



**División de Información y Economía Ambiental  
Ministerio del Medio Ambiente**

0092

**MEMORÁNDUM N°153/2018**

De : Sra. Sandra Briceño Pérez  
Jefa (S) División de Información y Economía Ambiental

A : Sr. Guillermo González Caballero  
Jefe Oficina de Implementación Legislativa y Economía Circular

Mat : Envío del documento "Análisis General de Impacto Económico y Social de Anteproyecto de Decreto Supremo que establece Metas de Recolección y Valorización y Otras Obligaciones Asociadas de Neumáticos

Fecha : 28 de Septiembre de 2018

---

Junto con saludarlo, envío a usted el documento Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de Anteproyecto de Decreto Supremo que establece Metas de Recolección y Valorización y Otras Obligaciones Asociadas de Neumáticos. Este fue elaborado en base al Anteproyecto de Decreto Supremo recibido el día 13 de Septiembre de 2018 en Memo N°164, en cual recibió actualizaciones en los días posteriores.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

  
**SANDRA BRICEÑO PÉREZ**  
JEFA (S) DIVISIÓN DE INFORMACIÓN Y ECONOMÍA AMBIENTAL

  
CGC/FGL/mso

cc.: Arch. División de Información y Economía Ambiental



## DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

---

### ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE ANTEPROYECTO DE DECRETO SUPREMO QUE ESTABLECE METAS Y OBLIGACIONES ASOCIADAS DE RESIDUOS DE NEUMÁTICOS

---

28 de Septiembre de 2018

## Presentación

El presente informe corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de Decreto Supremo que Establece Metas de Recolección y Valorización y obligaciones asociadas de residuos de neumáticos.

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 según la *Ley 20.920 Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje*, es atribución del Ministerio establecer, mediante la dictación de Decretos Supremos, metas de recolección y valorización para los residuos de productos prioritarios.

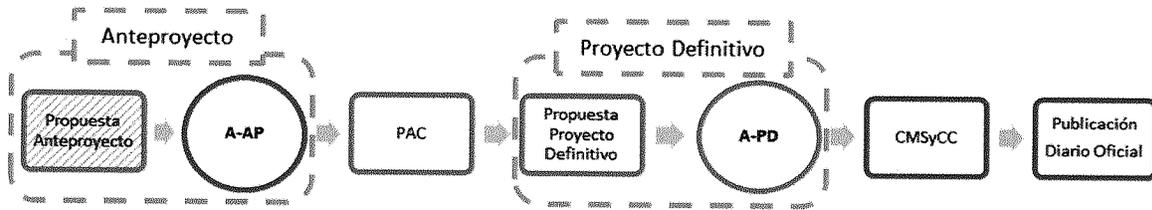
Asimismo, corresponde al MMA, según el Título Tercero, Párrafo 2°, Artículo 25 del Decreto Supremo N° 8 *Reglamento que regula el Procedimiento de Elaboración de los Decretos Supremos establecidos en la Ley N° 20.920*, elaborar un AGIES del Anteproyecto de Decreto Supremo (DS) que establezca metas de recolección y valorización, considerando la situación actual y la situación con anteproyecto. En particular, el AGIES debe evaluar 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), de tal forma de 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 cual no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación. Tanto el AGIES del Anteproyecto como la actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo corresponden solamente a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión; otros antecedentes corresponden por ejemplo a antecedentes geográficos y demográficos, datos históricos, situación política y la percepción pública respecto a la contaminación. La Figura 1 muestra el proceso de elaboración del DS.

Figura 1: Proceso de elaboración del Decreto Supremo.



Fuente: Elaboración propia

En este análisis, según la información disponible por el MMA al momento de la evaluación, se evalúa el cumplimiento de la regulación y se estiman los beneficios de la reducción en la cantidad de residuos con disposición inadecuada y el aumento de las cantidades que se valorizan según los tipos de tratamientos disponibles. Además, se estiman los costos que implica el cumplimiento de las metas dados por las mayores necesidades de recolección y valorización de los residuos.

## Resumen

El presente documento muestra los 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 neumáticos, definido por la Oficina de Implementación Legislativa y Economía Circular.

El escenario regulatorio evaluado corresponde a metas graduales de recolección y valorización para neumáticos en un plazo de 10 años, diferenciando según categoría: aro menor a 57 pulgadas y mayor o igual a 57 pulgadas. Las metas se establecen en relación a la cantidad de neumáticos puestos en el mercado, en particular sobre los residuos generados que deben recolectarse y valorizarse. Además, se establecen metas específicas de recolección para regiones de zonas extremas: Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Aysén y Magallanes. La valorización también contempla metas específicas según tratamiento, estableciendo un mínimo que se debe cumplir reciclando o recauchando. Los regulados corresponden a productores que enajenan o importan neumáticos de manera independiente o como parte integral de un vehículo o maquinaria de cualquier tipo. Su responsabilidad en el financiamiento de la gestión de los residuos de neumáticos depende de lo puesto en el mercado.

El AGIES evalúa los beneficios y costos de las metas de recolección y valorización definidas en el Anteproyecto en un horizonte de 13 años<sup>1</sup> (2018-2030). Los resultados indican lo siguiente:

- Los beneficios cuantificados por la reducción de la disposición inadecuada de neumáticos, recepción de residuos de neumáticos y venta de productos valorizados se estiman en US\$264,2 millones<sup>2</sup> en valor presente.
- Los costos monetizados por la recolección de neumáticos (transporte), tratamiento (valorización y eliminación), aumento de capacidad de tratamiento, administración, fiscalización y garantía del Sistema de Gestión y por obligación asociada se estiman en US\$120,9 millones en valor presente.

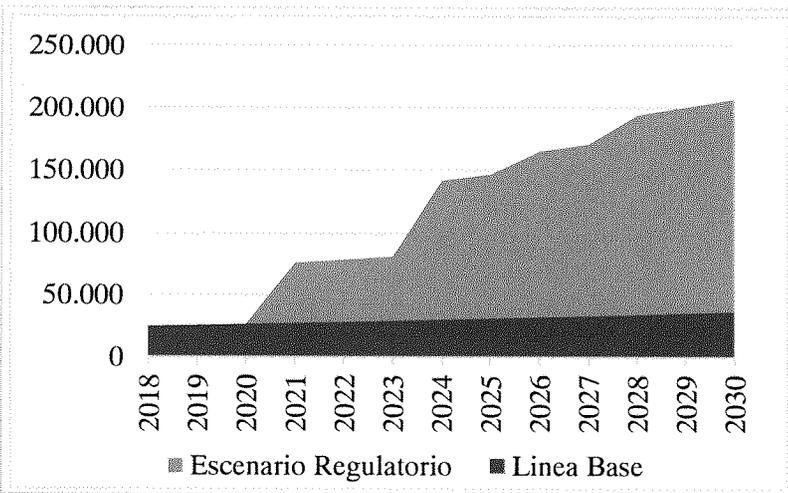
La valoración de los beneficios y costos del escenario regulatorio propuesto indica que la implementación de las metas es altamente rentable desde la perspectiva social. La razón beneficio-costos es de 2,19.

---

<sup>1</sup> Se utiliza un horizonte de evaluación de 13 años debido a que la regulación se define con un plazo de 10 años. Se asume que la normativa comienza a regir el año 2021.

<sup>2</sup> Supuestos generales. Tasa de descuento = 6%. Horizonte de evaluación = 13 años. Tipo cambio dólar promedio de julio al 19/07/2018: 652,47 CLP.

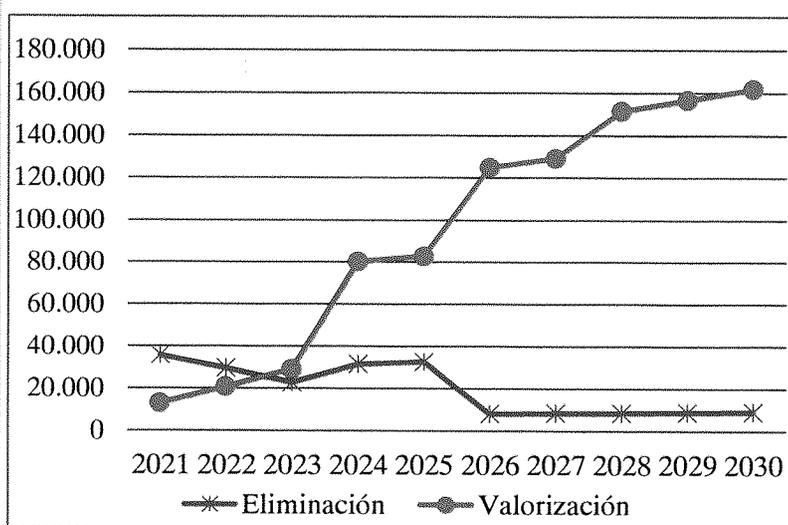
0095



**Figura A: Toneladas de neumáticos recolectados con escenario regulatorio.**

La Figura A muestra las toneladas de residuos de neumáticos recolectados 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 neumáticos recolectadas y valorizadas en el año base (2016). El escenario regulatorio muestra las cantidades totales recolectadas y valorizadas debido al cumplimiento de las metas.



**Figura B: Toneladas de neumáticos según tratamiento.**

La figura B muestra el total de toneladas de neumáticos que se valorizan o destinan a eliminación debido al cumplimiento de las metas. La valorización corresponde a reciclaje, recauchaje, pirólisis y coprocesamiento. Las cantidades destinadas a eliminación corresponden a las diferencias por año entre la meta de recolección y la meta de valorización.

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

Indicador	Categoría		Total
	< 57"	> 57"	
VP Beneficio (MM US\$)	207,0	57,2	264,2
VP Costo (MM US\$)	74,9	45,9	120,9
Razón B/C	2,76	1,25	2,19

La tabla A muestra los valores presente (VP) 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-costos por categoría y total. Se puede observar que en total, el escenario regulatorio evaluado es altamente rentable, con una razón de 2,19

El horizonte de evaluación corresponde a 2018-2030, donde el valor presente se calcula al 2018.

## Tabla de contenido

0097

Resumen .....	3
1. Antecedentes.....	7
1.1. Regulación a Evaluar .....	7
1.2. Caracterización del regulado.....	9
1.2.1. Productores .....	9
1.2.2. Producto prioritario puesto en el mercado.....	10
1.2.3. Generación de residuos en el cálculo de metas .....	11
1.2.4. Efectos de la regulación en toneladas de residuos de neumáticos.....	12
2. Metodología AGIES.....	12
2.1. Metodología General (AGIES) para metas de recolección y valorización.....	12
2.2. Metodología específica (AGIES) para metas de recolección y valorización de residuos de neumáticos.....	14
2.2.1. Producto prioritario puesto en el mercado.....	14
2.2.2. Productores .....	18
2.2.3. Generación de residuos de neumáticos.....	18
2.2.4. Recolección y valorización en año base .....	20
2.3. Costos.....	21
2.3.1. Costos de transporte .....	23
2.4. Beneficios.....	30
2.5. Indicadores económicos .....	32
3. Resultados.....	34
3.1. Línea base .....	34
3.1.1. Productos prioritarios .....	34
3.1.2. Productores .....	35
3.1.3. Residuos generados .....	36
3.1.4. Recolección y valorización en línea base .....	37
3.2. Cumplimiento del escenario regulatorio.....	38
3.2.1. Costos asociados a las metas de recolección y valorización .....	46
3.2.2. Beneficios asociados a las metas de recolección y valorización .....	48
3.2.3. Indicadores económicos .....	49
3.2.4. Costos unitarios .....	50
4. Conclusiones.....	52
Referencias .....	53
Anexos.....	54



**0098**

## 1. Antecedentes

El presente documento corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) de Anteproyecto de Decreto Supremo que establece metas de recolección y valorización y obligaciones asociadas de residuos de neumáticos. En este capítulo se presentan los aspectos regulatorios se evalúan.

### 1.1. Regulación a Evaluar

La regulación propuesta subdivide los neumáticos a regular en dos categorías: aro menor a 57 pulgadas y mayor o igual a 57 pulgadas. En ambos casos, se consideran los neumáticos de reposición y los que forman parte integrante de un vehículo o maquinaria de cualquier tipo. Se excluyen los neumáticos macizos y de bicicletas.

Las metas de recolección y valorización se calculan en relación con la cantidad de neumáticos puestos en el mercado, en particular sobre los residuos generados. La cantidad puesta en el mercado es mayor a los residuos generados en el año debido a que los neumáticos ensamblados en vehículos o maquinarias puestos en el mercado no son equivalentes a los residuos generados por vehículos fuera de uso (ver sección 2.2.3).

La regulación establece metas graduales de recolección en un plazo de 10 años, considerando como primer año de metas el 2021, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Metas de recolección de residuos de neumáticos según categorías

Categoría	Meta de Recolección (%)									
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
< 57"	50%		80%				90%			
≥ 57"	25%		75%			100%				

Fuente: Elaboración propia en base a minuta de escenario regulatorio para neumáticos.

Dentro de las metas de recolección para la categoría menor a 57", a partir del año 2023 se definen sub-metas de recolección para regiones específicas, ubicadas en zonas extremas (ver Tabla 2). Estas metas son iguales para todos los años.

Tabla 2. Sub-metas de recolección de residuos de neumáticos de categoría menor a 57" para zonas extremas

Región	Meta de Recolección Categoría < 57" (%)
Arica y Parinacota	0,1%
Tarapacá	1%
Antofagasta	2,7%
Aysén	0,7%
Magallanes	0,9%

Fuente: Elaboración propia en base a minuta de escenario regulatorio para neumáticos.

El Decreto, en su artículo 20 del título III, establece que la recolección se considerará cumplida una vez recibidos los residuos de los neumáticos por una instalación autorizada de pretratamiento, valorización, exportación o eliminación. En cuanto a la valorización, se define como tal cuando el residuo recolectado se somete a los procesos de reciclaje, recauchaje, pirólisis o coprocesamiento.

Se definen metas iguales o menores a las de recolección, dependiendo de la categoría. Para la categoría menor a 57” la meta de valorización es menor a las de recolección y para la categoría mayor o igual a 57” la meta de valorización es equivalente (ver Tabla 3).

Tabla 3. Metas valorización de residuos de neumáticos según categorías

Categoría	Meta de Valorización (%)									
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
< 57”	25%	30%	35%	60%		80%		90%		
> 57”	25%			75%		100%				

Fuente: Elaboración propia en base a minuta de escenario regulatorio para neumáticos.

Dentro de las metas de valorización para la categoría menor a 57”, se definen sub-metas de valorización para el reciclaje aprovechando la totalidad de su materialidad o recauchados (ver Tabla 4).

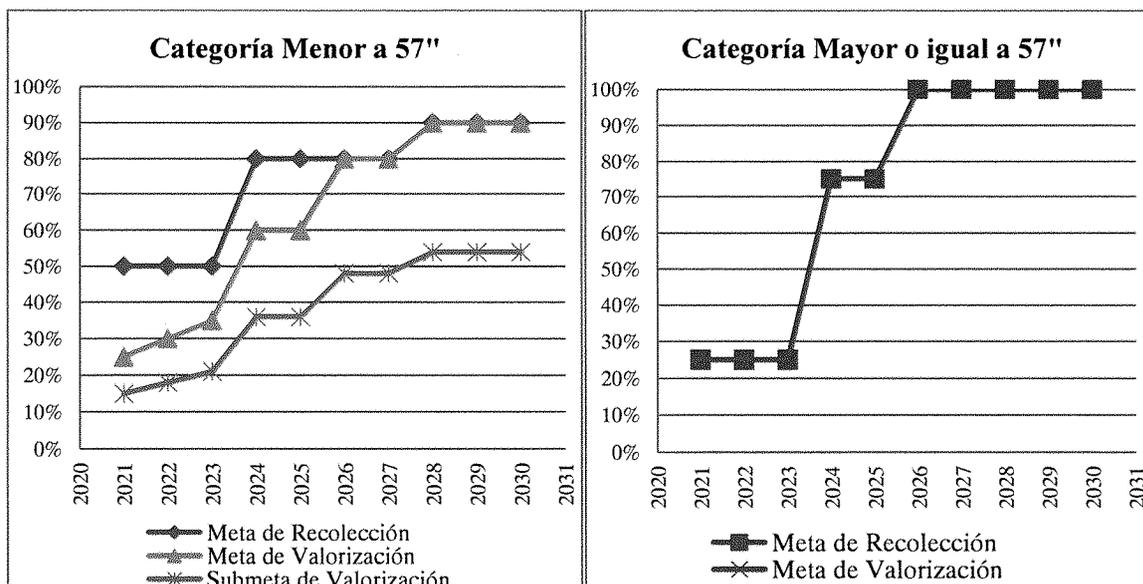
Tabla 4. Sub-meta de valorización de residuos de neumáticos de categoría menor a 57” según tipo de tratamiento.

Tratamiento	Submeta de Valorización (%)									
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Reciclaje/ Recauchaje	15%	18%	21%	36%		48%		54%		

Fuente: Elaboración propia en base a minuta de escenario regulatorio para neumáticos.

La Figura 2 resume las metas de recolección y valorización.

Figura 2. Metas de recolección y valorización para cada categoría.



0101

## 1.2. Caracterización del regulado

### 1.2.1. Productores

De acuerdo al escenario de regulación, se entiende como productor a aquel importador que enajene neumáticos por primera vez en el mercado nacional, independiente de si ese neumático forma parte integrante de un vehículo o maquinaria de cualquier tipo. En Chile, la totalidad de neumáticos puestos en el mercado proviene de las importaciones<sup>3</sup>. Esto ocurre tanto para los neumáticos de reposición como los importados como componente de vehículos o maquinarias.

