UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental Ingeniería Civil Química

2018

GENERACIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA EL RECICLAJE DEL PRODUCTO PRIORITARIO CON MAYOR IMPACTO EN LA CIUDAD DE COYHAIQUE, EN EL MARCO DE LA LEY DE FOMENTO AL RECICLAJE

GONZÁLEZ CANDIA, IGNACIO ANDRÉS

http://hdl.handle.net/11673/41315

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

INGENIERÍA QUÍMICA
INGENIERÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
CAMPUS SANTIAGO – SAN JOAQUÍN

"GENERACIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA EL RECICLAJE DEL PRODUCTO PRIORITARIO CON MAYOR IMPACTO EN LA CIUDAD DE COYHAIQUE, EN EL MARCO DE LA LEY DE FOMENTO AL RECICLAJE"

Autor: **Ignacio González**
Profesor Referente: **Paula Guerra**
Coreferente: **Henrik Hansen**
Coreferente **Paulina Guzmán**

Agradecimientos

A mis padres por su enorme amor durante todos los años de mi vida, por su enorme fortaleza en mi crianza como persona y su apoyo incondicional frente a cada situación.

A mi hermosa hermana que es la alegría de mis días y que día a día me sorprende.

A mis amigos por ser el pilar fundamental en mi formación académica, sin duda la mayor ganancia y aprendizaje en todo mi proceso académico.

RESUMEN EJECUTIVO.

Ante la explotación irracional de los recursos naturales y materias primas del planeta, nace alrededor del año 1990 en la Unión Europea el concepto de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que plantea el redirigir la responsabilidad de la reutilización y reciclaje de residuos desde el consumidor hacia el productor. Lo anterior se realiza con el fin último de poder pasar de una economía lineal, donde todo es desechable, hacia una economía circular donde no existan los desechos y los residuos sean parte fundamental de los procesos productivos. Chile, que actualmente es un país en vías de desarrollo, demoró un tiempo más en poder reconocer este fenómeno de generación sostenida y sin control de residuos de todo tipo en su territorio, y fue durante Mayo de 2016 donde se promulgó la Ley de Fomento al Reciclaje o Ley N°20.920, que dirime las responsabilidades tanto administrativas y financieras respecto de la generación y tratamiento de residuos en el territorio nacional. En el caso particular de Coyhaique, ciudad que se sitúa en la XI Región de Aysén, con un universo de 65.000 habitantes, no posee focos industriales en sus límites, por lo tanto la generación de residuos engloba directamente a los habitantes de la ciudad y su generación de RSM (Residuos Sólidos Municipales). La tasa de generación de RSM en Coyhaique tiene un valor de 1,17 $[kg/día/habitante]$, de los cuales un 33% tiene potencialidad de reciclaje. Sin embargo, estos residuos diariamente son enviados a su etapa de disposición final en rellenos sanitarios y/o vertederos. No obstante lo anterior, las alternativas de reutilización y reciclaje de residuos a nivel local en la ciudad son escasas y su nivel de accesibilidad es bajo. Esto genera que la búsqueda de alternativas que fomenten la recolección, reutilización y reciclaje de residuos, en este caso RSM, sea imperante y deba basarse en la situación base.

Desde esta perspectiva, el objetivo principal de este trabajo es realizar un diagnóstico de la situación actual de la generación y tratamiento de residuos en la ciudad de Coyhaique, en el marco de la Ley de Fomento al Reciclaje y buscar una solución a la necesidad local respecto del tratamiento de residuos.

La metodología aplicada se desarrolló en conjunto con la SEREMI del Medio Ambiente, estableciendo criterios de selección para determinar el residuo con mayor preponderancia en Coyhaique, siempre visualizando el contexto local y global que existe respecto de la generación de residuos. Este análisis permitió dictaminar que la corriente de residuos Envases y Embalajes sea la de mayor prioridad en la ciudad. Dentro de esta categoría son los plásticos los que tienen una de las participaciones más importantes dentro de la distribución de residuos, con un 17% de los Residuos Sólidos Municipales (RSM), de los cuales el 20% corresponden a plásticos PET.

Según esto, el plan de acción propuesto corresponde a la evaluación técnico-económica de la implementación de una planta de reciclaje mecánico de plástico PET en la ciudad de Coyhaique. Este proceso evalúa el tratamiento progresivo del 15% de los RSM de plásticos PET, aumentando el valor hasta un 35% en 10 años, lo que se traduce en el procesamiento al primer año de 130 $[t/año]$, cuyo valor al décimo año será de 300 $[t/año]$ de plásticos tereftalato de polietileno (PET, por su sigla en inglés).

La evaluación se compone de tres aristas: la primera de ellas evalúa la situación actual del mercado de PET en Chile, mercado que se presenta como una oportunidad de negocio por la alta participación de las importaciones en él y el aumento progresivo de la demanda de plásticos PET. La segunda arista de evaluación corresponde al proceso técnico que debe tener la planta de reciclaje mecánico a evaluar y su funcionamiento, estableciendo los principales flujos de insumos, materias primas y servicios. De acuerdo con el plan de producción y las metas de valorización, la **materia prima requerida es de 130 [t/año]** para producir **119,8 [t/año] de producto.**

La última arista de evaluación se desarrolla en base al plan de producción, evaluando económicamente la alternativa de reciclaje, concluyendo que la mejor alternativa de inversión corresponde al financiamiento del 70% de la inversión inicial mediante un crédito con amortización fija y un interés del 15% anual. Esto permite que la alternativa tenga los siguientes indicadores económicos:

Indicador	Valor
Valor Actual Neto (VAN) $[\boldsymbol{USD}]$	58.865
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	17,88
Payback $[\boldsymbol{años}]$	6,83

La implementación de la planta de reciclaje de plástico PET en la ciudad de Coyhaique surge como una alternativa atractiva en cuanto a lo económico y técnico, puesto que la rentabilidad del proyecto es atractiva. Sin embargo, la proyección de este tipo de alternativas queda totalmente supeditada al énfasis que se de en cuanto a la gestión y recolección de residuos y a la profundidad de la educación medioambiental que se entregue a la sociedad.

ÍNDICE

Resumen Ejecutivo 3

Índice 5

1. Introducción 9

2. Contexto del proyecto 10

3. Objetivos 11

3.2 Objetivo General 11

3.3 Objetivos Específicos 11

4. Metodología 11

5. Alcances 13

6. Antecedentes 14

6.1 Responsabilidad Extendida del Productor 14

6.1.1 Objetivos de la responsabilidad extendida del productor 15

6.1.2 Tipos de responsabilidades 16

6.1.2.1 Roles y Responsabilidades 17

6.2 Instrumentos políticos 18

6.2.1 Herramientas administrativas 19

6.2.2 Herramientas económicas 19

6.2.3 Regulaciones y estándares 20

6.2.4 Herramientas informativas 20

6.3 Principales tendencias 21

6.3.1 Panorama histórico y actual 21

6.3.2 Tendencias legales y administrativas de los sistemas REP 24

6.4 Implementación y desempeño de la REP en la Unión Europea 26
6.4.1 Baterías 27
6.4.2 Vehículos fuera de uso (VFU) 28
6.4.3 Aceites Lubricantes 29
6.4.4 Envases y Embalajes 31
6.4.5 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) 32
6.5 Contexto Latinoamericano en torno a la REP 34
7. Desarrollo 37
7.1 Panorama nacional en torno a la REP 37
7.1.1 Sector envases y embalajes Chile 39
7.1.2 Sector neumáticos en Chile 42
7.1.3 Sector aceites lubricantes en Chile 44
7.1.4 Sector aparatos eléctricos y electrónicos en Chile 46
7.1.5 Sector pilas en Chile 48
7.1.6 Sector baterías fuera de uso en Chile 50
7.2 Situación de la región de Aysén 51
7.2.1 Tendencias regionales en torno a la gestión de residuos 51
7.2.2 Manejo actual de residuos en la región de Aysén 54
7.2.2.1 Sector neumáticos fuera de uso Coyhaique 54
7.2.2.2 Sector Artefactos eléctricos y electrónicos Coyhaique 56
7.2.2.3 Sector envases y embalajes Coyhaique 57
7.3 Criterio de elección del residuo con mayor impacto en Coyhaique 59
7.4 Plan de acción 61

7.4.1 Estudio de mercado 62
7.4.1.1 Segmentación del mercado objetivo 62
7.4.1.2 Estrategia de posicionamiento 64
7.4.1.3 Importación o producción del producto en Chile 65
7.4.1.4 Precios históricos del producto 67
7.4.1.5 Proyección del consumo nacional 68
7.4.1.6 Análisis PEST y FODA 69
7.4.2 Estudio técnico 73
7.4.2.1 Tecnologías de producción 73
7.4.2.2 Ubicación y diseño de la planta 75
7.4.2.2.1 Ubicación 75
7.4.2.2.2 Diagrama de flujo de procesos 77
7.4.2.3 Balance de masa y energía 79
7.4.2.4 Diseño de equipos 81
7.4.2.5 Evaluación de impacto ambiental 83
7.4.3 Estudio Económico 85
7.4.3.1 Inversión y consideraciones 85
7.4.3.2 Materias primas, insumos y servicios 86
7.4.3.3 Costos 88
7.4.3.4 Proyecciones 90
7.4.3.5 Evaluación económica 91
7.4.3.6 Análisis de sensibilidad 97
8. Conclusiones y recomendaciones 100

9. Referencias 104

10. Apéndice 110

10.1 Desempeño sistemas REP en la Unión Europea (Baterías) 110

10.2 Desempeño sistemas REP en la Unión Europea (VFU) 111

10.3 Desempeño sistemas REP en la Unión Europea (Aceites lubricantes) 112

10.4 Desempeño sistemas REP en la Unión Europea (envases y embalajes)... 113

10.5 Producción y proyección subsectores envases y embalajes en Chile 113

10.6 Diseño de Equipos 114

10.7 Comparación créditos de financiamiento 116

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las grandes industrias y procesos industriales han generado durante los últimos 30 años una explotación irracional de los recursos naturales, lo que provoca día a día la destrucción del medio ambiente y por ende el planeta en el que habitamos. Es así como históricamente, la clase social que maneja aquellos negocios y mercados de grandes envergaduras han tenido como objetivo la obtención del mayor beneficio económico en desmedro de la utilización sin conciencia de los recursos naturales existentes y necesarios para suplir el proceso productivo, de la misma manera que ha omitido su responsabilidad con el cuidado del medio ambiente. Sin embargo, la ciudadanía hasta hace poco tiempo no ha exigido el respeto de este compromiso y se ha hecho cómplice de esta omisión.

