Pilas. Informe Final.*



7. Anexos Metodológicos

Anexo A Línea Base

a) Nomenclatura y clasificación de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Dada la gran cantidad y diversidad de productos que pueden ser catalogados dentro de los productos prioritarios *Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos*, y considerando las diversas fuentes de información disponible y los distintos niveles de desagregación y organización de estas, para fines de la evaluación se ha establecido un sistema de paridad que permita establecer equivalencias entre los datos de las distintas fuentes de información utilizadas.

De manera general, es posible resumir estas agrupaciones en el siguiente esquema, donde se observa cómo es posible pasar desde el mayor nivel de desagregación dado por las partidas o códigos arancelarios, a la agrupación final mediante la cual se establecen metas y se presentan los resultados de esta evaluación de acuerdo a lo establecido en el Anteproyecto que establece metas y otras obligaciones asociadas para RAEEP.



El detalle de las equivalencias establecidas de encuentra en la parte digital de este anexo.

b) Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos puestos en el mercado

En línea con lo presentado en la Ecuación 1, la determinación del total de AEEP puesto en el mercado considera los datos de comercio exterior respecto de una serie de códigos arancelarios identificados como AEEP.

Los datos de importaciones y exportaciones para los códigos seleccionados provienen de registros oficiales con base en el Servicio Nacional de Aduanas, específicamente se ha

obtenido una serie temporal de comercio exterior para el periodo 1991-2019 desde *UN Comtrade*¹⁰ que es un repositorio de datos oficiales internacionales de comercio exterior.

El proceso de depuración al que han sido sometidos los datos publicados en *UN Comtrade* los transforman en una fuente de información de alta confiabilidad, además dispone de una serie temporal que permite estimar los residuos generados por productos puestos en el mercado en años anteriores.

El tratamiento que se da a los datos en aquellos casos en que no se presenta la información específica de masa en kilogramos (o alguna otra unidad equivalente) o hay algún salto o inconsistencia en la serie temporal, se sigue lo planteado por E2Biz (2019a).

De manera particular para para el producto *Pilas*, según DICTUC (2021), se contemplan 15 códigos arancelarios (debidamente identificados en anexo digital). Es importante señalar que la selección de códigos deja fuera a aquellas pilas cuya composición sea de plomo-ácido, a aquellas utilizadas para medios de transporte de personas y aquellas con un peso mayor a 5 kilogramos.

Como supuesto para la estimación de las Pilas y AEE puestos en el mercado, se considera que los productos importados y fabricados son enajenados el mismo año, en otras palabras, se asume que no se generan variaciones de inventario.

c) Proyección de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos puestos en el mercado

La proyección de las Pilas y AEE a lo largo del horizonte de evaluación se estimó utilizando el método de Suavizamiento Exponencial con Tendencia (E2Biz, 2019a). Este método se basa únicamente en los registros de ventas de años anteriores, de modo que se puede estimar una proyección de los productos prioritarios que ingresarían y saldrían del país en años futuros.

El método se manifiesta de acuerdo a las ecuaciones a continuación:

$$A_t = \alpha * D_t + (1 - \alpha) * (A_{t-1} + T_{t-1}) \quad \text{Ecuación A-4}$$

$$T_t = \beta * (A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1} \quad \text{Ecuación A-5}$$

$$F_{t+k} = A_t + k * T_t \quad \text{Ecuación A-6}$$

Donde,

A_t : Consumo “medio” estimado para el período t [ton].

D_t : Demanda observada en el período t (nivel de ventas en t) [ton].

¹⁰ <https://comtrade.un.org/>

T_t : Tendencia del período t [ton]. Las tendencias capturar los cambios de pesos y de vida útil históricos de cada categoría.

F_{t+k} : Pronóstico para el período t+k [ton].

α : Valor entre [0,1]. Una mayor ponderación de la demanda por el producto en el último período implica un valor cercano a 1, mientras que una mayor ponderación a la demanda en años históricos, el valor es cercano a 0.