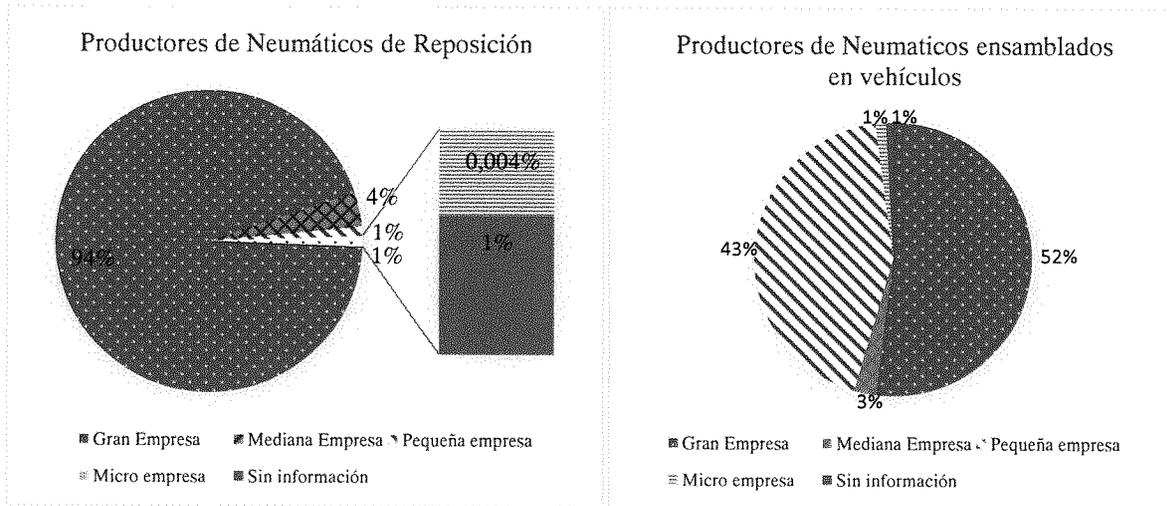
Para el año 2016, existen 653 productores de neumáticos para reposición y 1.085 productores de neumáticos ensamblados en vehículos. Estos últimos corresponden a quienes importan vehículos. También se identificaron 116 productores tanto de neumáticos para reposición como ensamblados en vehículos. Por tanto, el total de productores para el año base corresponde a 1.854.

De acuerdo al tramo de ventas de los productores, existe una mayor presencia de empresas de gran tamaño. Para el caso de los productores de neumáticos de reposición, estos llegan a ser el 94%, mientras que en el de neumáticos ensamblados en vehículos, su participación se reduce a un 52% (Figura 3).

Figura 3. Participación de productores según toneladas de neumáticos puestas en el mercado (%), 2016

<sup>3</sup> Existe una única empresa de propiedad extranjera que produce neumáticos de altos estándares para exportación, pero que no se introducen en el mercado nacional EY (2017). Asesoría en la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP).

; GESCAM (2017). Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para los productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes, contenidos en la Ley 20.920. Santiago de Chile.

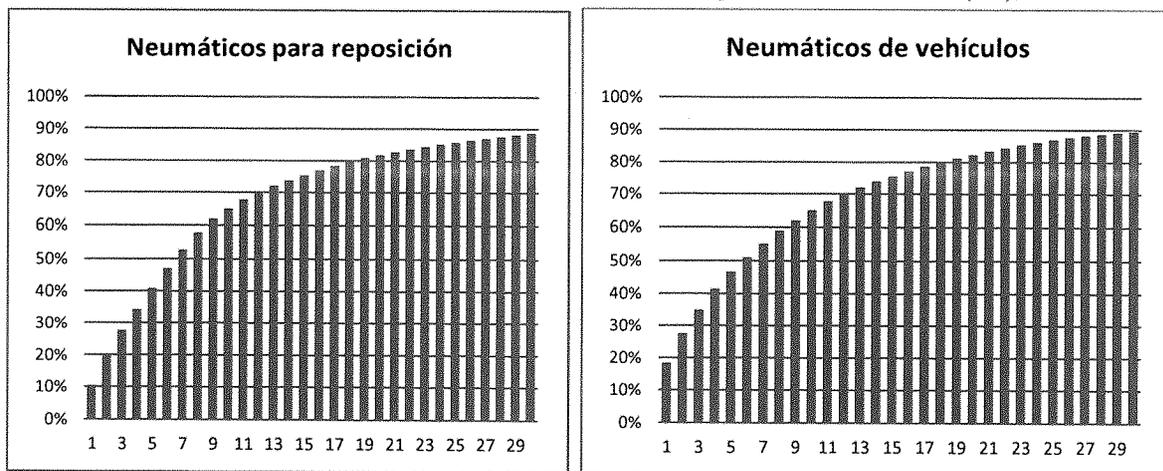


Fuente: Elaboración propia en base a tramo de ventas del Servicio de Impuesto Interno.

Los productores importan mayoritariamente neumáticos de la categoría menor a 57". Esto ocurre tanto para reposición como componentes de vehículo o maquinaria. Los productores de categoría mayor o igual a 57", si bien importan un número menor de neumáticos, su peso hace que tenga mayor participación en el total de neumáticos importados.

La mayor parte de los neumáticos puestos en el mercado se concentran en pocos actores. Sólo 30 productores representan el 89 y 90% de las unidades de neumáticos de reposición y como componente en vehículos introducidos al mercado respectivamente (ver Figura 4).

Figura 4. Participación de productores en los neumáticos puestos en el mercado (ton), 2016.



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

### 1.2.2. Producto prioritario puesto en el mercado

El año 2016 se contabilizaron 6.578.816 neumáticos puestos en el mercado, donde 5.384.947 fueron para reposición y 1.193.869 ensamblados en vehículos o maquinarias.

Esto equivale a 182.703 toneladas puestas en el mercado, donde 152.654 corresponden a reposición y 30.049 a las provenientes de vehículos.

0103

Tabla 5. Neumáticos puestos en el mercado según categoría (ton), 2016.

	Neumáticos puestos en el mercado (ton)				
	< 57"	%	> 57"	%	Total
De reposición	130.410	85,4	22.245	14,6	152.654
Ensamblados en vehículos	28.844	96,0	1.205	4,0	30.049
<b>Total</b>	<b>159.254</b>	<b>87,2</b>	<b>23.450</b>	<b>12,8</b>	<b>182.703</b>

### 1.2.3. Generación de residuos en el cálculo de metas

Las metas se calculan sobre los residuos de neumáticos generados. Los neumáticos puestos en el mercado son un 32% mayor que los residuos generados. Esto porque la cantidad de neumáticos ensamblados en vehículos puestos en el mercado es mayor a la cantidad de residuos de neumáticos generados por vehículos fuera de uso. El motivo es que la demanda por importación de vehículos y maquinarias no responde necesariamente al motivo de reponer un residuo de vehículo o maquinaria. Por ejemplo, las importaciones de estos bienes responden a que el consumidor busca cambiar su vehículo por uno nuevo, pero este último sigue con vida útil. De modo que los residuos generados por vehículos fuera de uso son menores a la cantidad puesta en el mercado de neumáticos ensamblados en vehículos y maquinarias.

En toneladas, además de lo anterior, se agrega un desgaste en los residuos de neumáticos, que implica un menor peso que los puestos en el mercado. Así, en toneladas, para el año base los residuos generados corresponden a un 75,7% de lo puesto en el mercado.

Tabla 6. Neumáticos puestos en el mercado y residuos generados, 2016.

Origen del neumático (reposición o vehículo)	Cantidad de Neumáticos según condición (ton)	
	Puesto en el mercado	Residuos
De reposición	152.654	126.227
En vehículo o maquinaria	30.049	11.841
<b>Total</b>	<b>182.703</b>	<b>138.068</b>
<b>Residuos de neumáticos respecto del total puesto en el mercado</b>	<b>75,7 %</b>	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Servicio Nacional de Aduanas, 2016.

Es importante recalcar que la cantidad puesta en el mercado, así como sus productores, son responsables del costo que involucre gestionar los residuos de neumáticos, influyendo en el aspecto distributivo de los costos del cumplimiento de las metas.

### 1.2.4. Efectos de la regulación en toneladas de residuos de neumáticos

Las metas de recolección y valorización que establece la regulación en las Tablas Tabla 1,

Tabla 2Tabla 3 y Tabla 4 se calculan sobre las toneladas de residuos de neumáticos generados en cada año del período de evaluación. Las metas permiten recolectar y valorizar una proporción importante de los residuos, tal como se señala en la Tabla 7. El detalle de la metodología en las secciones 2.2.4 y 2.2.5.

Tabla 7. Toneladas esperadas de recolección y valorización según regulación.

Metas	Cate- goría	Detalle	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Recolec- ción	< 57"	Total	71.281	73.668	76.141	125.928	130.180	134.589	139.161	143.902	148.820	173.162
		XV	n.a.	n.a.	152	157	163	168	174	180	186	192
		I	n.a.	n.a.	1.827	1.889	1.953	2.019	2.087	2.159	2.232	2.309
		II	n.a.	n.a.	4.112	4.250	4.394	4.542	4.697	4.857	5.023	5.195
		XI	n.a.	n.a.	1.066	1.102	1.139	1.178	1.218	1.259	1.302	1.347
		XII	n.a.	n.a.	1.371	1.417	1.465	1.514	1.566	1.619	1.674	1.732
	≥ 57"	Total	4.858	5.005	5.156	10.622	10.942	11.272	22.760	23.447	24.155	24.884
Valori- zación	< 57"	Total	35.641	44.201	53.299	94.446	97.635	100.942	104.370	143.902	148.820	173.162
		Reciclaje /Recauchaje	21.384	26.520	31.979	56.668	58.581	60.565	62.622	86.341	89.292	92.353
	≥ 57"	Total	4.858	5.005	5.156	10.622	10.942	11.272	22.760	23.447	24.155	24.884

Solamente la cantidad recolectada mediante la meta del primer año, en términos de m<sup>3</sup>, equivale a cuatro tercios del Estadio Nacional lleno de residuos de neumáticos<sup>4</sup>. Del mismo modo, al término del período de evaluación, la regulación habrá recolectado alrededor de 3,2 Estadios Nacionales en m<sup>3</sup> de residuos de neumáticos.

## 2. Metodología AGIES

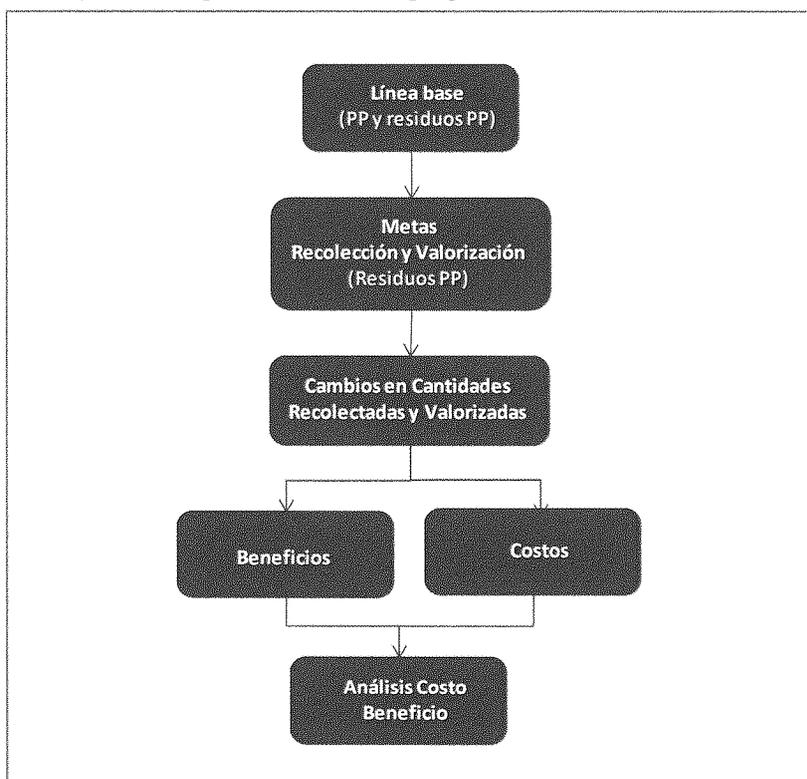
### 2.1. Metodología General (AGIES) para metas de recolección y valorización

La metodología empleada en la elaboración del AGIES corresponde a un Análisis Costo Beneficio (ACB), donde se generan diferentes indicadores que den respuesta a los impactos de una política pública, proporcionando antecedentes de tal forma de mejorar la toma de decisiones durante el proceso normativo. En un AGIES los impactos se traducen en indicadores que reflejen la rentabilidad social de la regulación evaluada. Estos son generalmente representados por la razón beneficio costo y valores presente de costo y beneficio, entre otros.

<sup>4</sup> El ejercicio supone un volumen de 500 mil m<sup>3</sup> para el Estadio Nacional.

En la Figura 5 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 las cantidades de residuos del producto prioritario destinados a recolección y valorización. Para esto se elaboran análisis o modelos que permiten estimar la línea base (situación actual) de la cantidad de producto prioritario puesto en el mercado, así como la línea base del manejo actual de sus residuos. Luego, el aumento de las cantidades de residuos recolectados y valorizados se relaciona, también mediante análisis o modelos, con costos y beneficios.

Figura 5. Diagrama de 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 and 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.

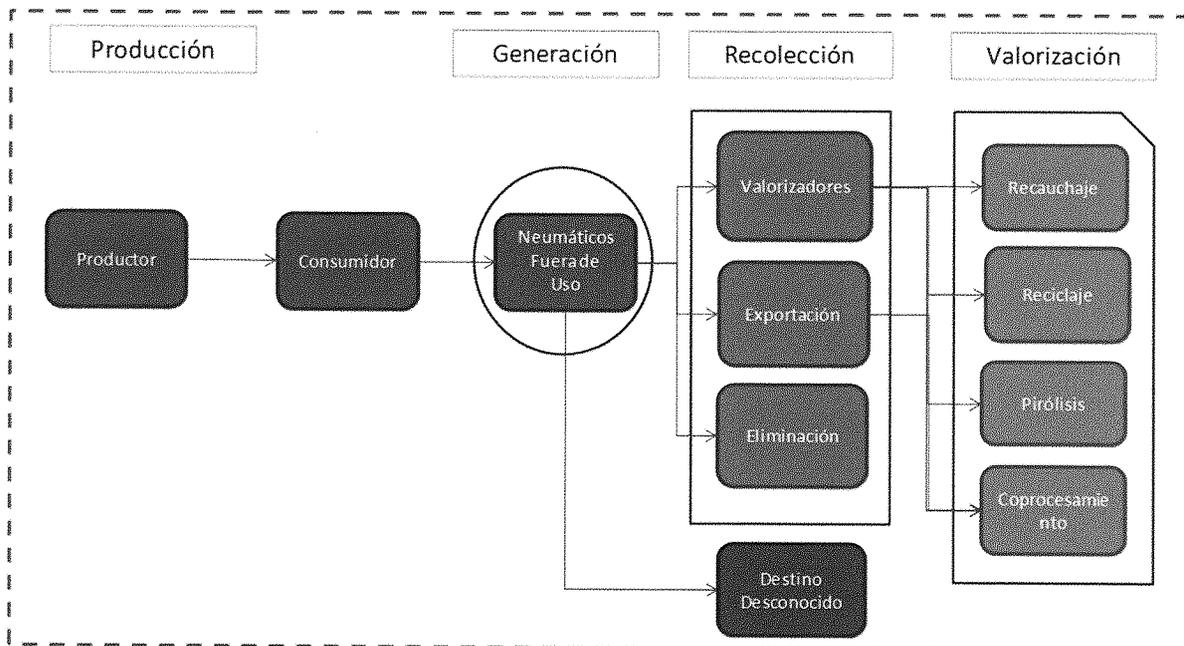
Los beneficios valorados, para el caso de los neumáticos, corresponden a la reducción de la disposición inadecuada de sus residuos, ingresos por recepción de estos en las instalaciones de valorización y venta de productos provenientes del neumático. Por otra parte, los costos valorados corresponden a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

## 2.2. Metodología específica (AGIES) para metas de recolección y valorización de residuos de neumáticos

La metodología utilizada para la elaboración del AGIES corresponde a una aplicación específica de la metodología general desarrollada para la evaluación de impactos económicos y sociales. El análisis se elabora mediante la comparación de la situación actual proyectada (línea base) con la situación con regulación, considerando una serie de posibles impactos identificados en el ciclo de vida del neumático.

La Figura 6 muestra una representación del ciclo de vida del neumático. En cada etapa de este ciclo se generarán impactos como consecuencia de la regulación.

Figura 6. Ciclo de vida del producto prioritario neumáticos



Fuente: Elaboración propia.

Según cada etapa del ciclo de vida del neumático, se desarrolla una metodología para estimar las unidades de neumáticos introducidos en el mercado, sus residuos, la recolección y luego la valorización según tipo de tratamiento.

### 2.2.1. Producto prioritario puesto en el mercado

La cuantificación de las unidades de neumáticos introducidas en el mercado nacional se hace por medio de los registros de importación del Servicio Nacional de Aduanas. Primero, se identifican los códigos arancelarios que representan la importación de un neumático. Esto tanto para neumáticos de reposición como componentes de vehículos o maquinaria.