Actualmente los países deben hacerse parte de una nueva forma de hacer las cosas, donde la sociedad en su totalidad, sector privado y sector estatal, aúnen sus esfuerzos y establezcan alianzas con el fin de promover el crecimiento económico objetando la depredación expansiva de los recursos naturales. Por una parte, las empresas deben tener una responsabilidad con una extensión mayor que optimice las actividades realizadas en sus procesos productivos. Por otra parte, debe existir buena gestión en las entidades gubernamentales que otorguen políticas públicas de calidad apoyadas por leyes que sancionen correctamente las malas prácticas ambientales, a su vez generando incentivos para facilitar la inversión en los negocios que estén en sintonía con la línea de sustentabilidad. Esta visión contribuye a la expansión de nuevas oportunidades, contribuyendo significativamente a la generación de nuevas áreas de negocios, con un uso racional de recursos.

Este uso racional de los recursos genera que los distintos actores dentro de un modelo económico optimicen todos los aspectos que engloban la utilización de los mismos y se mejore globalmente los procesos productivos, lo que afecta desde el diseño de un producto hasta la reutilización y reciclaje del residuo que genera el producto luego de la finalización de su uso. Es por esto que la implementación no solo de un modelo de negocios, si no que de una mentalidad de reciclaje mediante la evaluación de la rentabilidad de procesos de reciclaje o reutilización de recursos es fundamental para el desarrollo sustentable de nuestro país y sociedad. De esta manera, se dispone de procesos innovadores y creativos que contribuye al desarrollo sustentable a través de alternativas que obtienen beneficios económicos de una forma amigable con el medio ambiente.

2. CONTEXTO DEL PROYECTO

En Mayo de 2016, durante el segundo gobierno de la Presidenta Michelle Bachelet Jeria se promulga la Ley de Fomento al Reciclaje o Ley N° 20920 que dirime las responsabilidades administrativas y financieras respecto de la generación y tratamiento de residuos en Chile. Siguiendo esta línea, la Ley de Fomento al Reciclaje promueve un sistema donde los productos y sus residuos, una vez concluida su vida útil, pasen a ser un recurso de valor, ya sea porque se reutilizan o bien se incorporan nuevamente a la cadena de producción, como materias primas o energía, lo que permite avanzar hacia una economía circular, donde nada se desperdicia.

De esta manera, la ley establece que las responsabilidades tanto de gestión como financiera de reutilizar los residuos generados por el consumo de seis líneas de productos prioritarios pase a ser una responsabilidad directa de aquellos que ingresan los productos al mercado e indirectamente de aquellos que consumen estos productos. En este sentido, deben crearse, si es que no los hay aún, sistemas de recolección y gestión de residuos que involucren la alimentación a los futuros procesos de reciclaje de acuerdo a lo establecido por la normativa. Esto urge a los distintos rubros a planificar y generar proyectos en base a la generación y tratamiento de residuos que entreguen una solución a lo establecido por el Ministerio del Medio Ambiente y la constitución de Chile.

Es así como desde 2016 se está trabajando en mejorar la normativa y en determinar específicamente la proporción de residuos que debe gestionar o tratar el responsable de acuerdo a la ley. Esto en base a la creación de los decretos supremos que establecen las metas de recolección y valorización de residuos para las corrientes de residuos establecidas en la misiva. Sin embargo, aun cuando estos documentos no se encuentran completos, las empresas deben adelantarse y generar proyectos que acerquen el funcionamiento de sus procesos productivos a lo que establece la normativa.

La visualización y determinación de aquellos residuos que generan mayor impacto en una ciudad o comuna es un proceso importante e interesante dado el contexto en el cual se engloba la normativa de residuos actualmente en Chile. Esto genera que un diagnóstico de las principales corrientes de residuos en la ciudad de Coyhaique y el planteamiento de un plan de acción que contribuya al traspaso de una economía línea a una de tipo circular sea una actividad y estudio atractivo para la literatura y la sociedad chilena. Es por esto que el siguiente estudio busca contribuir primero al estado del arte y segundo para formar parte de un cambio de mentalidad que es necesario tener en vista de la situación que el medio ambiente tiene a nivel mundial.

3. OBJETIVOS

3.2 OBJETIVO GENERAL

-Realizar un diagnóstico de la situación actual de la generación y tratamiento de residuos en la ciudad de Coyhaique y proponer una solución a la necesidad local.

3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Establecer un marco teórico respecto del concepto Responsabilidad Extendida del Productor, determinando sus injerencias en contextos como la Unión Europea y Estados Unidos.

-Realizar un levantamiento de información nacional respecto de las seis corrientes de productos que establece la Ley de Fomento al Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor.

-Determinar el impacto que existe en la localidad de Coyhaique respecto de la generación de las seis corrientes de productos que establece la ley REP y establecer aquel que contribuye con el mayor impacto a nivel local.

-Generar un plan de acción en base a los impactos visualizados en la localidad de Coyhaique y establecer la mejor alternativa de tratamiento de estos residuos.

-Evaluar técnica y económicamente la implementación de una planta de reciclaje mecánico de plásticos tipo PET en la ciudad de Coyhaique.

4. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la generación de la presente memoria de titulación tiene un orden lógico y cronológico, que se puede visualizar en la Figura 1 y se compone de las siguientes actividades:

- Revisión de la bibliografía y estado del arte del concepto Responsabilidad Extendida del Productor y reciclaje de residuos en general en contextos socioculturales como la Unión Europea y Estados Unidos.
- Definición de la línea base del proyecto, en cuanto a la implementación de la ley REP y sus posibles consecuencias a nivel regional y local (Coyhaique). Esta línea base se discute y propone en conjunto con la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Aysén.

- Levantamiento de información respecto de la situación local en cuanto a la gestión y reciclaje de los productos prioritarios que establece la Ley de Fomento del Reciclaje. Este levantamiento incluye diálogos e intercambio de información con instituciones como la Municipalidad de Coyhaique, empresas de reciclaje y/o generadores de residuos.
- Generación de un plan de acción en base a los resultados obtenidos del levantamiento de información a nivel local. Esto contempla el desarrollo de un estudio de pre factibilidad técnica y económica de la implementación de una planta de reciclaje de plásticos PET en la ciudad de Coyhaique.
- Presentación de informe y metodología a la SEREMI del Medio Ambiente en la ciudad de Coyhaique y revisión de la propuesta.
- Elaboración de la propuesta final y presentación.

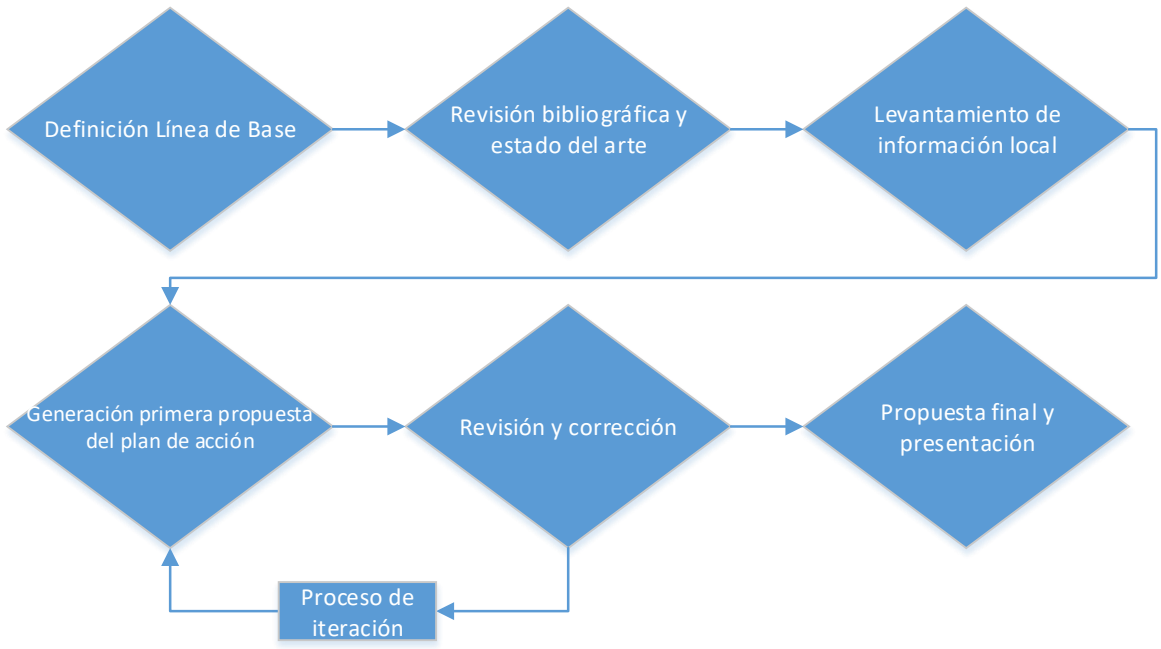

Figura 1. Metodología de desarrollo de la memoria de título. Fuente; Elaboración propia.