β : Valor entre [0,1]. Una mayor ponderación de la demanda por el producto en el último período implica un valor cercano a 1, mientras que una mayor ponderación a la demanda en años históricos, el valor es cercano a 0.

Los parámetros α y β se calculan a partir de una minimización de los errores de estimación a nivel de código UNU (ver Anexo A.a). Esto es, se estiman los parámetros de forma tal que la proyección que arrojaría el método para los años donde se disponen datos sea lo más cercana posible a las cantidades realmente demandadas, y en base a esos parámetros se estima la proyección de venta de AEE para el periodo de evaluación, en este caso desde 2020 a 2032.

Los valores de α y β obtenidos de la minimización de errores y que son considerados para la proyección son:

Tabla A-1: Parámetros estimados para proyección de AEE puestos en el mercado en el periodo 2020-2032

Código UNU	α	β	Código UNU	α	β
1	0,699	0,002	309	0,467	0,005
2	1	1	401	0,752	0
101	1	0,002	402	0,859	0,006
102	0,574	0	403	0,288	0,008
103	1	0	404	0,656	0
104	1	0	405	0,057	0,886
105	1	0	406	1	0,006
106	1	0,002	407	1	0
108	0,967	0	408	1	0
109	0,997	0	501	0,8	0,002
111	0,604	0	503	0,644	0,006
112	0,665	0	504	0,8	0,004
113	0,924	0	506	0,172	0,814
114	0,725	0	507	1	0
201	0,833	0	601	0,753	0
202	0,877	0	701	0,95	0,003
203	1	0,001	702	0,731	0,002
204	0,572	0	703	0,907	0
205	1	0	801	1	0,001
301	0,87	0,003	802	0,267	0,333

Código UNU	α	β	Código UNU	α	β
302	0,121	0,347	901	0,923	0
303	1	0	902	0,401	0
304	1	0	1001	1	0,059
305	0,759	0	1002	1	0
306	0,115	0,667	2001	1	0,003
307	0,709	0,022	2002	1	0
308	0,068	0,034	2003	0,451	0

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las pilas, no se cuenta con antecedentes para los parámetros α y β , recurriendo entonces a la metodología que realiza WSP (2020) y sigue entonces a DICTUC (2021), de proyectar a partir de una regresión lineal simple de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), teniendo en consideración la tendencia histórica de las series de datos. En los casos donde la proyección se comportaba fuera de la tendencia histórica, como fue el caso de pilas secas de litio 2004, pilas secas de zinc 2008 y pilas de óxido de mercurio 2009, estas se interpretan como errores de datos y se sustituyen por el valor promedio de los dos años anteriores y posteriores, conservando así la tendencia de la serie. De esta manera, se proyectan las pilas puestas en el mercado en el horizonte de evaluación.

d) *Generación de residuos de Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos*

De acuerdo a lo planteado en la Ecuación 3, la generación de residuos de AEEP se modela mediante tasas de fallas probabilísticas calculadas mediante la utilización de información empírica.

La forma utilizada por UNU (2018) y considerada en este estudio utiliza la distribución de probabilidad *Weibull* para modelar la vida útil de los productos. La distribución *Weibull* se define, en función del tiempo, como sigue:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \tag{Ecuación A-7}$$

En las funciones de distribución, supervivencia y riesgo se mantienen operando dos parámetros: el de forma β que tiene efecto sobre la forma de la distribución y el de escala η que afecta la escala del tiempo de vida (E2Biz, 2019a). Un factor de forma β más alto implica que es más probable que un producto falle a medida que envejece, mientras que un factor de forma β de uno indica una tasa de falla constante a lo largo del tiempo. El factor de escala η , por otro lado, estira y comprime efectivamente la distribución de probabilidad en el tiempo. De modo que es más probable que un producto con un factor de escala η más alto falle a una edad más avanzada que un producto con un factor de escala η más bajo.