Respecto a los de reposición, la partida 40.11 permite identificar las importaciones de este bien. Los diferencian según el tipo de vehículo que lo utiliza. En la regulación se

consideran los vehículos del tipo utilizado en automóviles de turismo (familiar y carreras), en autobuses o camiones, utilizado en motocicletas, en vehículos y máquinas agrícolas o forestales, para la construcción o mantenimiento industrial y para la minería. Existen otros tipos de vehículos que no son considerados puesto que la regulación los excluye, como es el caso de las bicicletas y carretillas. La ley, además, prohíbe la importación de neumáticos macizos y aquellos que son usados y/o recauchados (Tabla 8).

Tabla 8. Códigos arancelarios para neumáticos de reposición, 2016.

Tipo de vehículo	Códigos arancelarios	Descripción glosa de importación
Vehículos livianos (aro 12-20'')	4011.1000	De los tipos utilizados en automóviles de turismo (incluidos los del tipo familiar (station wagon) y los de carreras.
	4011.4000	De los tipos utilizados en motocicletas
Vehículos de transporte y carga (aro 22-24,5'')	4011.2000	De los tipos utilizados en autobuses o camiones
Vehículos y maquinaria agrícola y forestal (aro 4-54'')	4011.6100	De los tipos utilizados en vehículos y máquinas agrícolas o forestales con altos relieves en forma de taco, ángulo o similares.
	4011.9200	Los demás neumáticos nuevos de caucho, de los tipos utilizados en vehículos y máquinas agrícolas o forestales
Vehículos y maquinaria Industrial (aro 24-63'')	4011.6200	De los tipos utilizados en vehículos y máquinas para la construcción o mantenimiento industrial, para llantas de diámetro inferior o igual a 61 cm.
	4011.6300	De los tipos utilizados en vehículos y máquinas para la construcción o mantenimiento industrial, para llantas de diámetro superior a 61 cm, incluidos los vehículos y máquinas utilizados en la minería.
	4011.9300	Los demás neumáticos nuevos de caucho, de los tipos utilizados en vehículos y máquinas para la construcción o mantenimiento industrial, llantas de diámetro inferior o igual a 61 cm, incluidos los vehículos y máquinas utilizados en la minería.
	4011.9400	Los demás neumáticos nuevos, de los tipos utilizados en vehículos y máquinas para la construcción o mantenimiento industrial, para llantas de diámetro superior a 61 cm, incluidos los vehículos y máquinas utilizados en la minería
Vehículos y maquinaria minera (aro 24-63)	4011.6910	De los tipos utilizados en volquetes automotores y en otros vehículos para la minería

Fuente: Elaboración propia a partir de códigos arancelarios del Servicio Nacional de Aduanas.

En cuanto a los neumáticos componentes de vehículos o maquinarias, el capítulo 87 permite identificar las importaciones de vehículos livianos, motocicletas, buses y camiones, tractores agrícolas y forestales, industriales y de minería (Tabla 9).

0108

**Tabla 9.** Códigos arancelarios para neumáticos ensamblados en vehículos o maquinarias, 2016.

Tipo de vehículo	Códigos arancelarios				
Vehículos livianos: automóviles y camionetas	87021011	87032110	87032191	87032199	87032291
	87032299	87032320	87032330	87032391	87032399
	87032420	87032430	87032491	87032499	87033190
	87033211	87033212	87033220	87033230	87033291
	87033310	87033320	87033330	87033390	87039020
	87039090	87042111	87042112	87042121	87042130
	87042161	87042169	87042170	87042210	87042250
	87042329	87043119	87043121	87043130	87043190
	87049090				
vehículos livianos: motocicletas	87111000	87112010	87112020	87112090	
Vehículos de transporte y carga (buses y camiones)	84304190	87012020	87021019	87021091	87021099
	87029090	87041010	87041090	87042130	87042230
	87042250	87042271	87042311	87042351	87051090
	87052090	87053020	87053090	87054010	87054090
	87059010	87059090	87060092	87060093	
Vehículos agrícola y forestal e industriales	84264100	84271011	84271012	84271090	84272011
	84272012	84272013	84272014	84272015	84272016
	84272090	84279000	84292010	84292090	84294010
	84294090	84295110	84295190	84295210	84295290
	84295910	84295930	84295990	84303100	84335100
	87011000	87012020			
Vehículos mineros	84304190	87041010	87041090	87059090	

Fuente: Elaboración propia a partir de códigos arancelarios del Servicio Nacional de Aduanas.

Luego, se estima la cantidad de neumáticos que involucra cada registro. Para los neumáticos de reposición, en cada registro se identifica directamente la cantidad de neumáticos. En el caso de componentes de vehículos y maquinarias se identifica la cantidad de vehículos, que luego debe multiplicarse por la cantidad de neumáticos que traen consigo. Se consideran las siguientes cantidades de neumáticos para cada tipo de vehículo, señalados en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Número de neumáticos según tipo de vehículo.

Tipo de vehículo	Cantidad neumáticos por vehículo
Livianos (autos y camionetas)	5
Motocicletas	2,8
Buses y camiones	8,8
Agrícola, forestal industrial	4
Minero	6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Cámara de la Industria del Neumático de Chile.

Los datos de Aduanas no permiten identificar la distribución geográfica de los neumáticos puestos en el mercado por lo que su distribución se estima utilizando una metodología específica para cada categoría.

Para la categoría menor a 57", se utilizan los datos del parque automotriz del Instituto Nacional de Estadísticas para el año 2017 (INE, 2017), que identifica los vehículos con patente de circulación otorgadas por las municipalidades y por lo tanto las unidades de vehículos en circulación a nivel comunal y regional. En base a esto, se obtiene una matriz de ponderadores a nivel comunal de cuántos vehículos circulan por ellas. Luego las unidades de neumáticos puestas en el mercado obtenidas en Aduanas se multiplican con esta matriz de ponderadores, obteniendo las unidades de neumáticos introducidas en cada comuna del país. El uso de estos datos supone que los automóviles registrados con sus permisos de circulación permanecen transitando en esas comunas.

Para el caso de los neumáticos de la categoría mayor o igual a 57", debido a que se utilizan fuera de carretera no cuentan con patente de circulación. Para estimar su distribución geográfica, se recurre a los datos de producción regional de minerales del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2015). Asumiendo que existe una proporcionalidad entre la producción minera y los números de vehículos mineros, se calculan ponderadores a nivel regional de la producción minera que luego se multiplican las unidades de neumáticos de categoría mayor o igual a 57". Para tener la misma desagregación que la categoría menor a 57", se dividen las unidades de neumáticos regionales en las comunas que componen esa región, obteniendo neumáticos de categoría mayor a 57" a nivel comunal.

De este modo se obtiene la totalidad de neumáticos introducidos en el mercado a nivel comunal para el año 2016. Luego, las toneladas de neumáticos puestos en el mercado se calculan multiplicando por el peso promedio según tipo de vehículo (ver Tabla 11). La proyección de los neumáticos puestos en el mercado en el horizonte de evaluación supone un crecimiento equivalente al del PIB, es decir, del 3% anual. Esta tasa de crecimiento también es utilizada en las estimaciones que prosiguen.

Finalmente, para obtener las cantidades de neumáticos según las categorías definidas en la sección 1.1, se considera que los neumáticos provenientes de los tipos de vehículos livianos, motocicletas, buses y camiones, agrícolas, forestal e industrial, conforman la categoría menor a 57", mientras que los vehículos mineros conforman la categoría mayor o igual a 57".

### 2.2.2. Productores

La identificación de los productores de neumáticos se obtiene con los mismos datos del Servicio Nacional de Aduanas del año 2016 que permitieron cuantificar los neumáticos introducidos en el mercado nacional. A través de los códigos arancelarios señalados en las Tablas Tabla 8 y Tabla 9, se identifican los productores según origen del neumático (de reposición y como componentes de vehículos). También se identifican aquellos que importan ambos.

### 2.2.3. Generación de residuos de neumáticos

Los neumáticos fuera de uso generados en un año se componen de los neumáticos de reposición y de los vehículos fuera de uso (VFU).

$$NFU = N_R + N_{VFU} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

$NFU$ : Neumáticos fuera de uso en un año (unidades/año).

$N_R$ : Neumáticos de reposición en un año (unidades/año).

$N_{VFU}$ : Neumáticos fuera de uso de VFU en un año (unidades/año).

Respecto al primero, se asume que los neumáticos importados para reposición reemplazan a los residuos generados, por lo que la cantidad en unidades de neumáticos de reposición equivale a neumáticos fuera de uso a reponer.

Para los residuos provenientes de vehículos fuera de uso, los vehículos equipados de neumáticos no son importados para reponer necesariamente un vehículo fuera de uso. La metodología para estimarlos, considera que los vehículos fuera de uso en el año  $t$  equivalen a la diferencia entre la venta de vehículos en un año  $t$  y la variación de vehículos en circulación entre los años  $t$  y  $t-1$ . Al resultado anterior, se le descuentan los vehículos exportados en el año  $t$ . Con esta estrategia, se busca capturar los vehículos importados que tienen por objeto reemplazar un vehículo fuera de uso. Matemáticamente, la expresión corresponde a la siguiente:

$$VFU_t = VV_t - (VC_t - VC_{t-1}) - VE_t$$

Ecuación 2

0111

Donde,

$VFU_t$ : Vehículos fuera de uso en el período t (unidades/año).

$VV_t$ : Vehículos importados en el período t (unidades/año).

$VC_t$ : Vehículos en circulación en el período t (unidades/año).

$VE_t$ : Vehículos exportados en el período t (unidades/año).

Luego, los residuos de neumáticos provenientes de vehículos fuera de uso se calculan multiplicando la cantidad de vehículos fuera de uso por el número de neumáticos que trae consigo.

$$N_{VFU} = VFU \cdot n_v$$

Ecuación 3

Donde,

$n_v$ : Número de neumáticos por tipo de vehículo v (unidades).

Así, se obtienen las unidades de neumáticos fuera de uso tanto por reposición como por componentes de vehículos fuera de uso.

El cálculo de los neumáticos fuera de uso en toneladas implica multiplicar las unidades del residuo por su peso y por una tasa de desgaste, producto de la pérdida de peso a lo largo de su vida útil.

$$NFU^t = NFU \cdot p_v \cdot (1 - d_v)$$

Ecuación 4

Donde,

$NFU^t$ : Neumáticos fuera de uso en un año (toneladas).

$p_v$ : Peso unitario del neumático según tipo de vehículo (toneladas).

$d_v$ : Tasa de desgaste del neumático según tipo de vehículo (%).

El peso de los neumáticos de cada tipo de vehículo se calcula en base a un promedio ponderado del peso de cada tipo de aro que compone ese tipo de vehículo. Por ejemplo, el peso de neumáticos del tipo de vehículo liviano se calcula a través de un promedio ponderado del peso de todos los aros, que van desde el aro 10 hasta el aro 22, que componen los vehículos livianos. Cada aro se encuentra ponderado según su participación en el mercado, es decir, el aro 14 y 16 son los que ponderan más en el promedio ponderado

del peso pues son los más comunes en el comercio de neumáticos del tipo de vehículo liviano. El peso de cada aro se encuentra en la Tabla 37 en la sección de Anexos. El promedio de los pesos por tipo de vehículo que comprende cada categoría se detalla en la Tabla 11. Peso de neumáticos según tipo de vehículo (kilogramos).Tabla 11.

Las tasas de desgaste varían según categoría: 16 y 25% para menor y mayor o igual a 57” respectivamente.

**Tabla 11.** Peso de neumáticos según tipo de vehículo (kilogramos).

Categoría	Tipo de vehículo	Peso (kg)	Tasa de desgaste (%)
< 57”	Vehículo liviano	10,8	16
	Motocicleta	5,0	
	Buses y camiones	56,4	
	Agrícola, Forestal e industrial	51,6	
	Minería	466,7	
≥ 57”	Minería	4.273	25

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Cámara de la Industria del Neumático de Chile.

#### 2.2.4. Recolección y valorización en año base

La recolección de los residuos de neumáticos en toneladas para el año base se obtiene a partir de las instalaciones de valorización. Esto de acuerdo al Decreto Supremo, en donde se señala que la recolección se considera cumplida una vez recibidos los residuos por una instalación autorizada para el pretatamiento, valorización, exportación y rellenos sanitarios. Por lo tanto, se asume que el pretatamiento y la exportación se realizan en las instalaciones de valorización, y los rellenos sanitarios no reciben residuos de neumáticos. De modo que toda la cantidad recolectada equivale a la cantidad valorizada.

Esto implica que la recolección está condicionada por la ubicación de las instalaciones de valorización. No se cuenta con información de línea base respecto de dónde provienen los residuos que llegan a las plantas de valorización. Por lo que se estima mediante un método de minimización de costos que se explica en detalle en la sección 2.3.

La cantidad de residuos valorizados, así como la capacidad instalada de valorización, en tanto, se obtiene de las instalaciones que tienen la tecnología que el Decreto Supremo considera valorización. Estas son: el uso de gránulos de caucho, el recauchaje, la pirólisis y el coprocesamiento. Definiciones de estas tecnologías en la Tabla 38 en la sección Anexos. Cada uno de estos procesos se lleva a cabo por uno o conjunto de empresas, las cuales tienen capacidades de valorización y costos particulares según su proceso productivo. Esta información se obtuvo a través de información primaria. Se entregó una encuesta a cada

empresa valorizadora, en donde se consultó por capacidades, costos y precios de venta de los productos que se obtienen de su proceso.

La línea base de la capacidad de valorización incluye todo el periodo de evaluación. Esto es: la capacidad instalada en el año base y las capacidades que se construirán en los próximos años. Para incluirse en la línea base se estipuló que el proyecto estuviese confirmado por la empresa, contase con modelo de negocio y, donde corresponda, tuviese aprobada la evaluación ambiental.

Las capacidades de valorización por tipo de tratamiento se señalan en la Tabla 24 en la sección 3.1.4 de resultados. Las capacidades por empresa y en el período de evaluación se encuentran en la Tabla 39 en la sección Anexos.

Para la proyección de la línea base en el horizonte de evaluación se considera que la tasa (%) de valorización de residuos de neumáticos se mantiene constante. Debido a que la proyección de los neumáticos fuera de uso generados considera una tasa de crecimiento del 3%, la cantidad asociada a la tasa de valorización en la línea base aumenta considerando el mismo supuesto.

#### *2.2.5. Recolección y valorización en el escenario regulatorio*

La recolección comprende el movimiento de los residuos de neumáticos desde la comuna donde se generaron hacia las instalaciones de valorización o relleno sanitario.

La recolección en el escenario regulatorio se estima de los residuos que se reciban en las instalaciones de valorización y rellenos sanitarios por motivos de cumplimiento de la meta de valorización y recolección, respectivamente. Las comunas desde donde se retiran los residuos de neumáticos y las instalaciones de valorización y eliminación de destino se determinan en base a una minimización del costo de transportar y tratar estos residuos. Esto quiere decir que, dependiendo de las metas que establezca la regulación, se elegirá transportar los residuos de neumáticos desde ciertas comunas hacia tales instalaciones siempre y cuando este corresponda a la opción de menor costo. En la sección 2.3 se especifica la metodología de esta optimización.

### **2.3. Costos**

El AGIES evalúa los costos de aumentar, debido a las metas, la recolección y valorización. La recolección involucra costos de transporte y la valorización implica costos operacionales de valorización y de aumento de capacidad instalada. Además, cuando la meta de recolección es mayor a la de valorización, se incurre en costos de pretatamiento y de disposición en rellenos sanitarios.

El supuesto para la estimación de costos es que el agente (regulado) buscará cumplir la obligación que le significan las metas de recolección y valorización incurriendo en los mínimos costos posibles. Considerando que los costos para el regulado están dados por el transporte desde el lugar de generación de los residuos al lugar de tratamiento de estos, más

el costo relacionado tanto a la operación como a la necesidad de aumentar capacidad de valorización de los residuos. Es posible expresar el problema que enfrenta el regulado de la siguiente forma:

$$\min_{x_{ijkt}} \text{Costos}_t (CT_t + CP_t + CV_t + CRS_t + CAC_t) \quad \text{Ecuación 5}$$

Sujeto a:

$$\sum NFU_t \text{ recauchados} + NFU_t \text{ reciclados} = \text{Meta Valorización específica}$$

$$\sum NFU_t \text{ valorizados} = \text{Meta Valorización global}$$

$$\sum NFU_t \text{ valorizados} + NFU_t \text{ dispuestos en rellenos sanitarios} = \text{Meta Recolección}$$

$$\text{Línea base } NFU_t \text{ valorizados} \leq \text{Meta Valorización}_t$$

Donde,

$x_{ijkt}$ : Proporción de NFU generados en la comuna  $i$  que se trasladan al destino  $j$  para ser sometidos al tratamiento  $k$ .

$CT_t$ : Costos de transporte en el período  $t$  (US\$/año)

$CP_t$ : Costos de pretratamiento en el período  $t$  (US\$/año)

$CV_t$ : Costos operacionales de valorización en el período  $t$  (US\$/año)

$CRS_t$ : Costos de disponer en rellenos sanitarios en el período  $t$  (US\$/año)

$CAC_t$ : Costos de aumentar capacidad de valorización en el período  $t$  (US\$/año)

La primera restricción obliga a que la meta de valorización específica se cumpla con los procesos de reciclaje y recauchaje. Mientras que la segunda restricción obliga a que todo lo valorizado corresponda a la meta de valorización. Por otro lado, la tercera restricción define que el total de residuos de neumáticos enviados a valorización y a rellenos sanitarios equivale a la meta de recolección. La cuarta restricción obliga a que las metas de valorización siempre sean al menos igual a la tasa de valorización de línea base. Esto debe cumplirse para cada año.