5. ALCANCES

El presente estudio corresponde a un diagnóstico realizado en la ciudad de Coyhaique, enmarcado en la normativa aprobada por el estado de Chile denominada Ley de Fomento al Reciclaje, seguido de una propuesta para tratar y reciclar el residuo prioritario más relevante a nivel local en la ciudad.

La REP es una política implementada en los bloques económicos más desarrollados en el mundo para abarcar la generación y gestión de residuos. Esta política establece, a grandes rasgos, que la responsabilidad de hacerse cargo de los residuos que se generan cuando un producto termina su vida útil sea parte de quienes ingresan el producto al mercado y no solamente de quien consume el producto. En este sentido, la política abarca distintos estamentos dentro del mercado, como lo son los productores, gestores de residuos, consumidores y recicladores. El presente estudio no va dirigido a un estamento especifico de los nombrados anteriormente, sin embargo, puede ser utilizado como un aporte a cualquiera de estos estamentos cuando se quiera hablar de gestión y tratamiento de residuos. En este sentido, el estamento de los productores debe gestionar alternativas como las incluidas dentro de este informe para cumplir con la normativa que rige en Chile, lo que sirve como un aporte a la literatura y un punto de comparación en el estado del arte en cuanto al tratamiento de residuos sólidos. Sin embargo, lo que se muestra en este documento es solamente una propuesta que puede ser adoptada por los actores ya mencionados.

La alternativa evaluada técnica y económicamente en este estudio, corresponde a la implementación de una planta de reciclaje mecánico de plásticos tipo PET en la ciudad de Coyhaique. Para ello la gestión de residuos, antes de ser tratados, es un punto de inflexión y se debe llevar a cabo con altos estándares. En base a esto, en conjunto con la SEREMI del Medio Ambiente, se discutió la incorporación dentro de la evaluación un sistema de gestión de residuos a nivel local en Coyhaique, por cuanto se llegó a la conclusión que corresponde a un proyecto distinto y no se incluirá una propuesta de gestión de residuos en Coyhaique, sino que solo se estimará el proceso de gestión como la contratación de un servicio externo que posee los estándares correspondientes con tal de cumplir lo requerido por la planta de reciclaje a evaluar. No obstante lo anterior, se deja claro en el documento y a lo largo de la evaluación realizada, que para que el proceso de reciclaje a evaluar se desarrolle de una manera óptima, debe existir un sistema de gestión de residuos y de recolección robusto, que sea apoyado tanto por los productores como por las entidades gubernamentales regionales o nacionales. Este sistema de gestión de residuos debe contemplarse mirando lo que se rige en La Ley 20920 y de acuerdo a las necesidades primero de los productores y segundo de las localidades en las cuales se emplace el sistema de gestión.

6. ANTECEDENTES

6.1 RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR

El término "Responsabilidad Extendida del Productor" es un concepto integrado en el vocabulario común del contexto medioambiental y sus afines, donde es utilizado como una política medioambiental extremadamente fuerte para hacer frente y entrelazar los conceptos de producción, industria, reciclaje y reutilización. Este principio emerge a través del análisis de experiencias del mundo del reciclaje y sistemas de tratamiento de residuos, para así poder contribuir en la implementación de políticas que promuevan una producción más limpia (Lindhqvist T. , 2000). De esta manera, el concepto fue oficialmente presentado en el informe para el Ministerio de Medio Ambiente de Suiza, "Modelos para la responsabilidad extendida del productor" por Lindhqvist y Lidgren en 1990 (European Comission- DG Environment, 2014). Al mismo tiempo, varios países presentes en la Unión Europea se estaban preparando para comenzar la implementación de varios instrumentos para mejorar el manejo del término del ciclo de vida de los productos.

La Responsabilidad Extendida del Productor viene a desviar una responsabilidad que hasta el día de hoy recae principalmente en los consumidores finales hacia los orígenes del ciclo de vida del producto, es decir, el productor. En este sentido, es el productor o dueño de la marca del producto, quien se debe hacer responsable luego de terminada la vida útil de su producto. De un tiempo a esta parte, varios países de la OCDE han implementado políticas del tipo REP en base a las experiencias de la Unión Europea o Estados Unidos, donde esta política se extiende hacia algunos productos prioritarios como envases y embalajes, residuos electrónicos, baterías, neumáticos, vehículos fuera de uso, aceites lubricantes, entre otros (OCDE, 2016).

Es así como el concepto REP y su entendimiento recae en diversas líneas de pensamiento que promueven, a su vez, líneas de acción diferentes. Algunos afirman que esta política ayuda a mejorar el panorama del tratamiento de residuos (VROM, 1998), mientras que otros afirman que el concepto tiene un propósito más amplio y lo consideran como una guía de mejora tanto de los productos como de los sistemas que rodean el ciclo de vida de sus industrias (Lifset, 1993) (Shiota, 1999). Otros sugieren que el concepto solo se traduce en la mejora del final del ciclo de vida de un producto (Lindhqvist T. , 2000). No obstante lo anterior, todas las formas en las que se entiende la REP debe traducirse en una mejora dentro del ciclo de vida del producto, que dependerá de la visión tanto de la empresa como de los distintos integrantes de ella. Sin embargo, es importante entender la REP como un principio que promueva la mejora del ciclo de vida en su totalidad, extendiendo la responsabilidad a la

manufactura del producto y especialmente a la recuperación, devolución y disposición final del producto (Chris van Rossem, 2006).

La razón para responsabilizar al productor por sus productos y los impactos medioambientales que tiene a lo largo del ciclo de vida del producto, subyace sin duda y está conectado cercanamente con las experiencias o vivencias de la sociedad con el tratamiento de residuos y las actividades de reciclaje. Así mismo, se ha vuelto increíblemente evidente que para asegurar un buen tratamiento de los productos desechados por nuestra civilización se necesita un cambio, no solo en la forma en que se tratan los distintos tipos de residuos, si no en las características propias de los distintos productos.

Aquellos funcionarios responsables de las instalaciones de tratamiento de residuos constantemente repiten que no pueden ser culpados por todos los impactos medioambientales por el manejo de residuos, ya que no tienen ningún tipo de control sobre la actual causa de los problemas, lo que se traduce en la forma en que los productos son desechados. Así, los productores tienen la única oportunidad y conocimiento de sus productos por lo que en ellos recae esta especial responsabilidad (Lindhqvist T. , 2000).

6.1.1 OBJETIVOS DE LA RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR

La política REP o instrumentos legislativos REP, tiene como principal objetivo el mejorar un panorama más global que otro tipo de políticas medioambientales, la cual se caracteriza por proveer incentivos a los productores para tomar serias consideraciones al momento de diseñar un producto o lanzar un nuevo producto al mercado. Mientras otros instrumentos políticos tienden a focalizarse en un punto singular de la cadena, la política REP busca integrar los esfuerzos y señales relacionadas con las características medioambientales del producto y su ciclo de producción dentro de la cadena del mismo (European Comission-DG Environment, 2014) .

Por otra parte, la política REP buscar transportar los niveles de responsabilidad, tanto físicos, administrativos y económicos, desde los gobiernos, locales o no, hacia aquellas entidades que crean e ingresan a los productos que en el futuro serán algún tipo de residuo. De esta manera, los instrumentos REP siguen entendiendo y basándose en que aquel que contamina debe pagar, sin embargo busca cambiar el foco de quien es el verdadero “contaminador”.

6.1.2 TIPOS DE RESPONSABILIDADES

Los distintos tipos de programas REP presentes en el mundo difieren en la presencia o no de algunos actores y formas de integrar esta política a los sistemas gubernamentales o económicos, mas no los tipos de responsabilidades y actividades que deben cumplirse, los cuales fueron definidos por Thomas Lindhqvist y se repiten casi en su totalidad para los distintos escenarios (Lindhqvist T. , 2000).

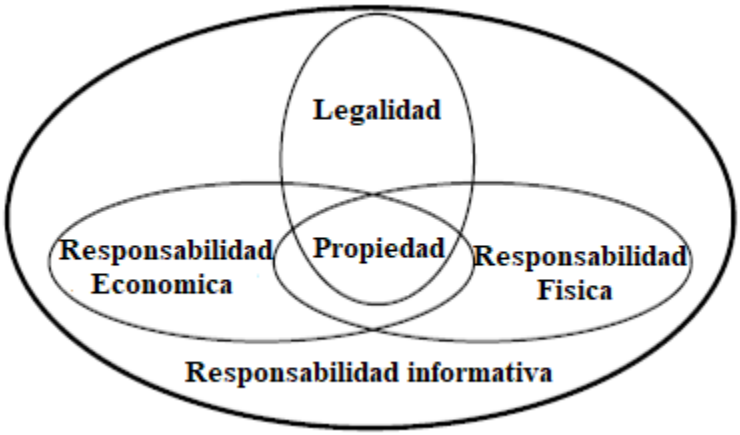

Figura 2. Modelo para la Responsabilidad Extendida del Productor. FUENTE: Lindqvist, 2000.

De esta manera, Lindhqvist define a la política REP como un conjunto de responsabilidades que deben cumplirse y que a final de cuentas se entrelazan para cumplir los objetivos fundamentales de esta política.

Legalidad (*Liability*) se refiere a la responsabilidad por los daños medioambientales provocados por el producto en cuestión. El grado de responsabilidad es determinado según la regulación legislativa bajo la cual se norme el programa REP y debe abarcar diferentes partes del ciclo de vida del producto, incluido el consumo y disposición final del mismo.

Responsabilidad económica (*Economic responsibility*) significa que el productor debe cubrir todos los costos o parte de ellos, en lo referente a la recolección, reciclado o disposición final del producto que se está manufacturando. Estos costos pueden ser pagados directamente por el productor o mediante un impuesto especial.