El documento *E-waste statistics* (UNU, 2018) logra establecer los parámetros de β y η que permiten calcular las tasas de falla para residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de acuerdo a la siguiente expresión:

$$TF_{(T-t)}: \frac{\beta}{\eta^\beta} * (T - t)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{T-t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación A-8}$$

Los valores considerados para la estimación, agrupando a los AEEP a nivel de código UNU son los siguientes:

Tabla A-2: Parámetros función *Weibull* utilizados para estimar la generación de residuos de AEE para el periodo 2022-2032

Código UNU	η	β	Código UNU	η	β
1	2	14,21	309	2,3	12,18
2	3,5	25	401	1,3	9,87
101	1,92	16,07	402	1,5	10,01
102	1,79	17,13	403	2,3	10
103	2	19,35	404	1,14	8,33
104	1,85	13,32	405	1,13	12,54
105	2,58	18,08	406	1,19	6,75
106	2	13,47	407	2,49	12,08
108	2,2	16,71	408	1,88	10,95
109	1,28	18,55	501	1,42	8,72
111	2	20,6	503	1,75	5,79
112	2,36	13,36	504	1,6	6,9
113	1,6	15,36	506	2,34	16,59
114	2,07	17,99	507	2	12,5
201	1,22	7,97	601	1,77	14,98
202	2,02	11,02	701	1,43	4,56
203	1,18	7,61	702	1,14	4,78
204	1,22	10,59	703	2,4	11,56
205	1,2	8,09	801	1,99	13,46
301	1,3	6,15	802	2,41	13,52
302	1,8	10,33	901	1,55	5,89
303	1,94	8,76	902	1,92	11,56
304	1,88	9,31	1001	2	10,06
305	1,32	7,7	1002	2	15
306	1,52	5,62	2001*	3,5	25
307	1,46	7,78	2002*	1,22	7,97
308	1,4	15,94	2003*	1,22	7,97

Fuente: (UNU, 2018)

En el caso de la proyección para Pilas, el método utilizado para la estimar la generación de residuos es ligeramente diferente, ya que se considera que ésta depende fuertemente de parámetros como el tiempo de residencia durante el cual se guarden las pilas, incluso antes de ser usadas. Este parámetro es bastante incierto puesto que dependerá de factores como la intensidad y frecuencia de uso del equipo que usa las pilas, el modo de recarga, entre otros factores. Lo anterior hace entonces que no se estimen los valores de η y β , sino que se utilice un parámetro constante en el horizonte de tiempo, que correspondería al tiempo de residencia promedio de las pilas.

Siguiendo a DICTUC (2021) y WSP (2020) se considera un tiempo de residencia promedio calculado por un estudio aplicado a países de la Unión Europea. Si bien, este estudio registra tiempos de residencia que oscilan entre los 4 y 12 años, se considera el promedio de 6,4 años (EUCOBAT & Mobius, 2017).

e) Pilas y Aparatos Eléctricos y Electrónicos enviados a instalaciones de pretratamiento y tratamiento

Si bien existen una serie de estimaciones anteriores respecto de la línea base de RAEEP que son valorizados, para efectos de esta evaluación se realizó una actualización, mediante encuestas enviadas directamente a las empresas gestoras.

La información obtenida de estas empresas, que realizan pretratamiento y/o tratamiento de residuos de AEEP, se presentan en la tabla a continuación:

Tabla A-3: Línea base 2019 para destino final de los residuos de AEEP (ton)

Proceso	Residuo	Cantidad (ton/año)	Capacidad instalada (ton/año)
Tratamiento	RAEE pretratado	6.921	s.i
	RAEE no pretratado	4.691	558.000*
Eliminación	RAEE	3.790	s.i
Tratamiento	Pilas pretratado	132	s.i
	Pilas no pretratado	0	0
Eliminación	Pilas	131	s.i
Total Valorizado	RAEEP	11.744	26.624**

* Las capacidades instaladas de estas empresas contemplan la recepción de diversos residuos, entre las cuales se encuentran los RAEE. ** Considera total de capacidad de pretratamiento según E2Biz (2019b).