Para resolver matemáticamente el problema, para cada tipo de valorización (reciclaje, recauchaje, pirólisis y coprocesamiento) se optimiza en base a una matriz que describe la proporción de residuos de cada comuna de origen ( $i$ ) que es asignada a cada destino ( $j$ ). Esto implica que la sumatoria de cada fila de esta matriz debe corresponder a la cantidad de total de la comuna de origen  $i$  que se asigna a diferentes destinos, y por lo tanto debe sumar 1. Esta restricción se expresa de la siguiente forma.

$$\sum_j x_{ijkt} = 1$$

Ecuación 6

0115

La simulación ocurre de forma secuencial: en primer lugar, se asegura el cumplimiento de la meta de valorización específica enviando los residuos de neumáticos hacia los procesos de reciclaje y/o recauchaje. Con esta primera decisión se cumple el 60% de la meta de valorización. La segunda decisión implica cumplir la meta de valorización en su totalidad. Esto lo efectúa eligiendo el tratamiento de menor costo entre las cuatro posibilidades. La tercera y última decisión es cumplir con la meta de recolección para los años en que ésta es mayor a la de valorización, se define el destino de los residuos a alguno de los tratamientos o bien a relleno sanitario.

La metodología específica de la estimación de cada uno de los costos involucrados se explica en las siguientes secciones.

### 2.3.1. Costos de transporte

El costo de transporte dice relación con el traslado de los residuos desde su comuna de origen hasta la comuna en donde se ubica la instalación de valorización o relleno sanitario. Las distancias que los residuos de neumáticos realizan se modelan a partir de una matriz que relaciona estas locaciones. Esta se compone de las distancias en kilómetros entre el lugar de origen y el destino. En base a estas distancias, obtenidas de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, es que el regulado definirá el menor costo en transportar los residuos desde las comunas de origen hasta las comunas donde se ubican las instalaciones de valorización o rellenos sanitarios.

El transporte se realiza a través de tres tipos de camiones representativos: pequeños, medianos y grandes. Estos varían según el volumen de residuos que puede transportar y su rendimiento. Para la categoría menor a 57", el camión pequeño se utiliza cuando las distancias que requieren transportarse son menores a 50 kilómetros. El mediano se utiliza para distancias entre 50 y 250 kilómetros. Por último el camión grande se utiliza para cuando se requiera transportar distancias mayores a 250 kilómetros. En cuanto a la categoría mayor o igual a 57", la lógica es la misma pero para distancias menores a 150, entre 150 y 500, y mayores a 500 kilómetros. No obstante, el camión posee las mismas características de volumen y rendimiento. Lo que cambia según las distancias entonces son los costos vinculados a la circulación.

El costo de transporte se estima a partir de la distancia que existe entre ambos puntos, lo que definirá el camión a utilizar, las toneladas de residuos a trasladar y los costos vinculados al camión en términos de desempeño, el cual depende del precio del diésel. Además, el transporte en camión involucra costos adicionales por su uso. Estos se basan en un estudio preparado para la Subsecretaría de Transporte y considera: costo de circulación, mantención, honorarios de tripulación, depreciación de la máquina, costos de gestión y administración, peajes y otros gastos de operación (SteerDaviesGleave 2011).

En otros términos:

$$CT = Dist_{i-j} \cdot (x_{ijk} \cdot NFU_i \cdot Combustible \cdot PD + CA)$$

Ecuación 7

0116

En donde,

$Dist_{i-j}$ : corresponde a la distancia entre comuna de origen  $i$  a la comuna de destino  $j$  (kilómetros).

$x_{ijk}$ : Proporción de NFU generados en la comuna  $i$  que se trasladan al destino  $j$  para ser sometidos al tratamiento  $k$ .

$PD$ : corresponde al precio de Diésel (CLP/lit).

$CA$ : corresponde a los costos adicionales por uso del camión (CLP/km).

$Combustible$ : Litros de combustibles necesarios para transportar 1 kilómetro 1 tonelada de NFU (lt). Se calcula de la forma:

$$Combustible = \frac{\text{Volumen del camión representativo}}{\text{Rendimiento del camión} \cdot \text{Densidad de neumático}}$$

Ecuación 8

Los valores considerados para el valor de combustible necesario se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Parámetros para estimación de variable combustible de camión representativo.

Variables	< 57"			> 57"		
	Peq.	Med.	Gran.	Peq.	Med.	Gran.
Volumen del camión representativo (m <sup>3</sup> /u)	15	30	45	90	90	90
Rendimiento del camión (km/lt)	6,6	3,5	1,25	1,25	1,25	1,25
Densidad promedio del NFU menor a 57" (m <sup>3</sup> /kg)	0,11	0,11	0,11	0,18	0,18	0,18
Precio de Diésel (CLP/lit) <sup>5</sup>	516	516	516	516	516	516

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, los valores de los costos adicionales por uso del camión se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Costos asociados al uso del camión (CLP/km)

<sup>5</sup> El precio de Diésel considerado corresponde al precio mayorista sin impuesto establecido por ENAP en su Tabla de Precios de Paridad en la primera semana del año 2018. Ver:

Costos adicionales (CLP/km)	< 57"	> 57"		
	Todos	Peq.	Med.	Grande
Costos de circulación	31	5.270	3.100	1.550
Mantenimiento	77	77	77	77
Honorarios de tripulación	111	111	111	111
Depreciación maquinaria	40	40	40	40
Costos de gestión y administración	31	31	31	31
Peajes	50,7	50,7	50,7	50,7
Otros gastos de operación	21	21	21	21
Total costos asociados	361,7	5.601	3.431	1.881

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Steer Davies Gleave, 2011. Los costos de circulación se encuentran ajustados en base a este mismo estudio.

Naturalmente, en el escenario regulatorio la recolección en zonas extremas del país tendrá involucrados mayores costos de recolección. Esto hace que, con metas de recolección menor a 100%, aunque esta sea equivalente a la de valorización, la optimización costo eficiente no traslade los residuos de zonas extremas a instalaciones de valorización, si no que envíe a disposición final en rellenos sanitarios de las zonas extremas.

### 2.3.2. Costo de rellenos sanitario

El costo por disponer los residuos en rellenos sanitarios ocurre para el caso de neumáticos de categoría menor a 57", ya que el escenario regulatorio lo permite al establecer metas de recolección por sobre la de valorización. En el caso de la categoría mayor o igual a 57", las metas son idénticas, implicando que todo lo recolectado se transporta a instalaciones de valorización.

Los residuos de neumáticos que se destinan a rellenos sanitarios requieren ser pretratados, puesto que el DS 189/2007 del Ministerio de Salud prohíbe sus ingresos enteros. Por lo tanto, el envío a rellenos sanitarios implica incurrir en costos de pretatamiento (trituration).

Cada relleno sanitario tiene sus propias tarifas por tonelada recibida de residuos. El costo de cada relleno sanitario por tonelada recibida se obtuvo a través de información de la SUBDERE y se encuentra en la Tabla 41 en la sección Anexos.

### 2.3.3. Costo operacional de valorización

La información sobre el costo unitario de valorización de residuos de neumáticos fue solicitada a las empresas valorizadoras. Para aquellos tratamientos en donde no se pudo contar con esta información, se calculan los ingresos que tienen las instalaciones de valorización por recibir los residuos de neumáticos. Este ingreso, descontado el IVA del 19% y una tasa supuesta de rentabilidad del 30%, se asume equivalente a los costos operacionales de valorización. Dicho de otro modo:

$$CO_t = IR_t \cdot (1 - IVA) \cdot (1 - R)$$

Ecuación 9

En donde,

$CO_t$ : Costo operativo o unitario de valorización en el período t (CLP/año)

$IR_t$ : Ingresos por recibir los residuos de neumáticos en su instalación en el período t (CLP/año).

R: Rentabilidad promedio de las empresas.

Los precios promedio que cobran las instalaciones de valorización por el ingreso de los residuos de neumáticos se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Precios de recepción de instalaciones de valorización, según categoría, año base.

Tipo de Tratamiento	Precio según categoría (CLP/ton)	
	< 57"	≥ 57"
Reciclaje	90.000	463.132
Recauchaje	1.519.757	2.615.000
Pirólisis	40.000	463.132
Coprocesamiento	40.000	N.A.

Fuente: Elaboración propia.

En base a esta estrategia y a la información recibida por las empresas, para el año base se obtuvieron los siguientes costos operacionales promedio por tipo de tratamiento (Tabla 15).

Tabla 15. Costos operacionales por tipo de tratamiento, según categoría, año base.

Tipo de Tratamiento	Costo por residuo recibido según categoría (CLP/ton)	
	< 57"	≥ 57"
Reciclaje	51.030	262.596
Recauchaje	1.519.757	2.615.000
Pirólisis	22.680	371.255
Coprocesamiento	22.680	N.A.

Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos de pirólisis y coprocesamiento para la categoría menor a 57" poseen el mismo costo por residuo recibido, puesto que ambas tienen en promedio el mismo ingreso por recepción de los residuos. Los costos relacionados a recauchaje son de magnitudes superiores a la de los otros tipos de tratamiento. Esto porque su proceso de valorización se realiza por unidad de neumático y no en toneladas, como ocurre en los otros procesos.

### 2.3.4. Costo de aumentar la capacidad instalada de valorización

Este costo ocurre al momento en que se utilice completamente la capacidad instalada de valorización producto de las metas del escenario regulatorio, lo que involucra un nuevo costo de inversión en aumento de capacidad de valorización en las mismas instalaciones, por ende ubicaciones, donde se valoriza en línea base. Para esto, se considera el costo en millones de US\$ de inversión en maquinaria u otro, la capacidad extra que permitiría la nueva inversión y su vida útil. Esto se anualiza para efectos de estimar los costos totales de valorizar lo que la meta requiere año a año. Para tales efectos, se considera una tasa social de 6%. La estimación, entonces, se obtiene de la siguiente fórmula:

$$CAC_t = VPCI_t \cdot \frac{(1 + s)^n \cdot s}{(1 + s)^n - 1} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde,

$CAC_t$ : Costo anualizado de aumentar capacidad en las instalaciones de valorización en el período t (US\$/año)

$VPCI_t$ : Valor presente de los costos de inversión en capacidad en el período t (US\$/año)

s: Tasa social de descuento.

En base a esta metodología, se obtienen los siguientes costos de aumentar la capacidad de instalaciones de valorización según tipo de tratamiento, para el año base (Tabla 16).

Tabla 16. Costos de aumentar capacidad de valorización, según categoría, año base.

Costos de valorización	< 57"				≥ 57"			
	MM US\$	Vida Útil (años)	Capacidad anual (ton)	Costo anualizado (MM CLP/año)	MM US\$	Vida Útil (años)	Capacidad anual (ton)	Costo anualizado (MM CLP/año)
Reciclaje	5	15	14.000	335,9	5	15	14.000	335,9
Recauchaje	0,2	13	390	14,7	7	30	480	388,7
Pirólisis	5	30	12.500	237	6	30	7.300	284,4

Fuente: Elaboración propia.

Las nuevas capacidades instaladas pueden surgir a lo largo del horizonte de evaluación y para los distintos tipos de tratamiento dependiendo de si se copan sus instalaciones, con la excepción del coprocesamiento. Esto porque las cementeras obedecen a otras razones económicas para definir un aumento en su capacidad productiva. Esto es, según el mercado del cemento y no respecto a los residuos de neumáticos para usarse como sustituto de

combustible convencional. Por tanto, una vez copada la capacidad de las instalaciones de coprocesamiento, no se incrementará su capacidad.

### 2.3.5. Costos de Administración

Se considera un costo asociado a la administración del sistema para el cumplimiento de las metas de recolección y valorización. Al no tener aún información sobre este tipo de costos se recurre a la evidencia de otros países en donde opera la responsabilidad extendida del productor. En Portugal, su sistema de gestión Valorpneu en el año 2017 tuvo un costo de administración del 8% del total de costos incurridos para la recolección y valorización (VALORPNEU 2017). Basándose en esta experiencia, se considera un costo de administración de tal proporción.

### 2.3.6. Costos de fiscalización del SG

El funcionamiento de la responsabilidad extendida del productor implica también 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 establecidas en el Decreto Supremo. 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 de 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.

Tabla 17. Costos de la Superintendencia del Medio Ambiente para la fiscalización del cumplimiento de metas y otras obligaciones del Decreto Supremo

ITEM	Costo anual (CLP)
4 Profesionales División de Fiscalización <sup>(1)</sup>	113.731.392
4 Profesionales División Sanción y Cumplimiento, y Fiscalía <sup>(1)</sup>	113.731.392
Desarrollo de Sistemas Informáticos	144.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>371.462.784</b>

(1): Considera remuneración bruta mensual para el año 2019 para un profesional grado 11: \$ 2.369.404.-

### 2.3.7. Costos de obligación asociada

El Decreto, además de las metas de recolección y valorización, establece una obligación asociada a los comercializadores y distribuidores de recibir los residuos de neumáticos, sin costo, de parte de los consumidores, por una cantidad de residuos de neumáticos equivalente a la de neumáticos nuevos que hayan adquirido. En estos casos, las empresas incurrirán en un costo de almacenamiento. Se asume un costo de almacenamiento de CLP 2.222 por tonelada de residuo de neumático, con el cual se puede calcular el costo de la obligación (GESCAM 2017).

### 2.3.8. Costos de garantía del SG

El Decreto, a fin de asegurar el cumplimiento de las metas y obligaciones asociadas, establece que el o los sistemas de gestión colectivos deben presentar una garantía. El monto de la garantía se establece a partir de la siguiente fórmula:

$$G_t = NFU_{t-2} * M_t^R * Cost Ton_t * F_t \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde,

$G_t$ : Monto de la garantía en el período  $t$  (CLP).

$NFU_{t-2}$ : Neumáticos fuera de uso en el período  $t-2$  (toneladas).

$M_t^R$ : Meta de recolección en el período  $t$  (%).

$Cost Ton_t$ : Costo del SG por tonelada de residuos de neumático en el período  $t$  (toneladas).

$F_t$ : Factor de cumplimiento

El cálculo de la garantía utiliza los residuos de neumáticos generados hace dos períodos atrás para evitar exponer información estratégica del regulado. El factor de cumplimiento permite ajustar la garantía, reduciéndola en el caso que el regulado cumpla consecutivamente con las metas y obligaciones asociadas.

Este monto, al ser una garantía, requiere quedar inmovilizado hasta el cumplimiento de las metas, de modo que se incurre en un costo por no estar utilizando ese dinero en algún escenario donde se rentabilice. En este caso, 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 3,79% en el plazo de la regulación (Hacienda 2018).

## 2.4. Beneficios

Los beneficios considerados en el AGIES son económicos y sociales. Estos permiten estimar los beneficios de la implementación de las metas de recolección y valorización, verificando los aumentos del escenario regulatorio respecto de la línea base.

### 2.4.1. Beneficios económicos

El aumento de los residuos de neumáticos valorizados como consecuencia de las metas también significa que las instalaciones de valorización verán incrementados sus ingresos. Esto a través de dos fuentes: por recepción de los residuos y por venta de productos que utilizan como insumo los residuos.

Respecto a la primera, las instalaciones de valorización cobran una tarifa por kilogramo de neumático recibido. La Tabla 14 muestra los precios promedios que se cobran por recepción según tipo de tratamiento.

En cuanto a la segunda, el aumento de residuos de neumáticos valorizados también significa que las instalaciones de valorización tendrán más insumos para ser usados en sus procesos productivos, generando mayores productos para la venta y por tanto incrementando potencialmente sus ingresos. Sólo se consideran los productos que se obtienen directamente del tratamiento del residuo del neumático. No se incluyen los productos finales que usan el producto anteriormente mencionado como insumo. A modo de ejemplo, se considera el producto gránulo de caucho puesto que se obtiene directamente del tratamiento del residuo de neumático en el proceso de reciclaje. No se consideran las canchas de fútbol sintéticas, aislantes acústicos y solerillas, puesto que estos productos usan el gránulo de caucho como insumo. Considerarlo traería consigo una doble contabilización del beneficio económico. Entonces, el ingreso por la venta de estos productos se obtiene de la multiplicación entre la cantidad destinada a valorización (que se vende) y el precio de mercado del producto.

Tabla 18. Precio de productos provenientes de residuos de neumáticos

Tipo de tratamiento	Productos	Precio de mercado (CLP/ton)
Reciclaje	Gránulo de caucho	240.000
	Acero	58.500
Recauchaje < 57"	Neumáticos con vida extendida	1.688.619
Recauchaje ≥ 57"	Neumáticos con vida extendida	4.478.349
Pirólisis	Aceite derivado del neumático	26.000
	Negro de humo	13.000
	Acero	58.500
Coprocesamiento	Combustible alternativo	47.450

Fuente: Elaboración propia.

### 2.4.2. Beneficios sociales

0123

La regulación tendrá efectos positivos en el sentido de reducir la disposición inadecuada de los residuos de neumáticos en el medio ambiente, debido a que en la situación actual una gran proporción de los neumáticos tiene un destino desconocido. Al término del horizonte de evaluación, se tiene que, para cada categoría, un 90 y 98% de los residuos generados serán recolectados respectivamente, lo cual involucra una mejora sustancial respecto de la situación base. Por lo tanto, con la regulación se reducen los neumáticos fuera de uso dispuestos inadecuadamente.