Responsabilidad física (*Physical responsibility*) es usada para caracterizar los sistemas donde el productor desarrolla el manejo físico de sus productos o sus efectos.

Responsabilidad informativa (*Informative responsibility*) se refiere a la posibilidad de extender la responsabilidad a los productores de informar o proveer de información acerca de las propiedades medioambientales del producto que se encuentra manufacturando.

Finalmente, retener la Propiedad (*Ownership*) sobre sus productos a lo largo de su ciclo de vida, como en un sistema producto-servicio (SPS), es el instrumento más importante para que el producto cumpla con sus responsabilidades, las cuales debe asumir el productor y que prevalecen en la etapa final del ciclo de vida del producto, sin quitarle importancia a aquellas que tienen forma en la etapa inicial o desarrollo del mismo. De esta forma, cuantas más responsabilidades asume el productor dentro de su ciclo de vida o producción, más fuertes son los mecanismos de REP (Lindhqvist, La responsabilidad extendida del productor en el contexto latinoamericano: La gestion de residuos de aparatos electricos y electronicos en Argentina, 2008).

6.1.2.1 ROLES Y RESPONSABILIDADES

Es importante entender, sin embargo, que los roles y las responsabilidades son típicamente asignados a los productores junto con otros actores a lo largo de la cadena de vida del producto mediante instrumentos regulatorios del tipo REP (Hickle, 2014). De esta forma, las distintas partes dentro de un sistema regulatorio del tipo REP pueden tomar ciertas responsabilidades en el ciclo de vida del producto e interactuar para lograr el objetivo principal de este tipo de políticas.

a) Productores

Los productores por una parte, son aquellos encargados con la responsabilidad principal para financiar la recolección, transporte y reciclaje de los productos que son denominados como residuos, una responsabilidad operacional o funcional que se refiere más que nada a las tareas que debe desempeñar este actor. No obstante lo anterior, estas responsabilidades pueden ser completadas por empresas individuales si es que el modelo gubernamental lo permite, pero generalmente son llevadas a cabo a través de la participación en una ORP (*"PRO: Producer Responsability Organization*"), lo que facilita la tarea y puede ayudar a mejorar el rendimiento (Kalimo, 2012).

b) Minoristas y/o distribuidores

Los minoristas o distribuidores de estos productos también toman parte de las responsabilidades dentro de un sistema REP, donde sirven como entidades que recolectan productos que han terminado su vida útil. Esta responsabilidad o deber varía dependiendo del país en el cual se implemente la política REP, aun cuando en algunos países esta acción

es esfuerzo voluntario amparado por iniciativas sustentables por parte de los productores (Dauvergne, 2012).

c) Instituciones legislativas y administrativas

Por otra parte, autoridades legislativas, mediante gobiernos nacionales o locales, son los encargados de fiscalizar y asegurar el cumplimiento de los programas REP, o en caso de ser necesario iniciar acciones de reestructuración o reforzamiento de las políticas (Hickle, 2014). Algunas tareas pueden incluir un registro de los productores participantes de los programas o la revisión de los programas propuesto por una PRO.

En cuanto a las municipalidades, su rol suele ser más directo y generalmente proveen servicios a los privados, dependiendo del marco regulatorio y del producto que se trate. Servicios que abarcan la recolección y reciclaje de los productos en desuso. No obstante lo anterior, en muchos sistemas REP los productores son quienes aportan financieramente estas acciones o delegaciones (OCDE, 2001). Sin embargo, estas atribuciones deben ser reguladas en los mismos programas REP para que las responsabilidades no se entrecrucen y sean claras desde un comienzo.

d) Consumidores

Por último, los consumidores quienes generalmente no se rigen bajo los requerimientos legales en un programa REP, son indispensables para lograr la efectividad del programa pues muchas veces son ellos los que más se acercan y se involucran en la recolección, separación y reutilización de algunos productos. Sin embargo, la responsabilidad de este actor se supedita a las relaciones institucionales que existan con los otros actores para poder interferir en el programa REP. Así, las responsabilidades se comparten no completa sino parcialmente.

6.2 INSTRUMENTOS POLÍTICOS

El concepto REP se introduce en la mayoría de los sistemas administrativos y jurisdiccionales del mundo como una normativa legislativa que adosa a los participantes del sistema actual a la responsabilidad de sus productos una vez que terminan su ciclo o se transforman en residuos (OCDE, 2001). No obstante lo anterior, es imperante para los sistemas políticos poder ayudar o encaminar a los productores a cumplir este objetivo, por lo cual existen distintas herramientas o instrumentos políticos para lograrlo. El principio REP se puede implementar o apoyar con instrumentos del tipo administrativo, económicos, informativos y regulatorios (European Comission- DG Environment, 2014). Cada una de

estas herramientas tiene distintos enfoques y aplican de distinta manera en la cadena del ciclo de vida del producto.

6.2.1 HERRAMIENTAS ADMINISTRATIVAS

Este tipo de instrumentos involucran la asignación de la responsabilidad a los productores o distribuidores del manejo de productos que hayan finalizado su ciclo de vida. Generalmente se implementan objetivos (obligatorios o voluntarios) para la recolección de un tipo de producto o material. Otro enfoque es un incentivo por parte de los productores a los consumidores de devolver el producto en el punto de compra. Este tipo de herramientas es una de las más usadas en los sistemas REP, pues es la que mejor efectividad tiene en el mercado.

Dentro de este tipo de herramientas se concentran restricciones de sustancias y rellenos, estándares para productos nuevos y existentes, objetivos de reutilización y reciclaje. Sin embargo, el concepto *Product Take-back* es el más utilizado a nivel mundial con cerca de un 70% de participación en todos los programas REP activos (OCDE, 2016). Este concepto nace en 1991 en una ordenanza gubernamental de los envases y embalajes en Alemania, concepto que se está aplicando a una gran gama de productos actualmente. Finalmente, esta política acerca los requerimientos legales hacia acuerdos industriales/gubernamentales, lo que se traduce en programas totalmente voluntarios por parte de las industrias.

6.2.2 HERRAMIENTAS ECONÓMICAS

Los instrumentos económicos también son utilizados para lograr los objetivos de los programas REP, los cuales proveen un incentivo financiero directo a los actores para implementar un programa del tipo REP (OCDE, 2001). Ejemplos de estas herramientas que conviven para cumplir los objetivos de un programa REP son los sistemas deposito reembolso, cuotas específicas para productos por adelantado y combinaciones impuesto-subsidio.

a) Sistemas deposito-reembolso

En los sistemas de depósito-reembolso se realiza un pago cuando se compra por primera vez el producto, el cual es reembolsado una vez el producto es devuelto a una instalación especializada. Esta estrategia es altamente utilizada para aquellos productos que entran en la categoría de contenedores o envases, donde la tasa de retorno de estos envases va desde un 40% hasta un 90%, dependiendo del material y del tipo de producto.

b) Cuotas adelantadas por producto (*advance disposal fee*)

Por otra parte, las cuotas por producto (*ADF: Advance disposal fee*) son dirigidas a ciertos productos o grupos de productos, basada en los costos de tratamiento y recolección de estos productos. Esta cuota se paga en el lugar de venta del producto y quienes la recolectan son los minoristas o distribuidores. En cierto sentido las ADF son similares a los sistemas deposito-reembolso pues parte del dinero que se recoleta puede ser devuelto a los consumidores, una vez que el producto sea rediseñado y sus costos por recolección y tratamiento disminuyan.

c) Combinación impuesto-subsidio

Algunos programas utilizan una combinación impuesto-subsidio (*UCTS: Upstream combination tax/subsidy*) donde los productores pagan un impuesto el cual es utilizado para subsidiar el tratamiento de residuos. Esto sirve como incentivo a los productores para financiar mecanismos que incluyan el reciclaje y reutilización.

6.2.3 REGULACIONES Y ESTÁNDARES

Esta herramienta funciona como una regulación de los productos que ya existen en el mercado, mejorando e imponiendo estándares que dictaminen, por ejemplo, una composición fija que sea producto del reciclaje. Plantear políticas que tengan como objetivo regular el contenido mínimo de materiales reciclados dentro de la composición de un producto también influye y encamina a que políticas como el *take-back* comiencen a tomar efecto.

La implementación de estándares o regulaciones progresivas junto con el uso de un impuesto puede mejorar el potencial de innovación para los productos nuevos y existentes. Es común encontrar programas voluntarios por parte de sectores industriales como aluminios, plásticos y papeles, así mismo alianzas entre el gobierno y productores se forman para incentivar esta herramienta (Kemp, 1991).

6.2.4 HERRAMIENTAS INFORMATIVAS

Estas políticas contribuyen de una manera indirecta a la implementación y buen funcionamiento de los programas tipo REP ya que influyen en la conciencia de las personas y el mundo público. Las medidas tomadas en este tipo de herramientas contemplan información de los requerimientos legales del programa REP, composición y componentes de los distintos productos, información de los distintos sistemas REP y del tratamiento de residuos. Este tipo de herramientas engloba a todos los actores presentes en un programa del tipo REP y envuelve todas las etapas del ciclo de uno o más productos.

6.3 PRINCIPALES TENDENCIAS

6.3.1 PANORAMA HISTÓRICO Y ACTUAL

Desde el año 1990 aproximadamente, la mayoría de los sistemas REP se establecieron en Estados Unidos y en la Unión Europea, tanto a niveles nacionales como regionales y respondiendo a requerimientos legislativos u obligaciones a través de organismos regulatorios. Los sistemas REP implementados a esta fecha manejan una batería variada de productos y emplean distintos tipos de instrumentos políticos para mejorar su desempeño. Así mismo, los gobiernos han contribuido en la evolución de estos sistemas e intentan siempre reflejar los distintos contextos donde los sistemas REP son implementados, junto con integrar los objetivos específicos de estas políticas.