Se consideran como valorizados aquellos residuos que llegan a plantas de pretratamiento para luego ser sometidos a tratamiento, así como aquellos que llegan directo a las plantas de

tratamiento. Con esto, el total de toneladas tratadas o valorizadas en el año 2019 se estima en 11.744 toneladas.

Por otro lado, la valorización de año base para la subcategoría de *aparatos de intercambio de temperatura (AIT)*, se presentan en la tabla siguiente:

Tabla A-4: Línea base de valorización 2019 para los residuos de AIT (ton)

Proceso	Subdivisión	Valorizado (ton/año)
Pretratamiento	AIT	309
Tratamiento	AIT	1.988
Valorización Total	AIT	2.297

Anexo B Modelación y estimación de Costos

a) Costos de recolección

La recolección de los residuos de Pilas y AEE se podrá llevar a cabo mediante dos formas: por un servicio de retiro de los RAEEP directamente desde los hogares de los generadores (sistema D2D), o mediante el traslado por parte de los generadores del residuo a una instalación de recepción (sistema 1xN). El costo de recolección se determina de manera diferenciada para cada uno de los subtipos de residuos en USD por tonelada.

Los costos de recolección se pueden expresar como sigue:

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

Donde,

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

$\beta_{i,n,z}$: proporción del total de RAEEP de subtipo n que es recolectada mediante el método i (D2D o 1xN) en la zona z . Este parámetro es resultante del proceso de minimización de costos que realiza el regulado, la forma de recolección dependerá directamente del costo de esta.

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

$Costo_{rec}_{i,n,z}$: costo de recolección para el RAEEP se subtipo n mediante el método i (USD/tonelada) en la zona z .

Se considera un costo de recolección según método, tipo de RAEEP y zona geográfica, específicamente los valores unitarios son:

Tabla B-1: Costos medios de recolección según subtipo de RAEEP, zona y método de recolección (USD/ton)

Subtipo	Norte Chico		Norte Grande		Central		Sur		Austral	
	1xN	D2D	1xN	D2D	1xN	D2D	1xN	D2D	1xN	D2D
A1-A2	-	553	-	764	-	632,5	-	501	-	700
A3	-	553	-	764	-	632,5	-	501	-	700
A4	-	553	-	764	-	632,5	-	501	-	700
B1	204,1	199	270,5	241	251,7	214,5	197,5	188	289,7	228
B2	204,1	224	270,5	278	251,7	244,5	197,5	211	289,7	262
B3	204,1	210	270,5	257	251,7	227,5	197,5	198	289,7	243

Subtipo	Norte Chico		Norte Grande		Central		Sur		Austral	
	1xN	D2D	1xN	D2D	1xN	D2D	1xN	D2D	1xN	D2D
C1	346,2	310	458,6	404	426,9	345	334,9	286	491,2	375
C2	346,2	310	458,6	404	426,9	345	334,9	286	491,2	375
E1	-	177	-	208	-	188,5	-	169	-	198
E2	-	243	-	306	-	266,5	-	227	-	287
F1	173,1	210	229,3	257	213,4	227,5	167,4	198	245,6	243
F2	173,1	210	229,3	257	213,4	227,5	167,4	198	245,6	243
F3	173,1	210	229,3	257	213,4	227,5	167,4	198	245,6	243
P2	173,1	210	229,3	257	213,4	227,5	167,4	198	245,6	243

Para estimar los costos para la recolección mediante 1xN se consideran los costos presentados por E2Biz (2019b), específicamente aquellos estimados para un sistema de recolección 1x0, 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. Este sistema se considera solo aplicable a RAEEP de tamaño pequeño; luego, para aquellos que no lo son, no se presentan costos 1xN en la Tabla B-1 y se considera que, como única opción, pueden ser recolectados mediante el sistema D2D.

Los costos para un sistema de recolección D2D, por otro lado, consideran costos de almacenamiento temporal (antes del traslado a valorización) y los costos mismos del proceso de recolección. El primero se obtiene del costo medio de almacenamiento dado por E2Biz (2019b) mientras que el segundo se toma desde AGIES del producto prioritario Envases y Embalajes (110 USD por tonelada) (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

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.