Los beneficios sociales y ambientales que involucra reducir la disposición inadecuada se pueden cuantificar considerando la disposición a pagar (DAP) de las personas por reducir las externalidades asociadas a la disposición inadecuada. Debido a que esto no tiene precio de mercado se requiere hacer uso de metodologías que permitan capturar esa disposición a pagar. El año 2017 el MMA desarrolló para Chile una encuesta a nivel nacional urbano para capturar la disposición a pagar de la ciudadanía por reducir la disposición inadecuada de residuos de neumáticos, baterías y aceites lubricantes. A través del método de valoración contingente, se estimó que la DAP en promedio por persona, ante la reducción de la disposición inadecuada, corresponde a \$3.278 mensual, del cual un 37,3% corresponde a la DAP para reducir los residuos de neumáticos (DICTUC 2018). En efecto, si la reducción de los residuos de neumáticos es desde un 80% a un 20% del total generado, entonces la DAP mensual por persona sería de \$1.223.

Asumiendo linealidad en la disposición a pagar ante cambios en la meta de recolección, se puede aplicar el método de transferencia de beneficios, utilizando la DAP del estudio anteriormente mencionado para la categoría menor a 57". Esto porque los residuos de neumáticos mineros están ubicados en lugares específicos lejos de las zonas urbanas. El presente análisis considera únicamente a la población con decisión de pago, el cual corresponde a un 50% del total de la población.

Con lo anterior, entonces se estima una DAP anual de \$7.338. Esta corresponde a la disposición de las personas por reducir los residuos dispuestos inadecuadamente desde un 80% al 20%, lo que en cantidades es 103,6 mil y 25,9 mil respectivamente. Asimismo, la reducción de una tonelada de residuo implicaría una DAP de CLP 0,095.

En la evaluación, además, sólo se contempla el beneficio social por la regulación en las comunas donde efectivamente hubo reducción de los residuos de neumáticos. De este modo, la reducción en toneladas de los residuos de neumáticos dispuestos inadecuadamente como consecuencia del escenario regulatorio tendrá un valor monetario, el cual se considerará como beneficio social.

### 2.4.3. Costos evitados por recolección de residuos de neumáticos mineros

0124

La ley 20.551 de Cierre de Faenas Mineras obliga a las empresas mineras a elaborar un plan de cierre, lo que involucra un conjunto de medidas y acciones destinadas a mitigar los efectos que se derivan del desarrollo de la industria. Dentro de estos se encuentra la disposición final de los residuos generados en las faenas. La recolección de residuos de neumáticos mineros, como consecuencia del establecimiento de metas, provocaría una reducción de los costos vinculados a disponer los residuos de neumáticos mineros al momento del cierre de la faena, implicando un costo evitado para esas empresas.

La estimación de estos costos evitados se obtiene a través de los residuos de neumáticos mineros recolectados en el período de evaluación. Estos residuos, consecuencia de las metas, son enviados a valorización, por lo que se tiene un costo de tratamiento de los residuos recolectados. Luego, el valor presente de estos costos de tratamiento se estima para el año de cierre promedio de las faenas mineras, que para este caso se utiliza el de las faenas mineras de la Corporación Nacional del Cobre (Codelco), el cual corresponde al año 2067. En la Tabla.42 en la sección Anexos se encuentra el año de cierre de las faenas mineras de Codelco.

Lo anterior refleja los costos de tratamiento que incurrían las empresas mineras al momento de cierre de sus faenas. Finalmente, se calcula el valor presente de estos costos con una tasa social del 6%. El valor estimado corresponde al costo evitado por las empresas mineras por motivos de la regulación. Este costo evitado se expresa como una reducción de los costos de tratamiento de residuos de neumáticos de la categoría mayor a 57”.

### 2.5. Indicadores económicos

La evaluación del impacto económico y social del escenario regulatorio en el país se puede resumir en el ratio costo beneficio. Este se calcula de la siguiente manera:

$$ACB = \frac{VPN \text{ beneficios}}{VPN \text{ Costo}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,

*VPN beneficios*: Valor presente neto de los beneficios obtenidos en el horizonte de evaluación (2018-2031). Esto contemplando una tasa social del 6%.

*VPN costos*: Valor presente neto de los costos obtenidos en el horizonte de evaluación (2018-2031). Esto contemplando una tasa social del 6%.

El indicador señala si efectivamente los beneficios obtenidos ante el establecimiento de metas de recolección y valorización de los residuos de neumáticos en un horizonte de evaluación de 14 años son mayores o menores a los costos que los actores incurren.

0125

### 3. Resultados

#### 3.1. Línea base

0126

##### 3.1.1. Productos prioritarios

En base a la estrategia de identificación explicada en la sección 2.2.1, se obtuvo las siguientes unidades de neumáticos introducidos en el mercado, en términos de unidades y toneladas, para el año base.

Tabla 19. Neumáticos introducidos en el mercado nacional según categoría, 2016.

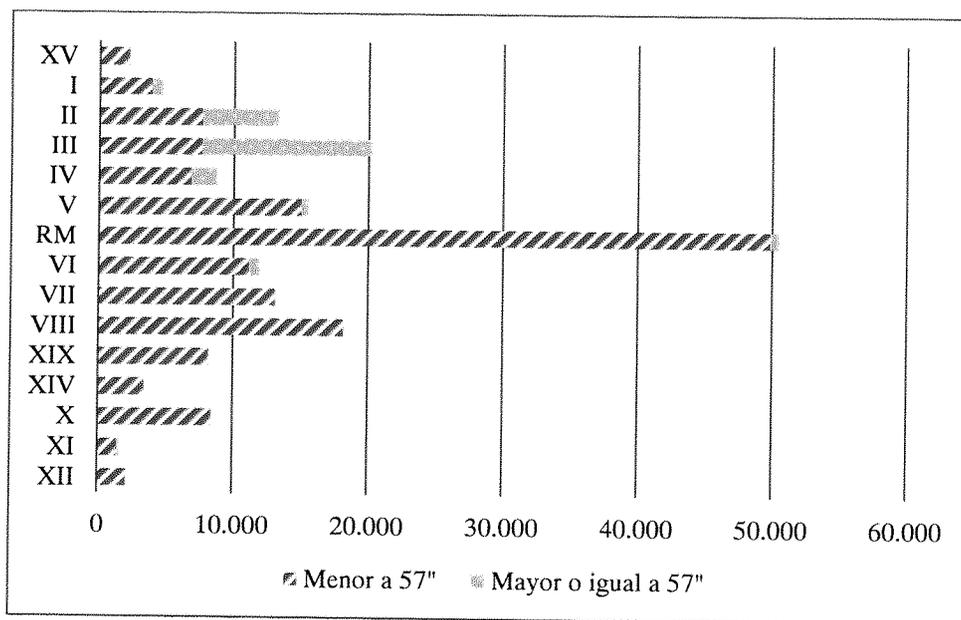
Producto prioritario según origen	Unidades			Toneladas		
	< 57"	≥ 57"	Total	< 57"	≥ 57"	Total
Neumáticos para reposición	5.379.742	5.205	5.384.947	130.410	22.245	152.654
Neumáticos ensamblados en vehículos o maquinarias	1.193.587	282	1.193.869	28.844	1.205	30.049
<b>Total</b>	<b>6.573.329</b>	<b>5.487</b>	<b>6.578.816</b>	<b>159.254</b>	<b>23.450</b>	<b>182.703</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Servicio Nacional de Aduanas, 2016.

En base a la metodología de distribución comunal explicada en la misma sección, se estima la siguiente distribución de neumáticos puestos en el mercado, según tipo de categoría (Figura 7).

Figura 7. Neumáticos introducidos en el mercado según distribución geográfica, 2016.

0127



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Servicio Nacional de Aduanas. Para distribución regional según categorías menor a 57" y mayor o igual a 57": Parque Automotriz de Instituto Nacional de Estadísticas, 2017 y Sernageomin, 2015 respectivamente.

Los neumáticos introducidos en el mercado se proyectan hasta el año 2030 considerando un crecimiento anual equivalente al de la economía, que es del 3%. La Tabla. 43 y Tabla. 44 en la sección Anexos muestran esta proyección según categoría en unidades y toneladas respectivamente. La Tabla 20 muestra las unidades y toneladas de neumáticos enajenados para el año 2030.

Tabla 20. Neumáticos puestos en el mercado proyectados al 2030.

Producto prioritario según origen	Unidades			Toneladas		
	< 57"	≥ 57"	Total	< 57"	≥ 57"	Total
Neumáticos para reposición	8.137.342	7.873	8.145.215	197.256	33.647	230.903
Neumáticos ensamblados en vehículos o maquinarias	1.805.408	427	1.805.835	43.629	1.823	45.452
<b>Total</b>	<b>9.942.749</b>	<b>8.300</b>	<b>9.951.049</b>	<b>240.885</b>	<b>35.470</b>	<b>276.355</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Servicio Nacional de Aduanas, 2016.

### 3.1.2. Productores

En base a la estrategia de identificación explicada en la sección 2.2.2, se obtuvo la siguiente identificación de productores que introdujeron neumáticos en el mercado nacional para el año base.

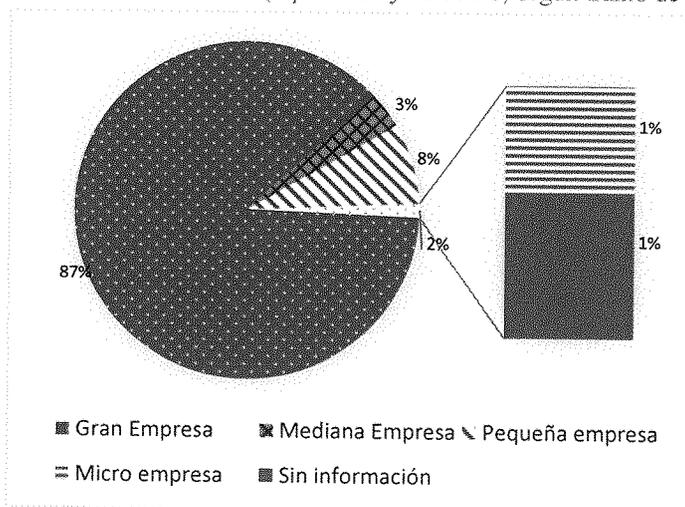
Tabla 21. Productores de neumáticos según categoría, 2016.

Productores	Categoría		Unidad
	< 57"	≥ 57"	Total
De Reposición	644	6	650
Ensamblados en vehículos o maquinarias	1.079	6	1.085
Ambos	116	0	116
<b>Total</b>	<b>1.839</b>	<b>12</b>	<b>1.851</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Servicio Nacional de Aduanas, 2016.

La distribución de los productores según su tramo de venta está concentrada en las Grandes Empresas, tal como se señala en la Figura 8.

Figura 8. Productores de neumáticos (reposición y vehículo) según tramo de venta, 2016



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Servicio Nacional de Aduanas y Servicio de Impuestos Internos.

### 3.1.3. Residuos generados

La cantidad de residuos generados en el año base por reposición de neumáticos es de 5.384.947 unidades, lo que equivale a 126.228 toneladas. Los vehículos fuera de uso generan 282.210 unidades de residuos de neumáticos, lo que equivale a 11.841 toneladas. En total, para el año base, se generaron 5.667.157 residuos de neumáticos, equivalente a 138.068 toneladas (ver Tabla 22).

Tabla 22. Neumáticos fuera de uso generados, 2016.

Residuos	Unidades			Toneladas		
	< 57"	≥ 57"	Total	< 57"	≥ 57"	Total
Neumáticos de reposición	5.379.742	5.205	5.384.947	109.544	16.683	126.227

Neumáticos de vehículos fuera de uso	282.210	0	282.210	11.841	0	11.841
<b>Total neumáticos</b>	<b>5.661.952</b>	<b>5.205</b>	<b>5.667.157</b>	<b>121.385</b>	<b>16.683</b>	<b>138.068</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Servicio Nacional de Aduanas, 2016.

0129

La Tabla. 45 y Tabla. 46 en la sección Anexos muestran la proyección de los residuos de neumáticos en unidades y toneladas respectivamente. La Tabla 23 muestra la proyección de los residuos de neumáticos para el año 2030.

Tabla 23. Neumáticos fuera de uso proyectados, 2030.

Residuos	Unidades			Toneladas		
	< 57"	≥ 57"	Total	< 57"	≥ 57"	Total
Neumáticos de reposición	8.355.914	8.109	8.364.023	174.876	25.235	200.111
Neumáticos de vehículos fuera de uso	426.868	0	426.868	17.910	0	17.910
<b>Total neumáticos</b>	<b>8.782.782</b>	<b>8.109</b>	<b>8.790.891</b>	<b>192.786</b>	<b>25.235</b>	<b>218.021</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Servicio Nacional de Aduanas, 2016.

### 3.1.4. Recolección y valorización en línea base

En el año base se recolectaron 23.683 toneladas. De estas, 21.213 toneladas correspondieron a residuos de neumáticos de la categoría menor a 57", lo que equivale a una recolección del 17,5% en el total de residuos de esa categoría. El otro tanto, 2.470 toneladas, fueron residuos de neumáticos de la categoría mayor o igual 57", que corresponde a una recolección del 14,8% en el total de esa categoría (ver Tabla 24).

La totalidad de estos residuos de neumáticos recolectados tuvieron como destino la valorización. En la categoría menor a 57", el reciclaje y el recauchaje fueron los destinos más utilizados, y un porcentaje muy inferior fueron enviados a pirólisis y coprocesamiento, a pesar de sus capacidades instaladas en el año base. En tanto, los residuos de categoría mayor a 57" fueron tratados íntegramente en el proceso de recauchaje.

Tabla 24. Tonelada de neumáticos fuera de uso valorizadas en año base y capacidad instalada en línea base, 2016.

Tipo de tratamiento	Ubicación		Valorización actual línea base (ton)		Capacidad instalada línea base (ton)	
	< 57"	≥ 57"	< 57"	≥ 57"	< 57"	≥ 57"
Reciclaje	RM	V	8.795	45	21.800	360

Pirólisis	VIII	II, III	1.000	0	7.000	25.550
Coprocesamiento	V, RM	N.A.	414	0	16.780	0
Recauchaje	XV, I, II, IV, V, RM; VII, VIII, IX	I, II, III, RM, VIII	11.004	2.470	16.732	2.614
<b>Total valorización</b>			<b>21.213</b>	<b>2.515</b>	<b>62.312</b>	<b>28.524</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de información primaria.

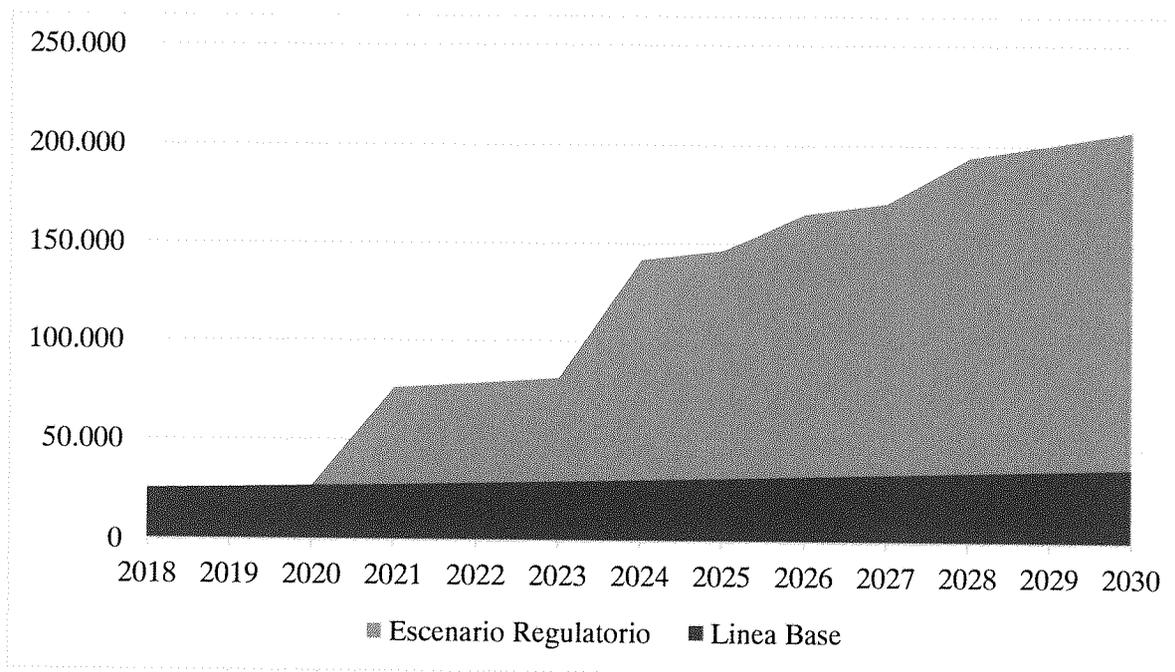
La valorización actual dista mucho de la capacidad instalada que existe en la línea base. Para la categoría menor a 57", existen capacidades no utilizadas significativas en los procesos de pirólisis y coprocesamiento: 6.000 y 16.366 toneladas disponibles respectivamente. En el caso de la categoría mayor o igual a 57" se observa una diferencia aún mayor en el proceso de pirólisis, en donde se identifica una capacidad de 25.550 toneladas pero en el año base no existe valorización mediante este proceso. Esto se debe a que las capacidades de pirólisis para esta categoría comienzan a operar en años posteriores al año base: 2019, 2021 y 2023. En la Tabla 39 en la sección Anexos se muestran las capacidades instaladas según empresa para la línea base.