La evaluación del desempeño de los sistemas REP esta eclipsado por la falta de datos comparables, dificultades metodológicas en la distinción de los impactos de los sistemas REP de otros factores y la amplia gama de sistemas REP presentes a nivel mundial (OCDE, 2016). Sin embargo, existe evidencia acerca de que los sistemas REP han ayudado a disminuir el volumen de residuos que son destinados a disposición final, es decir, su paradero son principalmente rellenos sanitarios o vertederos. Así mismo los sistemas REP han contribuido a aumentar las tasas de reciclaje lo que tiene como resultado el alivio del presupuesto público principalmente.

Desde que el concepto REP fue definido por Thomas Lindhqvist, las políticas o programas han aumentado de manera exponencial, sobre todo a partir de 2001 pues más del 70% de los programas existentes en el mundo fueron implementados a partir de esta fecha (OCDE, 2015). Actualmente existen cerca de 400 políticas tipo REP a nivel mundial, de las cuales el 11% ha sido implementado en los últimos 4 años, como puede observarse en la Figura 3.

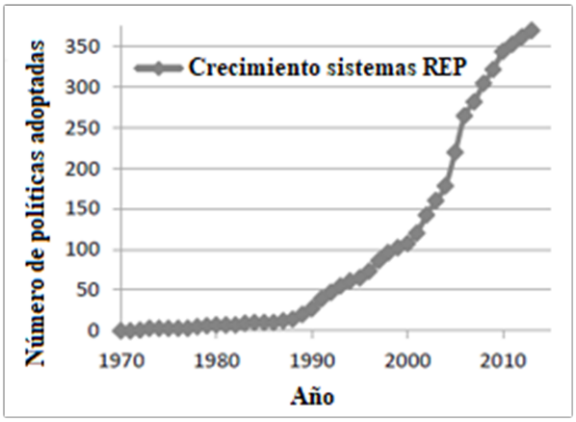

Figura 3. Crecimiento de los programas tipo REP en los últimos 40 años. Fuente: Adaptado de OCDE, 2015.

En base a lo mostrado en la Figura 3, separando el crecimiento de estos sistemas por década, se puede apreciar el efecto que han tenido de acuerdo a la década que se hable, de esta manera, el 5% de los programas fueron implementados antes de 1990, 22% del total de ellos fueron instituidos entre 1990 y 1999, 59% entre 2000 y 2009, y 13% desde el 2010 a la fecha. El crecimiento en los últimos 15 años de este tipo de programas es muy relevante y se puede identificar una preocupación en la implementación de estas políticas.

Las herramientas utilizadas para implementar estos programas son generalmente las mismas para los distintos países pertenecientes a la OCDE y de acuerdo a este bloque político y su bibliografía, se puede visualizar en la Figura 4, que en la última década las políticas *take-back* toman relevancia como la herramienta más utilizada (72%), junto con las herramientas económicas o basadas en el mercado, las cuales se llevan el segundo lugar (27%). De estas últimas herramientas, la más usada corresponde a las *ADF* con el 16%, mientras que el 11% corresponde a instrumentos del tipo *deposit/refund*, siendo estas últimas principalmente concentradas en los envases de bebestibles usados y el mercado de las baterías luego de su uso. Otros instrumentos políticos para fortalecer e implementar los sistemas REP son raramente utilizados.

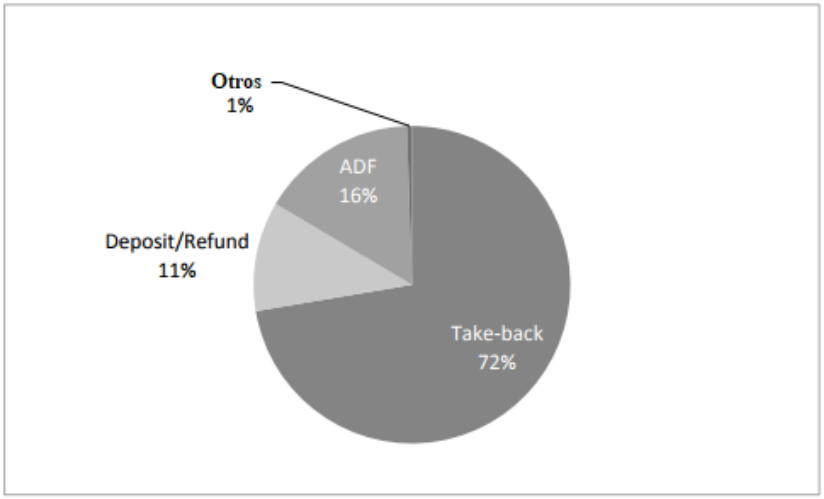

Figura 4. Herramientas utilizadas en los sistemas REP. Fuente: (OCDE, 2015)

La distribución de los sistemas REP en el mundo se visualiza en la Figura 5, la distribución está ligada al origen de la intelectualidad del concepto, es decir, principalmente Norte América y Europa. De esta manera, el 90% de los sistemas REP se encuentran implementados entre Norte América y Europa, mientras que Asia, Latinoamérica y Oceanía forman parte del 10% restante. Los sistemas implementados en Estados Unidos se inclinan levemente a la utilización de herramientas del tipo *deposit/refund* y *ADF*, en contraposición con lo que se encuentra a nivel mundial donde estas herramientas forman parte del 16% de las políticas utilizadas (OCDE, 2016).

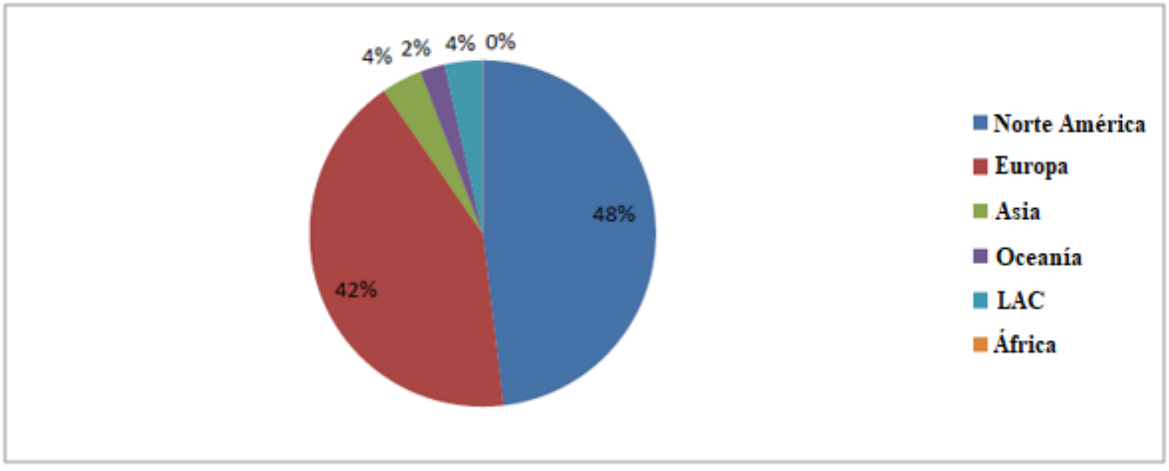

Figura 5. Distribución regional de sistemas REP en el mundo. Fuente: (OCDE, 2016)

Estos programas generalmente cubren una batería de productos similares y comunes a lo largo del mundo, diferenciándose en algunos productos que dependiendo del contexto gubernamental y situacional tienen diferente hegemonía. En los sistemas implementados en la Unión Europea, el 34% cubre los residuos electrónicos y eléctricos, 18% para envases y embalajes, 14% neumáticos y 20% vehículos en desuso y baterías. Por otra parte, en Estados Unidos, el 50% de las políticas cubren aparatos electrónicos, 8% envases y embalajes, 24% neumáticos y 20% vehículos/baterías de automóviles.

Algunos autores han estudiado como entienden y reciben las partes interesadas al concepto REP, lo que se ha plasmado en lo que piensan acerca de las metas que los programas REP debieran tener. La visión que tienen acerca de esto se reduce a tres principales objetivos: incremento de la posibilidad de reciclaje de un producto, reducción del impacto medioambiental de un producto y promoción del reciclaje o recuperación.