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

Donde,

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

$RAEEP_{t,n}^{Rec}$: cantidad de RAEEP total recolectada de subtipo n en el año t en la zona z en toneladas.

$CPr_{n,z}$: costo medio unitario asociado al pretratamiento de RAEEP de subtipo 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 subtipo de RAEEP y zona de recolección (USD/ton)

Zona	Subtipo RAEE	Costo medio (USD/tonelada)		
		1 turno	2 turnos	3 turnos
Norte Grande	A1-A2	77	57	50
	A3	146	105	91
	A4	393	278	239
	B1	172	123	107
	B2	162	116	101
	B3	184	132	114
	C1	-	-	-
	C2	-	-	-
	E1	469	331	285
	E2	289	205	177
	F1	742	521	448
F2	387	273	235	
Norte Chico	A1-A2	54	41	36
	A3	100	72	63
	A4	263	186	161
	B1	117	84	73
	B2	110	80	70
	B3	125	90	78
	C1	-	-	-
	C2	-	-	-
	E1	313	221	190
	E2	194	138	120
	F1	493	346	298
F2	258	183	158	
Central	A1-A2	67	50	45
	A3	125	92	81
	A4	336	242	210
	B1	148	108	94
	B2	139	102	89
	B3	158	115	101
	C1	-	-	-
	C2	-	-	-
	E1	400	287	250
	E2	247	179	156
	F1	632	452	392
F2	330	237	207	
Sur	A1-A2	50	38	34

Zona	Subtipo RAEE	Costo medio (USD/tonelada)		
		1 turno	2 turnos	3 turnos
	A3	90	67	59
	A4	237	171	148
	B1	106	78	68
	B2	100	74	65
	B3	113	83	73
	C1	-	-	-
	C2	-	-	-
	E1	282	202	176
	E2	176	127	111
	F1	444	317	275
	F2	233	168	146
	Austral	A1-A2	74	57
A3		141	105	93
A4		379	278	245
B1		166	123	109
B2		157	117	103
B3		178	132	117
C1		-	-	-
C2		-	-	-
E1		452	331	291
E2		279	206	181
F1		715	523	459
F2		373	274	241

Fuente: (E2Biz, 2019b)

c) Costos de transporte al punto de valorización

El costo de transporte al punto de valorización considera el movimiento de los RAEEP 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)¹¹ 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.

Matemáticamente:

$$C_{transporte_t} = \sum_{n,z} RAEEP_{t,n,z}^{Rec} * CTrans_{n,z} \quad \text{Ecuación B-11}$$

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

¹¹ Este estudio sigue la metodología desarrollada en el AGIES de Envases y Embalajes (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

$RAEEP_{t,n}^{Rec}$: cantidad de RAEEP total recolectada de subtipo n en el año t en la zona z en toneladas.

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

Los valores unitarios son:

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

Subtipo RAEEP	Norte Grande	Norte Chico	Central	Sur	Austral
A1-A2	1.147	409	89	264	2.106
A3	1.147	409	89	264	2.106
A4	1.147	409	89	264	2.106
B1	229	82	18	53	421
B2	295	105	23	68	542
B3	258	92	20	59	474
C1	516	184	40	119	948
C2	516	184	40	119	948
D1	836	298	65	192	1.535
D2	836	298	65	192	1.535
E1	172	61	13	40	316
E2	344	123	27	79	632
F1	258	92	20	59	474
F2	258	92	20	59	474
P2	258	92	20	59	474

Fuente: (E2Biz, 2019b)

d) Costos de tratamiento y disposición final

Una vez recolectados, transportados y pretratados, los RAEEP serán valorizados y/o dispuestos adecuadamente, esto, dependiendo de los materiales que lo conforman y la posibilidad de utilización de cada una de las partes que lo integran.