La proyección de la tasa de valorización de la línea base aumenta a una tasa de crecimiento equivalente a la del crecimiento de los residuos. Al final del período de evaluación las toneladas valorizadas para las categorías menor y mayor o igual a 57" llegan a ser 32,1 mil y 3,7 mil respectivamente (ver Tabla 40). La capacidad instalada, por su parte, alcanza al final del período de evaluación 61,8 y 28,1 mil toneladas respectivamente. Lo anterior como consecuencia de la capacidad disponible y nuevas instalaciones de valorización que se realizan en la línea base (ver Tabla 39).

### 3.2. Cumplimiento del escenario regulatorio

El escenario regulatorio define las metas de recolección y valorización calculándose sobre los residuos de neumáticos generados. La regulación incrementa lo recolectado y valorizado en el horizonte de evaluación. Como señala la Figura 9, la recolección de residuos de neumáticos alcanza las 207.296 toneladas en el año 2030, 170.333 toneladas más que en línea base para el mismo periodo de tiempo.

Figura 9. Toneladas recolectadas de neumáticos fuera de uso en Línea Base y Escenario Regulatorio



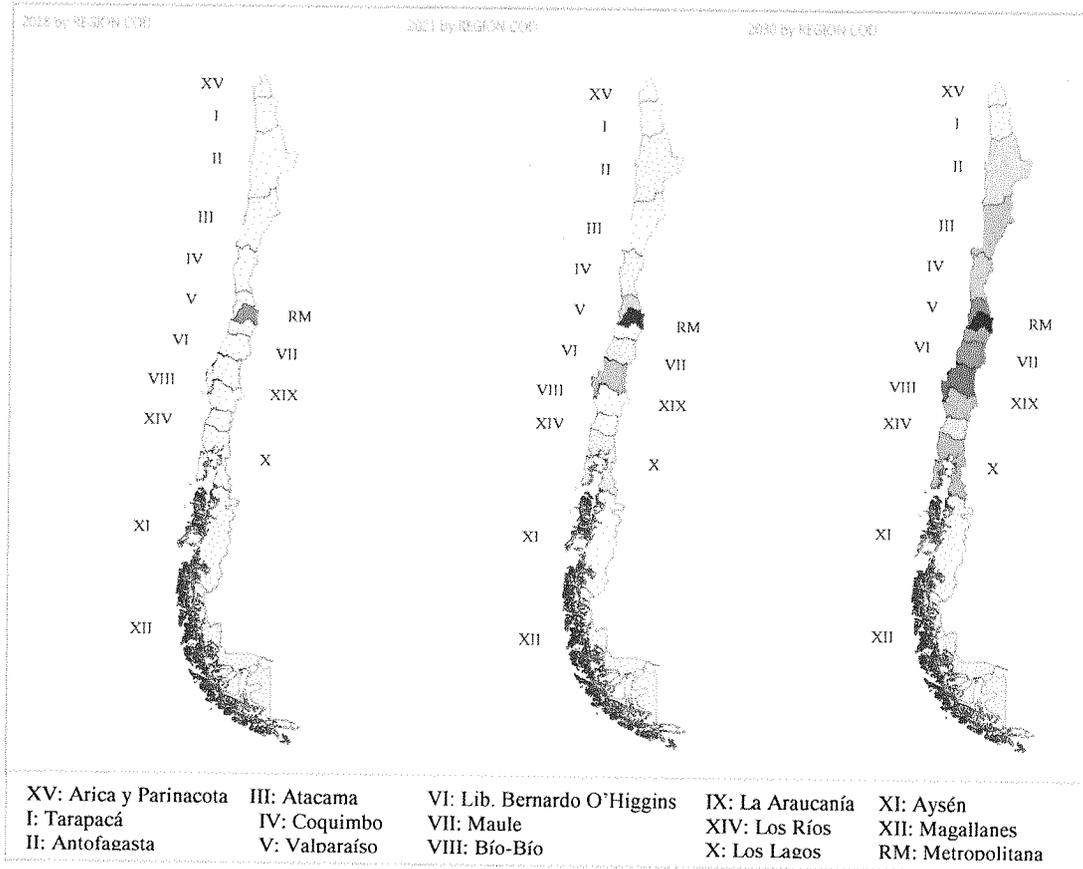
0131

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se ilustra la distribución geográfica de la recolección para la categoría menor a 57". En ella se muestran tres mapas diferenciados por el año de la recolección: 2018 previo a la regulación; 2021 como primer año de meta; y 2030 como último año del período evaluado. En ellas es posible verificar el significativo aumento de la recolección.

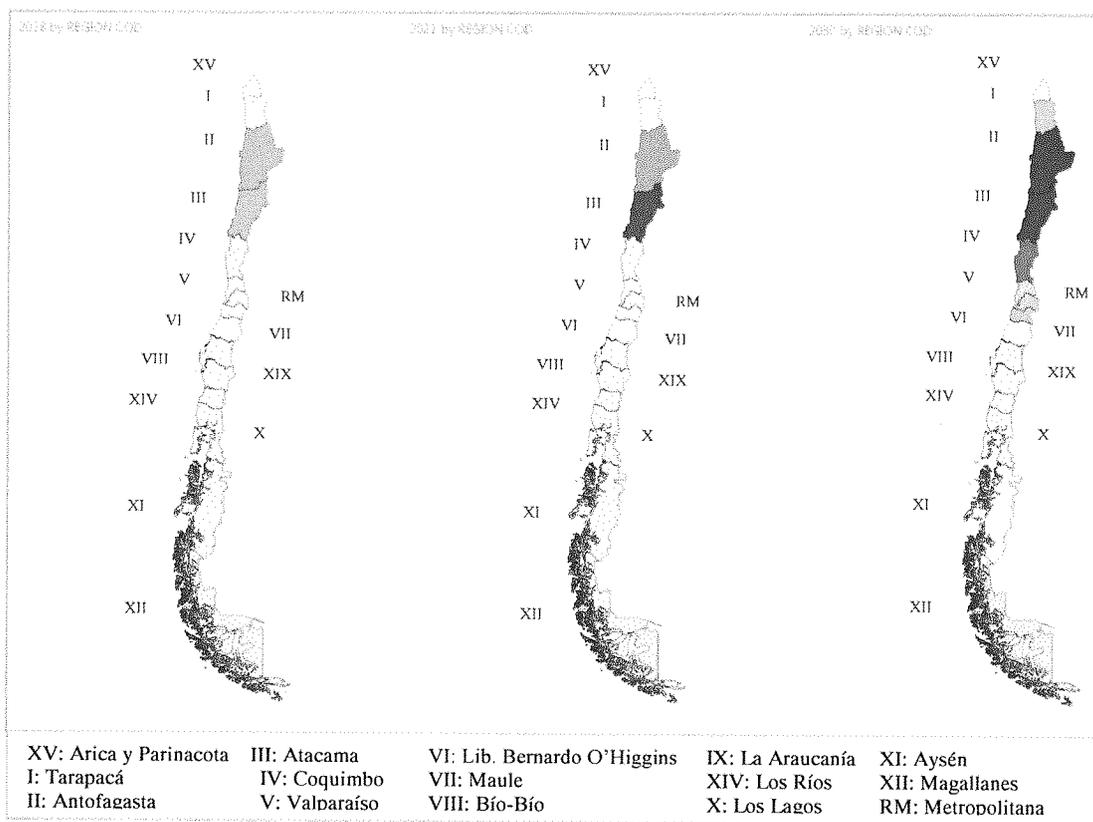
En el año 2018 se recolecta en las regiones donde se ubican las instalaciones de valorización. Luego, en el 2021 la meta obliga a recolectar una mayor proporción, tanto en las mismas regiones reflejándose en un color más intenso, como en regiones donde no había recolección anteriormente. En ese año las regiones XV, XIV y XII quedan sin recolección. Las dos últimas por no contar con instalaciones de valorización ni rellenos sanitarios, y la primera por tener el segundo relleno sanitario con mayor precio por recepción de residuo. Por tanto, se hace más costosa la recolección que en el resto de regiones. A partir del año 2023 se requiere cumplir las metas específicas en zonas extremas, obligando la recolección en la XV y XII región. En el año 2030, la meta de recolección del 90% implica abarcar todo el territorio nacional.

Figura 10. Recolección de los residuos según ubicación geográfica, para categoría menor a 57", años 2018, 2021 y 2030.



La Figura 11 muestra la recolección para la categoría mayor o igual a 57". En el año 2018, al igual que en la categoría menor a 57", la recolección ocurre en las regiones donde existen instalaciones de valorización. Con las metas esta recolección se intensifica expresándose en el color intenso en las regiones II y III. En el último año de la regulación, se recolecta en todas las zonas donde existe producción minera.

Figura 11. Recolección de los residuos según ubicación geográfica, para categoría mayor o igual a 57", años 2018, 2021 y 2030.



El destino de los residuos sin desagregar por categoría, según tipo de tratamiento y eliminación se presenta en la Tabla 25.

**Tabla 25.** Distribución de las toneladas recolectadas en Línea Base y escenario Regulatorio para el periodo 2021-2030

Destino	Línea Base	Escenario Regulatorio
Valorización	320.094	1.269.954
Eliminación	0	195.113
<b>Total Recolectado</b>	<b>320.094</b>	<b>1.465.068</b>

Mediante la aplicación de la regulación se incrementa más de cuatro veces la cantidad recolectada, desde 320 mil a 1,46 millones de toneladas. La valorización aumenta en casi cuatro veces, desde esos 320 mil a 1,26 millones de toneladas. En todo el periodo 195,1 mil toneladas de residuos tuvieron como destino los rellenos sanitarios. La regulación, en el periodo evaluado, disminuye en 1.144.973 toneladas el destino inadecuado de neumáticos fuera de uso a nivel nacional.

Respecto a la recolección en zonas extremas, se ilustra en la Tabla 26 el total de residuos recolectados en escenario regulatorio.

0134

Tabla 26. Toneladas de residuos de neumáticos de categoría menor a 57" recolectados en zonas extremas

Región	Residuos de neumáticos recolectados (ton)
XV	1.376
I	11.986
II	30.376
XI	9.201
XII	12.383
<b>Total general</b>	<b>65.322</b>

La Tabla 27 se detalla, según destino, la totalidad de residuos de neumáticos recolectados en el periodo comprendido entre los años 2021 a 2030.

Tabla 27. Toneladas de residuos de neumáticos y sus destinos en escenario regulatorio, incluyendo línea base, 2021-2030

Tratamiento	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Reciclaje	10.353	13.435	18.271	44.743	45.340	68.243	70.790	84.011	86.874	89.843
Recauchaje	15.819	16.338	16.875	17.432	18.008	18.832	19.223	19.863	20.526	21.214
Pirólisis	6.735	8.309	9.013	31.211	33.646	53.448	55.379	65.765	67.926	70.203
Coprocesamiento	7.654	11.203	14.393	17.126	17.185	16.779	17.158	16.374	16.936	17.480
Eliminación	35.726	29.537	22.895	31.554	32.618	8.110	8.427	8.444	8.745	9.058
Sin tratamiento	85.708	88.532	91.457	36.589	37.813	25.369	26.199	9.347	9.666	9.996
<b>Total NFU</b>	<b>161.995</b>	<b>167.354</b>	<b>172.905</b>	<b>178.654</b>	<b>184.610</b>	<b>190.781</b>	<b>197.176</b>	<b>203.803</b>	<b>210.673</b>	<b>217.794</b>

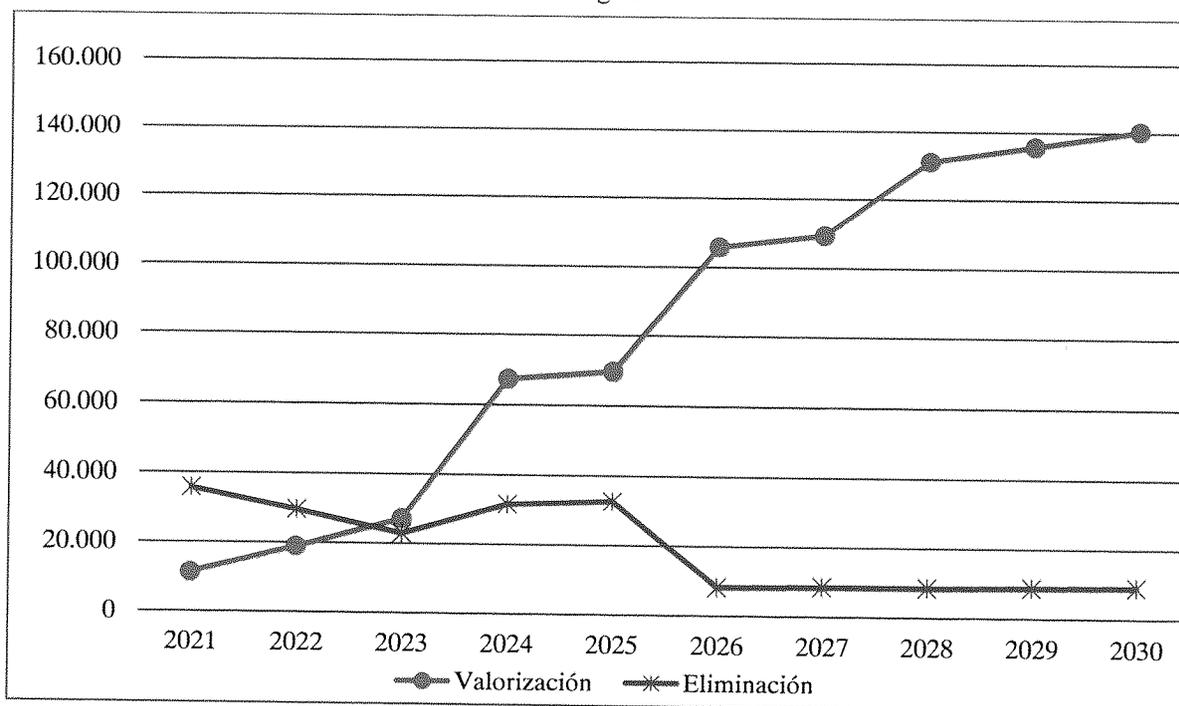
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 12 ilustra las toneladas valorizadas y eliminadas en escenario regulatorio respecto de la línea base, para la categoría menor a 57". Entre el primer y tercer año de regulación, la meta de recolección es superior a la de valorización. La diferencia entre ambas se destina a eliminación. En estos años la eliminación disminuye porque la meta de recolección se mantiene constante, a diferencia de la de valorización, que va en aumento.

En el año 2024 ambas metas se incrementan, provocando un aumento en las toneladas de residuos enviados a valorizar y eliminar. Entre este año y el 2025 las metas se mantienen, incrementándose de acuerdo al crecimiento de la economía. Finalmente en el año 2026 la meta de valorización iguala a la meta de recolección. Se mantiene, sin embargo, el envío de una pequeña proporción de los residuos de neumáticos a eliminación. Esto porque se simula que las metas de recolección y valorización se cumplen en base al mínimo costo, no

incorporando las zonas extremas que involucran mayores costos. No obstante, la recolección en esas zonas requiere cumplirse, por lo que igualmente se recolecta y se envía a eliminación.

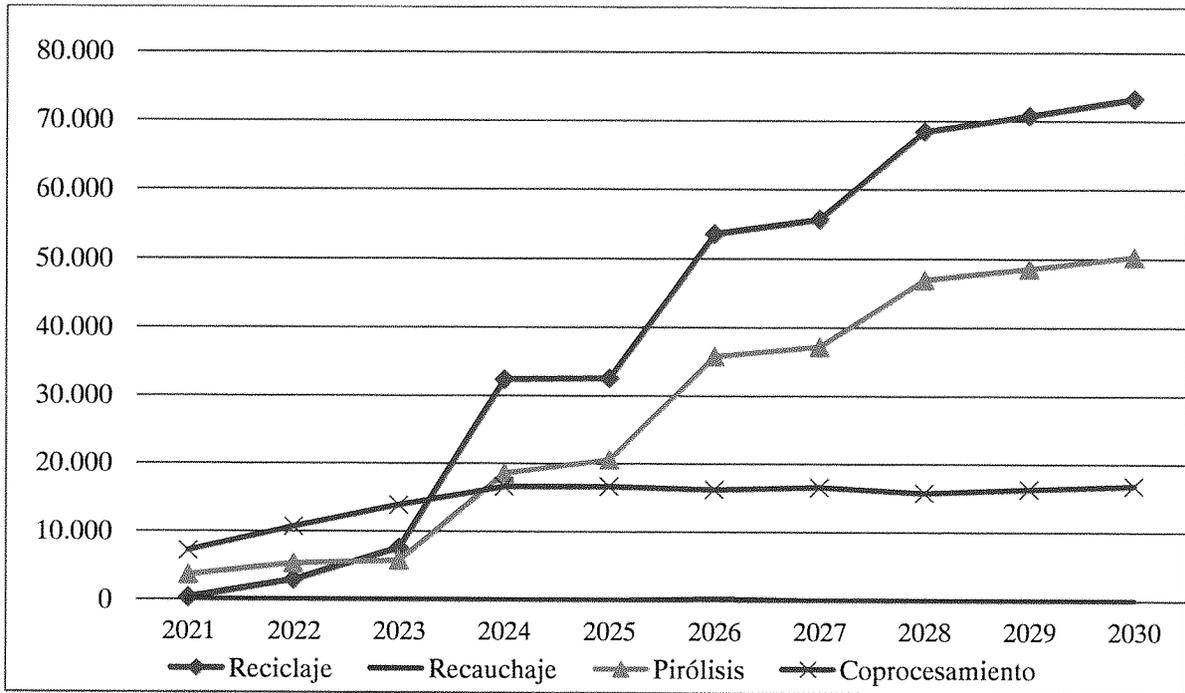
Figura 12. Residuos de neumáticos valorizados y eliminados en escenario regulatorio respecto de línea base. Para categoría <57”



Fuente: Elaboración propia.