6.3.2 TENDENCIAS LEGALES Y ADMINISTRATIVAS DE LOS SISTEMAS REP

Los casos de mayor relevancia a estudiar son aquellos que mayor tiempo llevan implementados a lo largo de los años, según esto y el origen del concepto Responsabilidad Extendida del Productor, Norte América y la Unión Europea asoman como aquellos que mayor trayectoria tienen y por lo tanto sus políticas son más evolucionadas y han sido sometidas a distintos cambios.

a) Unión Europea

Todos los miembros de la Unión Europea han implementado sistemas REP para aquellos productos prioritarios establecidos según las directivas del conglomerado político-económico. De esta forma, de un tiempo a esta parte se han definido como líneas de residuos los envases y embalajes, baterías, vehículos que estén terminando su ciclo de vida y aparatos eléctricos y electrónicos en desuso (OCDE, 2016). La Unión Europea ha definido el marco legislativo respecto del manejo de estos residuos, sin embargo son los distintos gobiernos nacionales los que especifican los aspectos operacionales de los sistemas REP. Por lo anterior, a través de los miembros de la UE se han implementado sistemas con grandes diferencias y de manera heterogénea. Estos sistemas en su mayoría son obligatorios y los productores se organizan a través de una PRO (*Producer Responsability Organization*) para gestionar la recolección y manejo de sus residuos (European Environment Agency, 2014).

b) Norteamérica

En Norteamérica, a diferencia de la Unión Europea, los sistemas son generalmente voluntarios y organizados mediante sistemas *take-back* por los conjuntos de productores. Sin

embargo, de acuerdo con la gobernabilidad de los países (EEUU y Canadá) se gestan a un nivel sub-nacional. En Estados Unidos no existen leyes que regulen la REP, sin embargo a nivel estatal han desarrollado sus propias políticas, reflejando las condiciones locales y el dinamismo heterogéneo que se visualiza en cada estado. Desde 1990 hasta 2011, a nivel estatal se han promulgado más de 70 leyes tipo REP donde se requiere a los productores implementar programas REP, sin embargo sin objetivos específicos de reciclaje (Hickle, 2014). Estas políticas refuerzan el actual rol de las municipalidades o gobiernos locales en las tareas de recolección y servicios de reciclajes, las que luego realizan énfasis en la desviación de materiales reciclables desde los rellenos sanitarios (Vergara, 2012). Por otra parte, Canadá muestra un plan de acción más integrado que armoniza las responsabilidades muchas veces descargándolas colectivamente con los gobiernos locales.

c) Asia

En Asia el panorama es distinto ya que hay diferencias sustanciales entre los países pertenecientes a la OCDE y aquellos que no lo son. De esta manera, los países que pertenecen a la coalición por el desarrollo económico tienen sistemas REP basados en fundamentos legales, apoyados por un monitoreo robusto y mejoras continuas, lo cual es el caso de Corea y Japón. No obstante lo anterior, existen algunos países de este continente que han comenzado a desarrollar programas REP, aun cuando no están desarrollados completamente tienen cierto nivel operacional. En este bloque económico y político, los residuos eléctricos y electrónicos tienen protagonismo frente a los otros productos prioritarios, lo que se condice con el comportamiento de potencias como China donde los programas REP han mostrado sus primeros resultados (OCDE, 2016).

d) África

En África las políticas de manejo de residuos se encuentran en un nivel menos desarrollado. Sin embargo, los residuos eléctricos y electrónicos han tenido una reciente preocupación a lo largo de todo el continente. Esta preocupación y el posterior actuar ha sido motivado principalmente por las distintas industrias, mientras el gobierno promulga regulaciones para reforzar algunas de estas iniciativas.

e) Latinoamérica y el Caribe

En Latinoamérica y el Caribe (LAC), varios países han comenzado a avanzar en políticas o programas del tipo REP generalmente mediante el sistema legislativo, pero también a través de la voluntariedad de programas. En este sentido, México, Brasil, Argentina y Colombia tienen programas REP principalmente para residuos eléctricos y electrónicos

potencialmente dañinos para el medioambiente. Colombia fue uno de los pioneros de este bloque político en instaurar programas REP y actualmente se encuentra mejorando los esquemas de productos específicos como refrigeradores y electrodomésticos (Residuos Profesional, 2016). Argentina es otro ejemplo de los países que están teniendo este tipo de programas en la región, así mediante iniciativas gubernamentales actualmente existe un proyecto para ampliar los programas REP a los artículos eléctricos y electrónicos a fin de cumplir los objetivos de gestión de residuos definidos por el MERCOSUR (Lindhqvist, La responsabilidad extendida del productor en el contexto latinoamericano, 2008). Por otra parte, Chile durante el año 2015 tramitó la "Ley de Reciclaje" en la cámara de diputados y posteriormente en el senado, lo que concluyó en la promulgación de la misma durante el año 2016 (Junio de 2016), la ley 20920 lleva una año vigente y es el primer alcance que tiene nuestro país a promover programas del tipo REP. La ley cubre una batería de 6 productos principales: aceites lubricantes, envases y embalajes, pilas, neumáticos, baterías y aparatos eléctricos y electrónicos. Actualmente se encuentran desarrollando los distintos reglamentos que dictaminen la creación de decretos supremos para establecer claramente las metas y especificidades de la ley.

6.4 IMPLEMENTACIÓN Y DESEMPEÑO DE LA REP EN LA UNIÓN EUROPEA

Hace más de 20 años que el concepto REP fue definido por Thomas Lindhqvist en el contexto europeo y por lo tanto ha sido estudiado, implementado y mejorado durante este tiempo. Lo anterior ha permitido que la implementación de este principio se realice a través de una variada gama de esquemas tipo REP junto con diversas organizaciones PRO.

A mediados de 1990 el concepto REP fue incluido dentro de las distintas instancias donde se estudió el manejo de residuos, conferencias de la Unión Europea, charlas a nivel universitario e industrial, gobiernos locales y nacionales, entre otros. Es así como se trabaja en el desarrollo de este concepto y lo que engloba, para que en 2008 se publique el *Waste Framework Directive*, documento que sienta las bases y establece el marco legislativo para la manipulación de residuos en la comunidad, definiendo claramente conceptos claves y determinando las obligaciones por parte de cada estado a regular dentro de sus gobiernos (Union Europea, 2008).

De acuerdo a estas directivas, se han establecido entonces cuatro productos prioritarios que serán parte del objetivo fundamental de la Unión Europea. Estos equivalen a: envases y embalajes, baterías, vehículos fuera de uso y aparatos eléctricos y electrónicos. Sin duda estas cuatro categorías son las más relevantes a nivel global por el alto impacto que existen en los miembros de la unión europea, mas es importante recalcar que las políticas REP varían de acuerdo a las características políticas, económicas y geográficas de cada país,

por lo que los productos a los que se extienden comúnmente en la Unión Europea estos programas REP son los neumáticos, papeles gráficos, aceites lubricantes, residuos médicos y plásticos agrícolas (European Comission- DG Environment, 2014).

Actualmente todos los países miembros de la Unión Europea tienen políticas implementadas del tipo REP algunos con una mayor cobertura de productos y generalmente operando bajo un marco legal estricto y robusto, esto debido principalmente al tiempo que llevan estas políticas en desarrollo. De esta manera, los 28 miembros de la Unión Europea al menos tienen políticas REP para los productos prioritarios definido anteriormente, donde se utilizan sistemas de organización individuales o colectivos.

A continuación se ilustrará el desempeño que han tenido los programas REP en los distintos países de la Unión Europea para los 6 productos prioritarios más comunes dentro de estos sistemas (baterías, vehículos fuera de uso, papeles gráficos, aceites lubricantes, envases y embalajes y residuos eléctricos y electrónicos).

6.4.1 BATERÍAS

Los primeros esquemas REP que incluían baterías comenzaron a tomar fuerza a principios de 1990, donde países como Bélgica o Austria fueron los pioneros en implementar políticas y metas de valorización. Otros países como Alemania, España y Francia implementaron sus sistemas a finales de 1990, sin embargo la mayoría de los sistemas REP fueron implementados en los 2000. Esto es por la diferencia contextual que existe entre los países miembros de la Unión Europea. La recolección de las baterías en desuso en este contexto heterogéneo se muestra en la Figura 6.

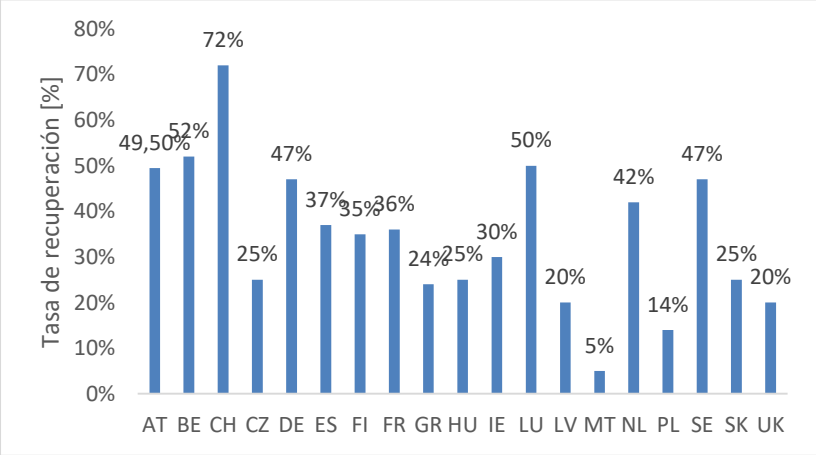

Figura 6. Tasas de recolección de baterías en desuso por país en la Unión Europea mediante programas REP. Clave de países presentes en *Apéndice 10.1*. Fuente: Adaptado de OCDE, 2016.

El comportamiento de este residuo en la Unión Europea se condice con el contexto que existe en cada país, pues en algunos países el recambio de baterías se efectúa con mayor frecuencia dada la presencia de automóviles o vehículos. Por otra parte, la demografía de los países influye en estas cifras. Así mismo, se puede visualizar que en general el nivel de recolección de baterías promedio asciende sobre el 30%.

La diferencia entre las cifras de recolección de estos residuos radica en el desarrollo que exista en cada país respecto de los programas REP, variando por ejemplo la cantidad de *PRO (Producer Responsibility Organization)* que existen para lograr las metas de estos programas y por ende la capacidad de abarcar todo el mercado de baterías en los distintos países. Austria por ejemplo, presenta 4 organizaciones tipo *PRO* que operan paralelamente, a diferencia de Bélgica donde solo existe una.

Por otra parte, la vigilancia, auditoria y fiscalización de los sistemas de recolección y reutilización se realizan por varias entidades, dependiendo de la organización. Austria realiza las fiscalizaciones por parte de las autoridades federales, mientras que Bélgica lo delega hacia los gobiernos locales.

El desempeño de los sistemas con mayores tasas de recuperación de residuos de baterías es comparado en la sección *Apéndice* con mayor detalle en base a lo establecido por la OCDE.