Los costos de tratamiento o valorización y de disposición final están dados por:

$$C_{Trat y Disp F_t} = \sum_{n,m} RAEEP_{t,n}^{Rec} * [(\gamma_{Vn} * CTra_n) + (\gamma_{NVn} * \partial_{NVn,m} * CDfinal_{m,n})] \quad \text{Ecuación B-12}$$

con

$$\gamma_{Vn} + \gamma_{NVn} = 1$$

Donde:

$C_{Trat_y_DispF_t}$: costo total de tratamiento o valorización y disposición final en el año t (USD).

$RAEEP_{t,n}^{Rec}$: cantidad de RAEEP total recolectada de subtipo n en el año t en la zona z en toneladas.

γ_{Vn} : proporción valorizable de una tonelada de RAEEP de subtipo n

γ_{NVn} : proporción NO valorizable de una tonelada de RAEEP de subtipo n

$\partial_{NVn,m}$: Factor de conversión entre 1 tonelada de RAEEP NO valorizable a los distintitos materiales no valorizables m que lo componen.

$CTra_n$: costo medio de tratamiento o valorización de una tonelada valorizable de un RAEEP de subtipo n (USD/ton).

$CDfinal_{m,n}$: costo medio de disposición final de una tonelada NO valorizable de material de tipo m proveniente de RAEEP de subtipo n (USD/ton).

El costo medio de tratamiento o valorización se considera el mismo para todos los subtipos de RAEEP e igual a 444 USD por tonelada. Tanto este valor como los demás parámetros, presentados a continuación, provienen de E2Biz (2019b) y DICTUC (2019).

Tabla B-4: Proporción valorizable y NO valorizable por subtipo de RAEEP (%)

Subtipo	γ_{NVn}	γ_{Vn}
A1-A2	30,6%	69,4%
A3	38,0%	62,0%
A4	32,0%	68,0%
B1	14,0%	86,0%
B2	97,0%	3,0%
B3	70,0%	30,0%
C1	100,0%	0,0%
C2	100,0%	0,0%
E1	1,8%	98,2%
E2	21,0%	79,0%
F1	3,9%	96,1%
F2	4,0%	96,0%
F3	13,5%	86,5%
P2	100,0%	0,0%

Fuente: (DICTUC, 2021) (E2Biz, 2019b)

Es importante señalar que lo presentado en la tabla anterior corresponde a supuestos conservadores representativos de una situación de línea base sin regulación, y que buscan representar la realidad nacional (es decir, obviando la posibilidad de exportar los residuos).

Tabla B-5: Composición porcentual de la fracción NO valorizable de RAEEP según subtipo y material, y costo de disposición final (USD/ton)

Subtipo <i>n</i>	Material <i>m</i>	$\partial_{NV\ n,m}$	$CD_{final\ m,n}$ (USD/ton)
A1-A2	Compresor no valorizable	0,19608	829
	Gases y/o aceites y líquidos extraídos	0,06536	580
	Plástico no valorizable A	0,73856	31
A3	Compresor no valorizable	0,26316	829
	Refrigerantes extraídos	0,05263	829
	Plástico no valorizable A	0,68421	31
A4	Compresor no valorizable	0,1875	829
	Gases y/o aceites y líquidos extraídos	0,0625	580
	Plástico no valorizable A	0,75	31
B1	Acero no valorizable	0,28571	373
	Electrónico no valorizable	0,14286	373
	Plástico no valorizable A	0,57143	31
B2	CRT no valorizable	0,61856	373
	Acero no valorizable	0,06186	373
	Plástico no valorizable B	0,21649	580
	TCI – CRT no valorizable	0,10309	373
B3	TCI – CRT	1	373
C1	Aluminio no valorizable	0,95	373
	Vidrio no valorizable	0,025	31
C2	Subtipo completo	1	373
E1	Plástico no valorizable B	1	580
E2	Plástico no valorizable B	0,9953	580
	Vidrio no valorizable	0,0047	31
F1	Plástico no valorizable B	0,92308	580
	Electrónico no valorizable	0,07692	0
F2	Electrónico no valorizable	1	0
F3	Batería o pila valorizable	0,65185	0
	Plástico no valorizable B	0,34815	580
P2	Batería o pila no valorizable	1	580