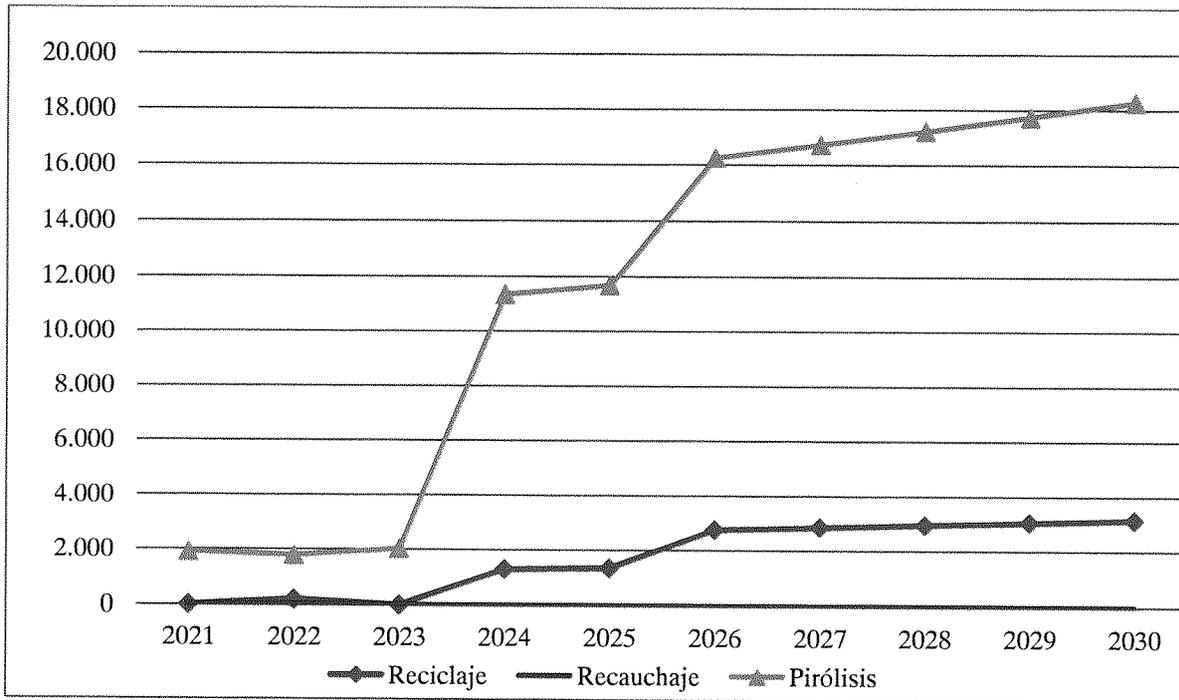
Desagregando la valorización para menor a 57” por tipos de tratamiento, una mayor proporción de los residuos son enviados a reciclaje mediante trituración mecánica. Esto para casi todo el período de evaluación con excepción de los primeros dos años de regulación. En esos años, el coprocesamiento y la pirólisis son los procesos que más residuos valorizan respecto a la línea base, debido a sus menores costos operacionales. Sin embargo, ya en el año 2023 comienzan a copar sus capacidades, requiriéndose aumentar la capacidad en las instalaciones ya existentes. Tal como señala la Tabla 47 en la sección Anexos, estos aumentos ocurren en reciclaje y pirólisis. Desde ese año, el reciclaje comienza a ser el proceso con mayor ponderación en la valorización de los residuos, debido a que recibe los residuos de las comunas donde se generan proporcionalmente más residuos. Finalmente, el recauchaje, como consecuencia de sus costos, no tiene una valorización distinta a la situación de línea base.

Figura 13. Residuos de neumáticos valorizados según tipo de tratamiento en escenario regulatorio respecto de línea base. Para categoría <57”



En el caso de los residuos de categoría mayor o igual a 57”, mayoritariamente son valorizados a través del proceso de pirólisis. Esto como consecuencia de las capacidades instaladas de este tipo de tecnología en la línea base, las cuales permiten absorber los residuos necesarios para el cumplimiento de la meta de valorización en esta categoría. Un porcentaje inferior de los residuos son valorizados a través del reciclaje por trituración mecánica. Al igual que en la categoría menor a 57”, el recauchaje se mantiene equivalente a lo valorizado en línea base, puesto que sus costos son mayores al resto de las otras tecnologías.

Figura 14. Residuos de neumáticos valorizados según tipo de tratamiento. Para categoría > 57”.



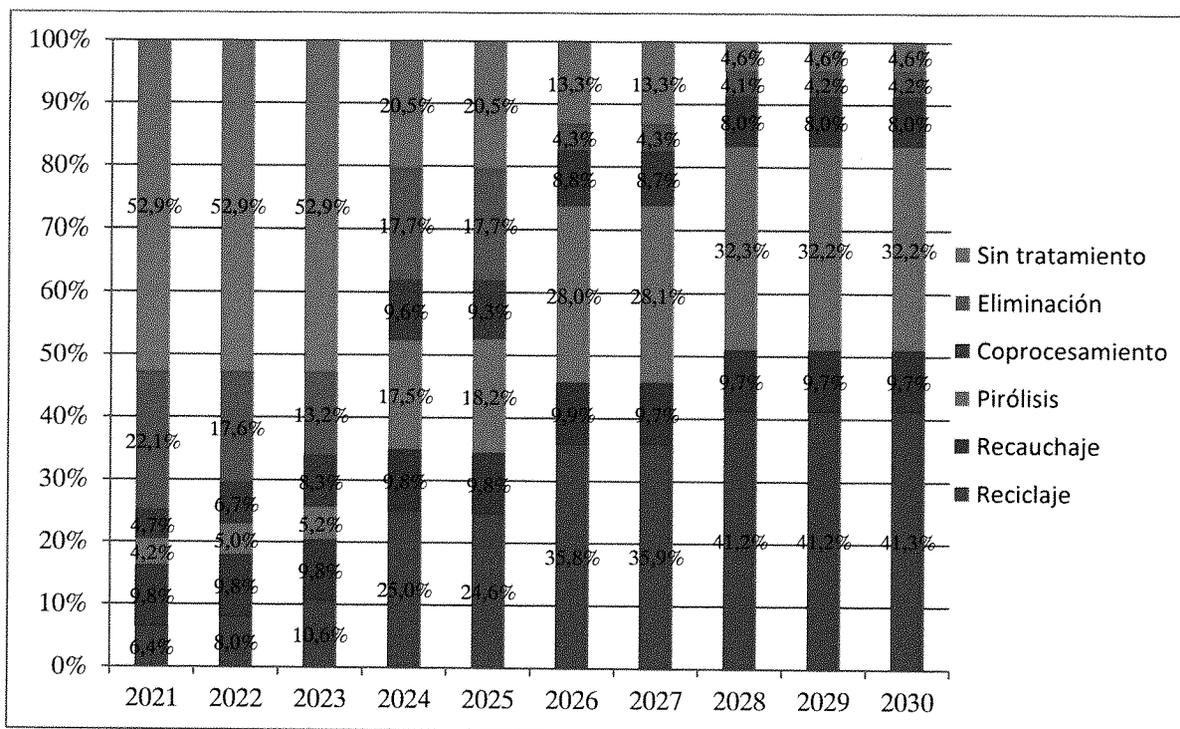
Fuente: Elaboración propia.

La regulación reduce de forma significativa los residuos de neumáticos dispuestos inadecuadamente: desde un 83% en el año base, a un 53% para el primer año de meta, hasta un 4,6% en el año 2030. La eliminación en rellenos sanitarios se permite mientras dura la diferencia entre metas de recolección y valorización. Esta se cierra en el año 2026, sin embargo, sigue manteniéndose un porcentaje menor de residuos enviados a eliminación. El motivo es que la meta de recolección se cumple con una distribución que minimiza el costo de la gestión, dejando fuera las zonas extremas. No obstante, las metas específicas de recolección para zonas extremas deben cumplirse, por lo que igualmente se recolectan en esas zonas, habiendo ya cumplido la meta de recolección y valorización. Ese extra recolectado de las zonas extremas se envía a rellenos sanitarios más cercanos.

Respecto a los tipos de tratamientos, tal como se señaló en las Figura 13 y Figura 14, el reciclaje por trituración mecánica y la pirólisis son los procesos que valorizan una mayor proporción para casi todos los años de evaluación. La Figura 15 señala lo anterior.

Figura 15. Residuos de neumáticos valorizados y eliminados según tipo de tratamiento, 2022-2031.

0138



Para el cumplimiento de la meta de valorización se requirió generar nuevas instalaciones de valorización en las ubicaciones ya existentes. Para la categoría menor a 57”, estas ocurren para los tratamientos de reciclaje por trituración mecánica y pirólisis. Los aumentos de capacidad inician en el año 2024, año en donde la meta de valorización aumenta desde un 35% a 60%. Luego en los años próximos también se generan aumentos en capacidad, llegando a 4 aumentos en instalaciones tanto en reciclaje como en pirólisis. La Tabla 47 en la sección Anexos evidencia las nuevas instalaciones para asegurar el cumplimiento según tipo de tratamiento para la categoría menor a 57”.

Para la categoría mayor a 57”, los aumentos también ocurren para los procesos de reciclaje y pirólisis, y se realizan a partir del año 2024, en donde la meta de valorización aumenta desde 25% a 75%. En reciclaje sólo bastó aumentar la capacidad una sola vez durante el período de evaluación, mientras que en el tratamiento de pirólisis se generó un segundo aumento de capacidad en el año 2026. La Tabla 48 en la sección Anexos ilustra los aumentos de capacidad en instalaciones de valorización para la categoría mayor o igual a 57”.

### 3.2.1. 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\$ 120.878.665

Tabla 28. Costos (US\$-2018) para cumplimiento de metas de recolección y valorización.

Componente del costo	Categoría	Total
----------------------	-----------	-------

0139

	< 57"	≥ 57"	
Aumento Capacidad	6.363.990	4.893.392	<b>14.257.382</b>
Transporte	22.089.712	4.966.478	<b>27.056.190</b>
Tratamiento	35.876.765	32.593.861	<b>68.470.626</b>
Administración SG	5.545.832	3.396.298	<b>8.942.130</b>
Obligación asociada	1.992.432	N.A.	<b>1.992.432</b>
Fiscalización SG			<b>110.292</b>
Garantía SG	33.274	16.338	<b>49.612</b>
<b>Costo Total</b>	<b>74.902.005</b>	<b>45.866.367</b>	<b>120.878.665</b>

Como se observa en la Tabla 1Tabla 28, en ambas categorías el componente de costo más ponderante es el de proceso de tratamiento, alcanzando el 48% y 71% del total de costos para las categorías menor y mayor o igual a 57" respectivamente. En la primera categoría le sigue los costos de transporte.

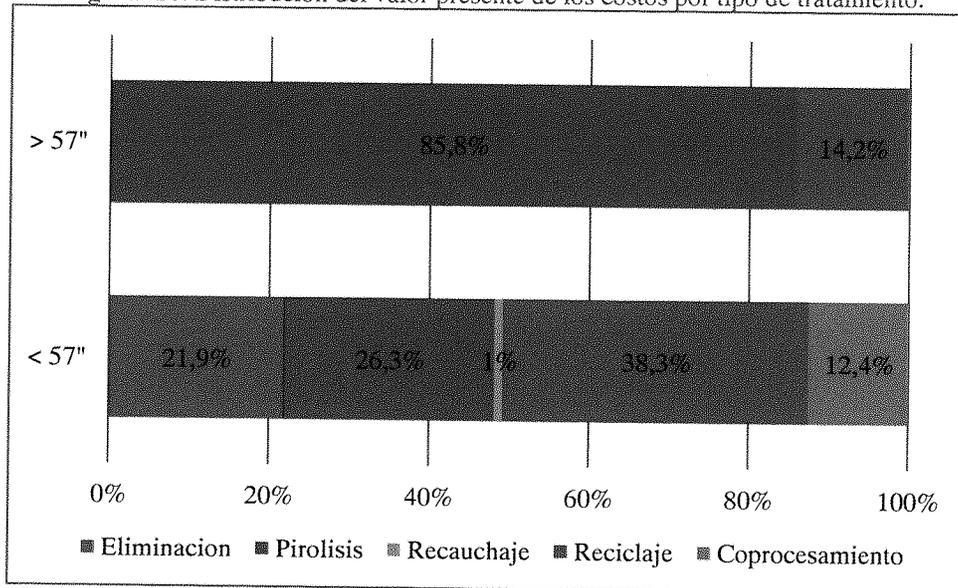
Los costos de tratamiento en la categoría mayor a 57" sufren una reducción de 8,1 millones consecuencia de costos evitados por las empresas mineras. La regulación permite a estos regulados evitar un costo por disponer los residuos de neumáticos que acumulen durante el período de evaluación al momento de cerrar sus faenas mineras. Por tanto, el valor presente de esos costos evitados se traduce en una reducción de los costos de tratamiento.

Tabla 29. Costos evitados por recolección de residuos de neumáticos mineros (US\$-2018).

Tratamiento	Valor Presente
Pirólisis	7.292.764
Reciclaje	778.303
<b>Total</b>	<b>8.071.067</b>

La desagregación de los costos según cada uno de los tratamientos a los que son sometidos los residuos recolectados se muestra en la siguiente figura.

Figura 16. Distribución del valor presente de los costos por tipo de tratamiento.



En la categoría menor a 57'' el principal tratamiento con mayor representatividad dentro de los costos es el reciclaje, mientras que en la categoría mayor o igual a 57'' corresponde a la pirólisis.

Los costos relacionados a la meta específica de recolección en zonas extremas se señalan en la Tabla 30. Los costos involucrados a su recolección suman un 5,7% de los costos totales para la categoría menor a 57'' incurridos en el escenario regulatorio.

Tabla 30. Valor Presente de costos de recolección para zonas extremas (US\$-2018)

Región	Valor Presente
XV	46.588
I	395.991
II	453.270
XI	442.446
XII	2.876.008
<b>Total</b>	<b>4.298.942</b>

### 3.2.2. Beneficios asociados a las metas de recolección y valorización

Los beneficios en valor presente ascienden a US\$ 264.251.800.

Tabla 31. Beneficios (US\$-2018) para cumplimiento de metas de recolección y valorización.

Tipo de Beneficio	Categoría		Total
	< 57''	≥ 57''	
Recepción neumáticos	44.390.399	52.731.299	<b>97.121.698</b>
Disposición Inadecuada	107.384.218	N.A.	<b>107.384.218</b>

Venta productos VAL	55.242.263	4.503.621	<b>59.745.884</b>
<b>Beneficio Total</b>	<b>207.016.880</b>	<b>57.234.919</b>	<b>264.251.800</b>

0141

En la categoría menor a 57”, se obtienen beneficios por recepción de neumáticos, por venta de productos valorizados y por reducción de la disposición inadecuada de residuos de neumáticos. Este último es aquel que genera más beneficios. No obstante, los beneficios económicos, es decir, la venta de productos valorizados y recepción de residuos de neumáticos, son suficientes para entregar un beneficio mayor a los costos incurridos en esta categoría.

En la categoría de neumáticos mayores a 57”, en tanto, se obtienen beneficios por recepción de neumáticos y venta de productos valorizados. El primero es lo que genera mayores beneficios. Al igual que en la categoría anterior, los beneficios económicos superan a los costos incurridos por la regulación.

### 3.2.3. 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 32, donde para la categoría de menor a 57” el beneficio valorizado asociado a los beneficios por menor disposición inadecuada de neumáticos fuera de uso, recepción de residuos de neumáticos y ventas de productos obtenidos del proceso de valorización asciende a un Valor Presente de US\$207.016.880. El costo valorizado, equivalente al costo de transporte, tratamiento, aumento de capacidad, administración, fiscalización y garantía de SG y obligación asociada se estima en un valor Presente de US\$74.902.005. Esto implica una razón beneficio costo de 2,76.

Para los neumáticos de categoría mayor a 57” los beneficios en valor presente dados por la venta del producto valorizado y recepción de residuos ascienden a un Valor Presente de US\$ 57.234.919, mientras que la suma en valor presente de los costos de valorización y transporte se estiman en US\$45.866.367 con lo que la razón beneficio costo es de 1,25.

Si se consideran ambas categorías de manera agregada, se obtiene una razón beneficio costo de 2,19 para la regulación evaluada.

Tabla 32. Indicadores económicos de la regulación.