6.4.2 VEHÍCULOS FUERA DE USO (VFU)

Los primeros esquemas REP que tomaron en cuenta la recolección de VFU fueron alrededor de 1975 en Suecia. En los tempranos 1990 países como Holanda, Alemania y Bélgica comenzaron a incluir políticas dentro de sus gobiernos, sin embargo fue a mediados de los 2000 cuando se pusieron en marcha la mayoría de estos programas. Lo anterior también da cuenta de la evolución de los parques automotrices de las distintas ciudades y países en la Unión Europea.

Las tasas de recolección de vehículos fuera de uso generalmente se condicen con la reutilización y reciclaje de los mismos, siendo la reutilización de este recurso el más utilizado actualmente. De acuerdo con esto en la Figura 7 se presentan las cifras para los distintos países de la Unión Europea.

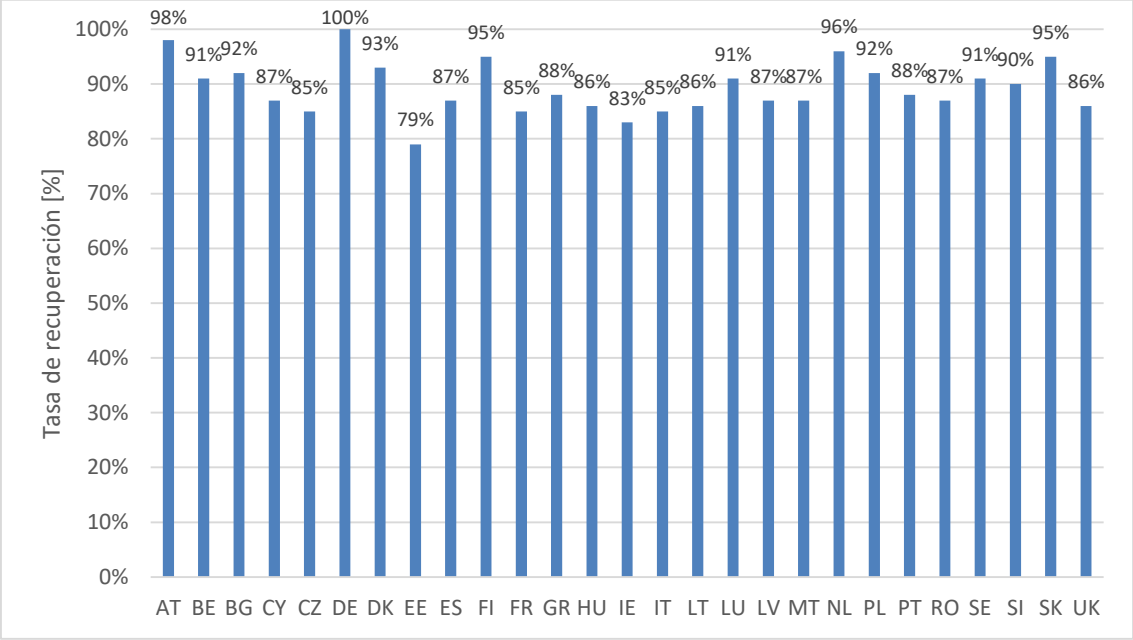

Figura 7. Tasas de recolección, reutilización y reciclaje de VFU en los distintos países de la Unión Europea por sistemas REP. (Clave de países presentes en *Apéndice 10.1)*. Fuente: Adaptado de OCDE, 2016.

Es posible observar que las tasas de recolección en general son bastante elevadas, alcanzando un promedio equivalente al 89%, esto es concordante con el contexto actual de los países con mayor desarrollo como lo es el caso de Europa, donde la mayoría de los automóviles son renovados por los consumidores mientras los antiguos elementos son reutilizados por otras compañías, particulares o instituciones (European Comission- DG Environment, 2014).

6.4.3 ACEITES LUBRICANTES

Los aceites lubricantes usados representan actualmente la mayor cantidad de líquidos no acuosos con características de residuos peligrosos en el mundo (GEIR Groupement Eropéen de l'Industrie de la Régénération, 2015). La industria europea de re-refinado de aceites lubricantes representa sin embargo una fuente importante de suministro de aceites bases en Europa, lo que se sustenta con la alta demanda que existe por parte de los países miembros de la Unión Europea.

Los primeros esquemas de recolección basados en la REP fueron implementados en Italia durante el año 1982, aquejados por el alto descarte de aceites usados en la industria. Los otros programas implementados en la Unión Europea fueron puestos en marcha entre

1998 y 2006, siendo Holanda el segundo país en establecer una política REP de este producto (European Comission- DG Environment, 2014).

Actualmente algunos miembros de la Unión Europea tienen en sus políticas públicas implementados programas tipo REP que instan a la recolección, reutilización y reciclaje de aceites lubricantes. Sin embargo aún queda camino por recorrer cuando son pocos los países que han implementado esta política. Estos programas han permitido alcanzar cifras de recolección de hasta un 61% del total de productos comercializados, lo cual es un gran avance en base a las cantidades de residuos generados. En la Figura 8 se muestran las tasas de recolección de aceites en algunos países de la Unión Europea:

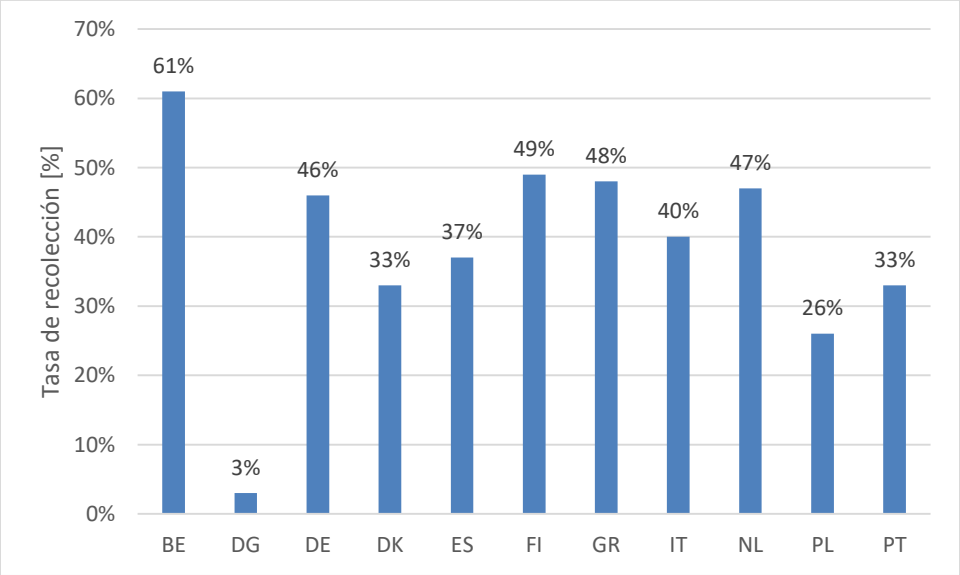

Figura 8. Tasas de recolección de aceites lubricantes usados en algunos países de la Unión Europea. (Clave de países presentes en *Apéndice 10.1)*. Fuente: Adaptado de OCDE, 2016.

La GEIR (Asociación Europea de Industrias Refinadoras de Aceites Lubricantes Usados) representa a la mayoría de compañías dedicadas a la refinación de aceites lubricantes usados y a establecido ciertos objetivos en base al marco legal que la Unión Europea dictamino el 2008 con el *Waste Framework Directive 2008/98/EC.* En base a esto, la recolección de aceite lubricantes en Europa sigue por debajo del objetivo que se ha planteado hacia 2020 donde los miembros deben asegurar al menos un 60% de recolección, cifra que hasta el 2016 solo ha sido alcanzada por Bélgica (GEIR Groupement Eropéen de l'Industrie de la Régénération, 2015).

Por otra parte, las tasas de reutilización o regeneración de estos aceites también son fundamentales en el manejo de este producto. En base a esto, las políticas o programas REP

han contribuido a elevar estas tasas de reutilización en algunos países hasta el 90-94%. Esto se visualiza en la Figura 9.

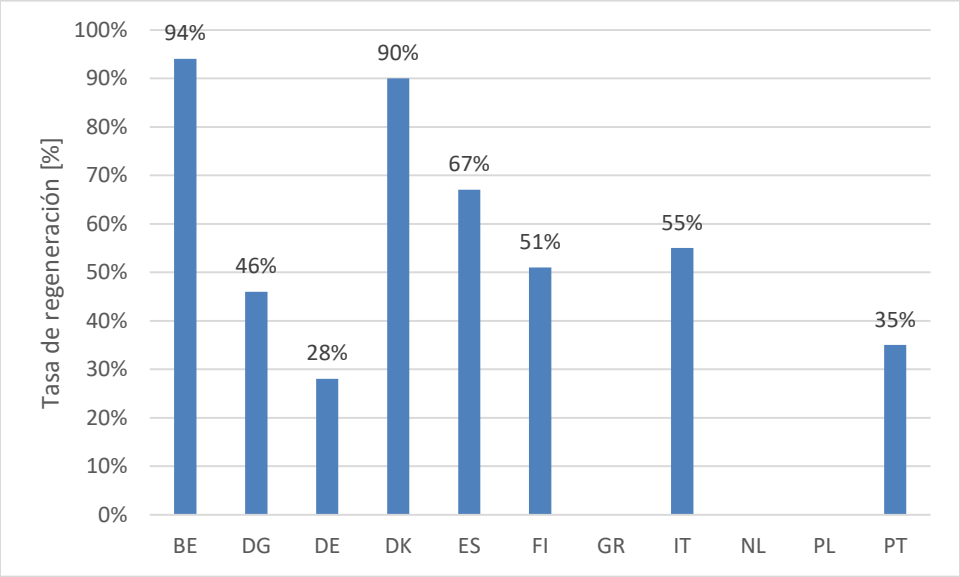

Figura 9. Tasas de regeneración o refinación de los aceites lubricantes usados recolectados en algunos países de la Unión Europea. (Clave de países presentes en *Apéndice 10.1)*. Fuente: Adaptado de OCDE, 2016.