Fuente: (E2Biz, 2019b), (DICTUC, 2021)

e) Costos de instalación de capacidades adicionales

Se estima la necesidad de plantas adicionales de pretratamiento y el costo asociado a estas de la forma siguiente:

$$C_{InstAd}_t = \sum Inst_{.t} * (CInv_{anual}) \quad \text{Ecuación B-13}$$

Donde:

C_{InstAd}_t : Costo total asociado a la instalación de capacidades adicionales de pretratamiento de residuos en el año t (USD).

$Inst_{.t}$: Número de instalaciones adicionales de pretratamiento de residuos operando en el año t.

$CInv_{anual}$: Costo de inversión anualizado asociado a la existencia de una instalación de pretratamiento adicional (USD/año).

Utilizando la información provista por E2Biz (2019b) se considera un costo de inversión total por instalación de 1.160.963 USD, que se anualiza considerando una vida útil de 20 años y la tasa social de descuento (6%), con lo que se obtiene el parámetro $CInv_{anual}$ igual a 101.218 USD anuales. La capacidad de tratamiento de cada planta se considera igual a 3.600 toneladas anuales (capacidad a 3 turnos).

f) 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 AEEP. 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.

g) 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:

$$C_Garantia_t = IT * F_{BC} \tag{Ecuación B-14}$$

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).

h) Costo de obligaciones asociadas

Se establece la existencia de dos obligaciones asociadas susceptibles de ser evaluadas en el AGIES (ver Tabla 1-2 y Tabla 1-3). 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:

$$C_{Oblig.IRA_t} = \sum_z IRA_{t,z} * (CMant.OP_{anual} + CInv_{anual}) \tag{Ecuación B-15}$$

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-6: 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*¹². 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 6%.

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. El supuesto conservador implícito en esa estimación es que se retirarán directamente desde los hogares aquellos residuos que sean más baratos de recolectar mediante este sistema o que no puedan recolectarse mediante el sistema de 1xN.

A fin de incluir en la evaluación costos adicionales dados por la obligación, se considera el costo asociado a realizar una campaña publicitaria de difusión en las zonas del país abarcadas de acuerdo a la cobertura que indica la normativa, tendientes a impulsar a los generadores de residuos (consumidores de AEEP) a entregar estos una vez que se realice el servicio de retiro.

¹² Contempló la construcción de 20 puntos de recepción de residuos con una superficie total de 9.280 m².

Matemáticamente, el costo se expresa como:

$$C_{Oblig. RecD2D_t} = \sum_z CostoCampaña_z * Comunas_atendidas \quad \text{Ecuación B-16}$$

Donde:

C_{Oblig. RecD2D_t}: Costo total de la obligación de retiro de residuos desde los hogares en el año *t* (USD).

CostoCampaña_z: Costo de una campaña de difusión en una comuna de la zona *z* (USD/campaña)

Comunas_atendidas: Número total de comunas del país que deben contar con el servicio según lo indicado en la Tabla 1-3.

Los costos por campaña son los siguientes:

Tabla B-7: Costos unitarios por campaña de difusión de servicio de retiro desde los hogares (USD)

Zona	Costo por Campaña (USD)
Norte Grande	752
Norte Chico	739
Central	791
Sur	772
Austral	752

Fuente: (E2Biz, 2019b)

Se asume que se realizará una (1) campaña anual y que ésta cubre a una comuna completa.

Anexo C Modelación y estimación de Beneficios

A continuación, se explicita la metodología que permite estimar los beneficios identificados en la Tabla 2-1. Por disponibilidad de información, no todos pueden ser estimados, en esos casos se denominan beneficios no cuantificables.

a) Beneficios por venta de residuos valorizados

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.