Indicador	Categoría		Total
	< 57”	≥ 57”	
VP Beneficio (US\$)	207.016.880	57.234.919	264.251.800
VP Costo (US\$)	74.902.005	45.866.367	120.878.665
Razón B/C	2,76	1,25	2,19

### 3.2.4. Costos unitarios

Considerando los costos y las cantidades de residuos recolectadas en el horizonte de evaluación, se obtiene un indicador de costo por tonelada, de tal forma de estimar costo unitario que implica cumplir el escenario regulatorio.

Tabla 33. Costo unitario según categoría de neumático (US\$/ton), 2021-2030

Categoría	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
< 57"	81,2	77,5	87,6	98,8	102	129,4	124,2	141	143,8	142,9
≥ 57"	583	567,6	583,4	682,6	680,3	692,3	690,3	688	685,8	683,8

Los costos unitarios obtenidos en la tabla anterior no están tan alejados de los costos unitarios que presentan otros países, como Portugal o Francia, donde los sistemas de gestión obtienen costos de transporte y tratamiento de €114 y 157 por tonelada al 2017, respectivamente.

En términos de dólares por tonelada de residuos de neumáticos transportados, el costo de transporte en el primer año de meta llega a US\$10 la tonelada. A medida que la meta de recolección va aumentando en el horizonte de evaluación, el costo de transporte en dólares por tonelada se incrementa, llegando a US\$ 72 la tonelada en el último año de regulación.

Considerando los costos por tonelada según el tamaño de los productores, quienes aportan una mayor proporción de los costos corresponde a las empresas de gran tamaño. En la Tabla 34 se muestran estos costos según tramo de venta de la empresa para el primer año de la regulación.

Tabla 34. Costos según tramo de venta de empresas (US\$-2021)

Tipo de empresa	<57"	≥57"
Gran Empresa	64.155.763	45.854.101
Mediana Empresa	2.958.096	8.177
Pequeña empresa	6.680.428	0
Micro empresa	484.287	0
Sin información	623.431	4.089
<b>Total general</b>	<b>74.902.005</b>	<b>45.866.367</b>

El costo por neumático, según el tipo de vehículo, se enuncia en la Tabla 35. Los costos para los tipos de vehículos vinculados con la categoría menor a 57" se encuentran en rangos similares a lo que dice la evidencia comparativa de los países anteriormente mencionados. En Portugal, su sistema de gestión *Valorpneu* reportó en el año 2010 valores de € 1 por neumático del tipo liviano, € 0,6 para motocicleta, € 7,8 para neumáticos pesados, y entre

€2,55 y 9,47 para agrícolas y forestales. Por otro lado, en Francia, su sistema de gestión *Aliapur*, reportó en el 2017 valores de € 1,18 para neumáticos livianos, €0,76 para motocicletas, € 8,6 para neumáticos de camiones, y entre € 19,5 y 101,65 para agrícola y forestal. Los vehículos mineros no cuentan con evidencia comparativa en otros sistemas de gestión.

0143

Tabla 35. Costo por neumático, según tipo de vehículo (US\$/neumático), 2021-2030

Tipo de neumático	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Liviano	0,9	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,3	1,5	1,6	1,5
Motocicleta	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Buses y camiones	4,6	4,4	4,9	5,6	5,8	7,3	7,0	7,9	8,1	8,1
Agrícola, forestal e industrial	4,2	4,0	4,5	5,1	5,3	6,7	6,4	7,3	7,4	7,4
Minero (< 57")	37,9	36,2	40,9	46,1	47,6	60,4	58,0	65,8	67,1	66,7
Minero (≥ 57")	2.493,3	2.425,6	2.493,3	2.917,3	2.907,4	2.958,8	2.950,2	2.940,3	2.931,1	2.922,2

Respecto a los otros tipos de neumáticos, la Tabla 36 muestra una estimación de la tarifa respecto al precio promedio del neumático según tipo de vehículo.

Tabla 36. Proporción de tarifa en precio del neumático según tipo de vehículo, 2022.

Neumático según tipo de vehículo	Precio promedio de neumático (CLP)	Tarifa año 2030 (%)	Tarifa sobre precio del neumático (%)
Liviano (automóvil y camioneta)	55.564	1.006	1,8
Camión y bus	166.858	5.256	3,1
Agrícola	350.220	4.809	1,4
OTR < 57"	1.272.050	43.491	3,4
Minería ≥ 57"	26.949.650	1.905.237	7,1

#### 4. Conclusiones

Los regulados corresponden a productores que enajenan o importan neumáticos de manera independiente o como parte integral de un vehículo o maquinaria de cualquier tipo. Se identificaron 1.854 productores. Estos productores, en el año 2016, ponen en el mercado 182.703 toneladas, de las cuales 152.654 y 30.049 toneladas fueron de reposición y como componente de vehículos o maquinarias, respectivamente. Los residuos de neumáticos generados fueron 138.068 toneladas, con 126.228 y 11.841 toneladas generadas por reposición y como componente de vehículo o maquinaria respectivamente. La recolección llegó al 17% en el 2016, de los cuales 9,7% se valorizó a través de recauchaje, 6,4% mediante reciclaje, 0,7% a través de pirólisis y 0,3% con coprocesamiento.

El AGIES evaluó los beneficios y costos de las metas de recolección y valorización definidas en la minuta en un horizonte de 13 años (2018-2030). Los resultados indican que los beneficios cuantificados por la reducción de la disposición inadecuada de neumáticos, recepción de residuos de neumáticos y venta de productos valorizados se estiman en US\$264,3 millones en valor presente. Por otro lado, los costos monetizados por la recolección de neumáticos (transporte), tratamiento (valorización y eliminación), aumento de capacidad de tratamiento, obligación asociada y administración junto con fiscalización y garantía de un sistema de gestión se estiman en US\$120,9 millones en valor presente.

La valoración de los beneficios y costos del escenario regulatorio propuesto indica que la implementación de las metas es altamente rentable desde la perspectiva social. La razón beneficio-costos es de 2,19.

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.

## Referencias

DICTUC (2018). Valoración contingente para estimar beneficios ambientales asociados a los residuos de productos prioritarios contenidos en la Ley REP, Ministerio del Medio Ambiente.

EY (2017). Asesoría en la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP).

GESCAM (2017). Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para los productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes, contenidos en la Ley 20.920. Santiago de Chile.

Hacienda, M. d. (2018). "Bonos vigentes Tesorería de la República de Chile." Retrieved 28 de Septiembre., from <http://www.hacienda.cl/oficina-de-la-deuda-publica/bonos-de-tesoreria/bonos-locales/bonos-vigentes-tesoreria-de-la.html>.

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

SteerDaviesGleave (2011). Análisis de costos y competitividad de modos de transporte terrestre de carga interurbana. Informe Final., Subsecretaría de Transporte.

VALORPNEU (2017). Relatório anual y Contas 2017.

## Anexos

0146

Tabla 37. Pesos de neumáticos según aro y tipo de vehículo (kg).

Aro	Liviano		Buses y camiones		Agrícola, forestal e industrial		Minería y construcción (<57")		Minería (≥57")	
	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso
4					0,0	1,2				
6					0,6	3,3				
8					2,0	40,4				
9					7,4	27,0				
10	0,0	9,8			7,3	36,5				
11					0,2	28,8				
12	2,3	6,2			9,2	38,9				
13	16,4	6,8			2,6	9,0				
14	26,0	8,0			1,2	25,2				
15	18,6	10,8			12,2	51,7				
15,3					4,9	53,3				
15,5					0,8	53,3				
16	24,0	15,2			8,7	33,6				
16,1					0,0	59,3				
16,5					6,4	45,1				
17	8,6	13,6			0,0	53,3				
17,5			12,2	28,6	2,0	74,8				
18	2,8	13,7			8,1	37,5				
19	0,5	14,2			0,0	53,3				
19,5			0,2	36,7	0,6	87,2				
20	0,7	20,3	1,3	81,9	2,4	62,2				
20,5					0,0	182,0				
21	0,0	29,9			0,6	65,7				
22	0,0	18,0	0,1	64,1	0,1	56,3				
22,5			80,8	57,9	0,8	54,5				
24			5,2	92,4	11,4	74,8	8,5	326,7		
24,5			0,3	62,8						
25					0,2	363,9	73,6	338,0		
26					1,6	125,9				
26,5					0,2	56,7				
28					1,2	78,6	0,0	82,9		
29							2,6	713,7		
30					2,5	107,				

						8				
30,5					0,0	65,7				
32					0,7	217,7				
33							5,3	1022,9		
34					2,5	34,0				
35							4,8	769,4		
36					0,0	53,3				
38					1,0	169,0	0,2	125,7		
42					0,1	178,3				
44					0,2	53,3				
45							1,6	2389,0		
46					0,1	93,5				
48					0,3	57,2	0,8			
49							2,1	1368,7		
51							0,6	2196,7		
54					0,0	53,3				
57									30,2	3825,1
63									70	4467,7
Peso ponderado	100	10,8	100	56,4	100	51,6	100	466,7	100	4.273,7

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Cámara de la Industria del Neumáticos de Chile.

Tabla 38. Tecnologías de valorización de residuos de neumáticos.

Tecnología	Definición
Uso de gránulos de caucho	Tratamiento mecánico que transforma los residuos de neumáticos en materias primas: gránulo y polvo de caucho, acero y compuestos textiles.
Recauchaje	Proceso en el que reemplaza la banda de rodamiento desgastada de un neumático usado, extendiendo su vida útil.
Pirólisis	Descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno. Esto se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. Del tratamiento se obtiene un combustible equivalente al diésel, negro de carbón y acero.
Coprocesamiento	Proceso que usa los residuos de neumáticos como combustible alternativo con la finalidad de aprovechar su poder calorífico, el cual es equivalente al del petróleo. Del proceso también aprovechan el acero proveniente del neumático, el cual es utilizado para el Clinker.

Tabla 39. Capacidades instaladas de empresas de valorización en línea base según tipo de tratamiento (toneladas).

Empresa	Ubicación	Trata-miento	Cate-goría	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Polambiente	13302	Reciclaje	< 57"	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000
Innova Ships	13102	Reciclaje	< 57"	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
El Melón	5502	Coprocesa-miento	< 57"	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Polpaico	13303	Coprocesa-miento	< 57"	6.780	6.780	6.780	6.780	6.780	6.780	6.780	6.780	6.780	6.780	6.780	6.780	6.780
Kona Fuel	8101	Pirolisis	< 57"	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
Morgan	13128	Reciclaje	< 57"	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800
Bailac	3506	Pirolisis	≥ 57"	0	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650
Kaltire	2201	Pirolisis	≥ 57"	0	7.300	7.300	14.600	14.600	21.900	21.900	21.900	21.900	21.900	21.900	21.900	21.900
AA Comercial	1101,2101,13302	Recauchaje	<57"	1.582	1.582	1.582	1.582	1.582	1.582	1.582	1.582	1.582	1.582	1.582	1.582	1.582
Bacon	2101,9101	Recauchaje	<57"	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709
Irenesa	2101,4101,13101,7301,7101,7401,8101,8301,9101	Recauchaje	<57"	3.727	3.727	3.727	3.727	3.727	3.727	3.727	3.727	3.727	3.727	3.727	3.727	3.727
Riosan	8110	Recauchaje	<57"	372	372	372	372	372	372	372	372	372	372	372	372	372
Llach	5101, 13103	Recauchaje	<57"	1.742	1.742	1.742	1.742	1.742	1.742	1.742	1.742	1.742	1.742	1.742	1.742	1.742
Recauflex	13127	Recauchaje	<57"	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117
Puelo	5802, 5109, 13101, 7101, 8101, 8301	Recauchaje	<57"	3.258	3.258	3.258	3.258	3.258	3.258	3.258	3.258	3.258	3.258	3.258	3.258	3.258
Truck Center	13401	Recauchaje	<57"	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117
Emar	8101, 8102	Recauchaje	<57"	745	745	745	745	745	745	745	745	745	745	745	745	745

Kaltire	2101	Recauchaje	≥57"	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264
Neumaservicio	1101, 2101	Recauchaje	<57"	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466
Insamar	5101	Recauchaje	<57"	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625
Triggs	7301	Recauchaje	<57"	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146
Morgan	13128	Recauchaje	<57"	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
			≥57"	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Bailac Thor	1101, 2101, 3101, 8101, 13101	Recauchaje	≥57"	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350	2.350

Fuente: elaboración propia a partir de información primaria.

Tabla 40. Valorización de residuos de neumáticos según tipo de tratamiento en la línea base (2018-2030).

Empresa	Cate- goría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Reciclaje	<57"	8.795	9.059	9.331	9.611	9.899	10.196	10.502	10.817	11.141	11.475	11.820	12.174	12.540	12.916	13.303
	≥57"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pirólisis	<57"	1.000	1.030	1.061	1.093	1.126	1.159	1.194	1.230	1.267	1.305	1.344	1.384	1.426	1.469	1.513
	≥57"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coprocesa- miento	<57"	414	426	439	452	466	480	494	509	524	540	556	573	590	608	626
Recauchaje	<57"	11.004	11.335	11.675	12.025	12.386	12.757	13.140	13.534	13.940	14.358	14.789	15.233	15.690	16.160	16.645
	≥57"	2.470	2.544	2.620	2.699	2.780	2.863	2.949	3.038	3.129	3.223	3.319	3.419	3.522	3.627	3.736

Fuente: elaboración propia a partir de información primaria.

Tabla 41. Costo de disponer una tonelada de residuos en rellenos sanitarios, año base.

<b>Comuna</b>	<b>Cobro de relleno sanitario (CLP/ton)</b>
1405	31.772
2201	7.762
2202	10.898
2301	S.I.
3101	15.986
3301	9.199
4102	14.920
5101	10.334
6116	13.752
6201	14.792
7101	12.577
7308	13.237
8107	12.565
8205	8.600
8301	11.895
8406	13.757
9105	19.111
9120	11.799
10109	6.765
11302	316
11402	35.247
13119	15.304
13303	20.506
13601	14.353
15102	24.194
<b>Promedio</b>	<b>13.985</b>

Fuente: elaboración propia..

Tabla.42. Año de cierre de Faenas Mineras de la Corporación Nacional del Cobre (Codelco)

<b>Empresa</b>	<b>Año de cierre</b>	<b>Vida útil (año base: 2021)</b>
Chuquicamata	2058	37
Radomiro Tomic	2057	36
Ministro Hales	2071	50
Salvador	2055	34
Andina	2095	74

El Teniente	2084	63
Gabriela Mistral	2026	5
Ventanas	2088	67

0151

Tabla. 43. Neumáticos puestos en el mercado proyectados (unidades), 2016-2030

Cate- goría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
< 57"	6.573.329	6.770.528	6.973.645	7.182.854	7.398.339	7.620.290	7.848.898	8.084.366	8.326.896	8.576.704	8.834.005	9.099.025	9.371.996	9.653.155	9.942.749
≥ 57"	5.487	5.652	5.821	5.996	6.176	6.361	6.552	6.748	6.951	7.159	7.374	7.595	7.823	8.058	8.300
Total	6.578.816	6.776.180	6.979.466	7.188.850	7.404.515	7.626.651	7.855.450	8.091.114	8.333.847	8.583.863	8.841.379	9.106.620	9.379.819	9.661.213	9.951.049

Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 44. Neumáticos puestos en el mercado proyectados (toneladas), 2016-2030

Cate- goría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
< 57"	159.254	164.031	168.952	174.021	179.241	184.619	190.157	195.862	201.738	207.790	214.024	220.444	227.058	233.869	240.885
≥ 57"	23.450	24.153	24.878	25.624	26.393	27.185	28.000	28.840	29.705	30.597	31.515	32.460	33.434	34.437	35.470
Total	182.703	188.185	193.830	199.645	205.634	211.803	218.157	224.702	231.443	238.387	245.538	252.904	260.491	268.306	276.355

Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 45. Residuos de neumáticos proyectados (unidades), 2016-2030

Cate- goría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
< 57"	5.661.952	5.840.531	6.024.998	6.215.562	6.412.442	6.615.862	6.826.057	7.043.272	7.267.759	7.499.787	7.739.626	7.987.564	8.243.900	8.508.943	8.783.018
≥ 57"	5.205	5.361	5.522	5.688	5.858	6.034	6.215	6.401	6.594	6.791	6.995	7.205	7.421	7.644	7.873

Total	5.667.157	5.845.892	6.030.520	6.221.250	6.418.300	6.621.896	6.832.272	7.049.673	7.274.353	7.506.578	7.746.621	7.994.769	8.251.321	8.516.587	8.790.891
-------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Residuos de neumáticos proyectados (toneladas), 2016-2030

Categoría	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
< 57"	121.385	125.392	129.542	133.840	138.292	142.905	147.683	152.635	157.768	163.088	168.604	174.323	180.253	186.405	192.786
≥ 57"	16.683	17.184	17.699	18.230	18.777	19.341	19.921	20.519	21.134	21.768	22.421	23.094	23.787	24.500	25.235
Total	138.068	142.576	147.242	152.071	157.070	162.245	167.604	173.154	178.902	184.856	191.025	197.416	204.040	210.905	218.021

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Aumento de instalaciones de valorización para categoría menor a 57", según tipo de tratamiento, 2021-2030 (cantidad acumulada)

Tipo Valorización	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Reciclaje	0	0	0	1	1	3	3	3	4	4
Recauchaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pirólisis	0	0	0	1	2	3	3	4	4	4
Coprocesamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 48. Aumento de instalaciones de valorización para categoría mayor o igual a 57", según tipo de tratamiento, 2021-2030 (cantidad acumulada)

Tipo Valorización	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Reciclaje	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Recauchaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0153

Pirólisis	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2
Coprocesamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

015