Matemáticamente, los beneficios anuales se calculan de la siguiente forma:

$$B_{venta_t} = \sum_{n,m} RAEEP_{t,n}^{Rec} * [\gamma_{Vn} * \partial_{Vn,m} * Precio_{n,m}] \quad \text{Ecuación C-17}$$

Donde:

B_{venta_t} : Beneficio total por venta de RAEEP sometidos a tratamiento o valorización en el año t (USD).

$RAEEP_{t,n}^{Rec}$: Cantidad de RAEEP total recolectada de subtipo n en el año t en toneladas.

γ_{Vn} : Proporción valorizable de una tonelada de RAEEP de subtipo n

$\partial_{Vn,m}$: Factor de conversión entre 1 tonelada de RAEEP valorizable a los distintos materiales valorizables m que lo componen.

$Precio_m$: Precio de venta de una tonelada valorizable de material de tipo m proveniente de RAEEP de subtipo n (USD/ton).

La proporción del RAEEP que es valorizable se muestra en la Tabla B-4 mientras que la composición de estos en términos de los materiales valorizables que los componen y sus precios de mercado se muestran a continuación.

Tabla C-1: Composición porcentual de la fracción valorizable de RAEEP según subtipo y material, y precio de venta (USD/ton).

Subtipo n	Material m	$\partial_{Vn,m}$	$Precio_m$ USD/tonelada
A1-A2	Acero	0,6196	149
	Compresor valorizable	0,2450	194
	Plástico valorizable	0,0288	299
	Vidrio	0,0144	30
	Cable	0,0058	2.985
	Fracción de carcasa no ferrosa	0,0865	746

Subtipo n	Material m	$\theta_{v n,m}$	Precio m USD/tonelada
A3	Acero	0,0806	149
	Compresor valorizable	0,4677	194
	Cobre	0,2097	4.478
	Aluminio	0,1290	746
	Plástico valorizable	0,0161	299
	Electrónico	0,0968	2.000
A4	Acero	0,6324	149
	Compresor valorizable	0,2500	194
	Plástico valorizable	0,0147	299
	Vidrio	0,0147	30
	Cable	0,0000	2.985
	Fracción de carcasa no ferrosa	0,0882	746
B1	Acero valorizable	0,5814	149
	Aluminio valorizable	0,0116	746
	Electrónico	0,1977	2.000
	Plástico valorizable	0,2093	299
B2	Acero valorizable	0,0000	149
	Plástico valorizable	0,3333	299
	Cableado valorizable	0,6667	2.985
B3	Plástico	0,5667	299
	Acero	0,2333	149
	Cableado	0,2000	2.985
E1	Plástico valorizable	0,0041	299
	Hierro	0,4104	119
	Electrónico	0,5855	2.000
E2	Acero	0,5722	149
	Aluminio	0,0051	746
	Electrónico	0,2899	2.000
	Plástico Valorizable	0,1203	299
	Vidrio valorizable	0,0127	30
F1	Plástico valorizable	0,0042	299
	Electrónico valorizable	0,9958	2.000
F2	Plástico valorizable	0,0021	299
	Electrónico valorizable	0,9979	2.000
F3	Plástico valorizable	0,0173	299
	Electrónico	0,9827	2.000

Fuente: (E2Biz, 2019b)

b) Beneficios por aumento en las tasas de reciclaje de residuos de AEEP

La disposición inadecuada de los residuos de AEEP 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 RAEEP 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 RAEEP. 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 AEEP 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 RAEE, 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 RAEEP es:

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

Ecuación C-18

Donde

- $B_AumentoR_t$: Beneficio por aumento de las tasas de reciclajes de los RAEEP respecto de la línea base (USD).
- DAP_n : Disposición a pago mensual por aumento de un punto porcentual en la tasa de reciclaje de RAEEP según tipo, por persona (CLP/persona/mes).
- ΔR_n : Variación porcentual de la tasa de RAEEP 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:

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

Tipo de RAEEP	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]
Total	69,00	[57;80]

Fuente: (DICTUC, 2019)

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

Febrero - 2022