Al igual que con la recolección, la GEIR ha establecido ciertos objetivos a cumplir en un corto plazo, estableciendo una meta de 85% de regeneración de aceites lubricantes usados a aceites bases, lo cual hasta la fecha ha sido alcanzado por dos miembros de la Unión Europea.

6.4.4 ENVASES Y EMBALAJES

Los residuos generados por el conjunto envases y embalajes se han convertido en uno de los principales problemas para varios países. El sector envases y embalajes forma parte importante de los residuos sólidos municipales actualmente, bordeando los valores del 15 al 20%, cifra que se encuentra en constante aumento (Tencati, 2016). De esta manera, durante el 2011 por ejemplo, el ciudadano promedio de la UE-28[1] generó $159{,}4\ kg$ de residuos provenientes del sector envases y embalajes, lo que ese año formó parte del 31% de los residuos sólidos municipales (RSM) (European Environment Agency, 2014).

[1] EU-28: 28 miembros de la Unión Europea actuales.

No obstante lo anterior, varios países de la Unión Europea tienen elevados índices de recuperación y reutilización de estos residuos, alcanzando valores sobre el 100% de las capacidades comercializadas en el país. Estas tasas se muestran en la Figura 10.

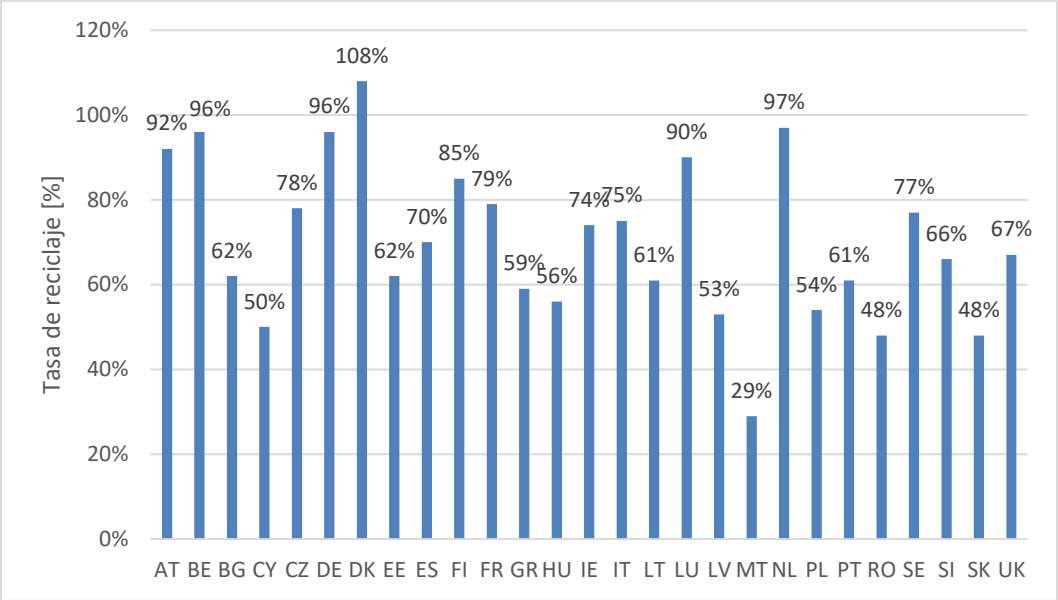

Figura 10. Índices de recolección, reutilización y reciclaje de envases y embalajes en los países de la Unión Europea. (Clave de países en sección *Apéndice 10.1)*. Fuente: Adaptado de OCDE, 2016.

Las diferencias que existen entre países como Rumania y Dinamarca (48% y 108% respectivamente) se establecen por la autonomía que tienen los distintos miembros de la Unión Europea al momento de desarrollar su propio modelo regulatorio y establecer las directivas necesarias para cumplir las metas u objetivos que se determinan como bloque geo-político (European Parliament and the Council, 2008).

6.4.5 RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)

Los aparatos tecnológicos han tenido un consumo con comportamiento exponencial durante los últimos 15 años, por lo tanto los residuos generados han aumentado enormemente. Así mismo, la complejidad de cada producto de esta categoría es elevada, por lo que reciclaje o reutilización es un desafío. En base a esto, los RAEE han sido una de las principales corrientes de residuos en las que los programas REP se han implementado en una gran escala (Widmer, 2005).

La mayoría de los esquemas REP que incluyen a los RAEE fueron implementados durante los años 2000, acorde con el incremento del mercado eléctrico y electrónico. Estos programas siguieron la línea de las directrices planteadas por la Unión Europea en 2002 en

la *WEEE Directive*[2]. Estas directivas han permitido que la recolección de los RAEE tenga el panorama que se visualiza en la Figura 11:

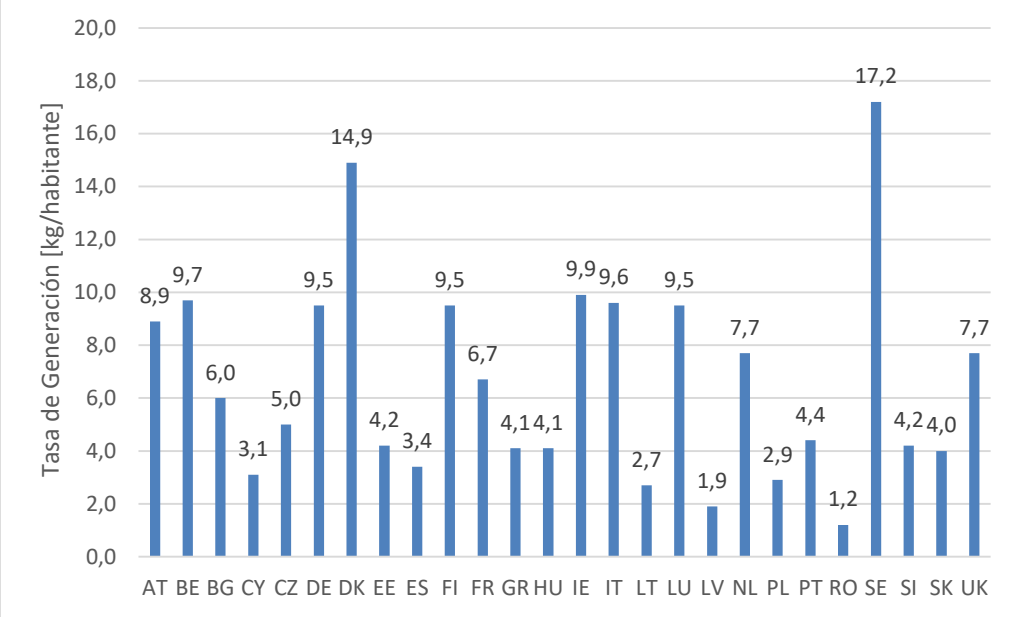

Figura 11. Generación de RAEE en los países de la UE mostrado en base a kg/habitante. (Clave de países en sección *Apéndice 10.1)*. Fuente: Adaptado de OCDE, 2016.

Los residuos recolectados son a su vez reutilizados o reciclados según los programas REP que existan en los miembros de la Unión Europea. Es común que algunos de ellos exporten sus residuos para que otros países los traten. Así, las cifras de reutilización y reciclaje se muestran en la Figura 12.

[2] Informe de la Unión Europea que establece las metas y responsabilidades de los generadores y consumidores de aparatos eléctricos y electrónicos. Se condice con lo establecido en *Waste Framework Directive 2008/98/EC.*

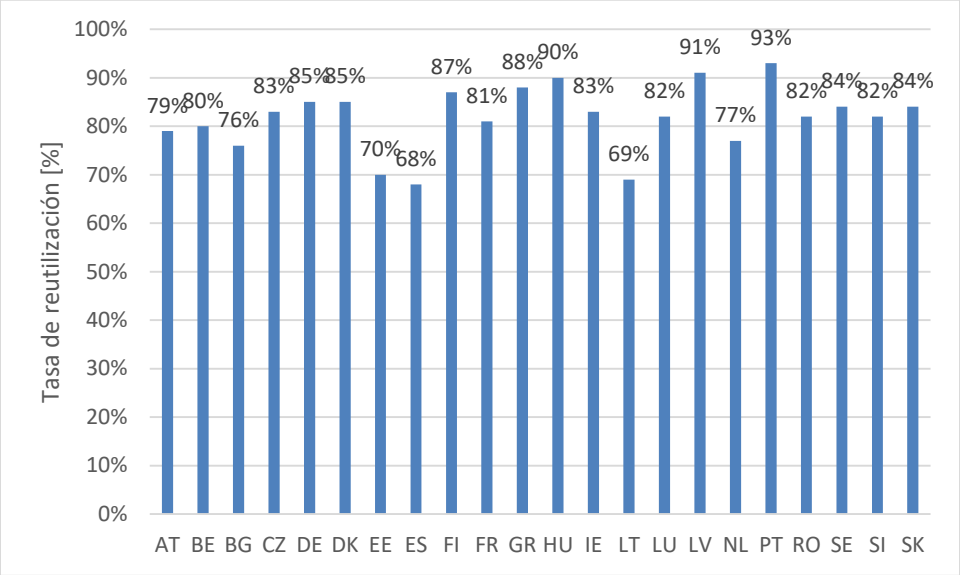

Figura 12. Reutilización y reciclaje de RAEE en la Unión Europea. (Clave de países presentes en *Apéndice 10.1)*. Fuente: Adaptado de OCDE, 2016.

6.5 CONTEXTO LATINOAMERICANO EN TORNO A LA REP

El desarrollo industrial y económico de las grandes potencias como la Unión Europea o Estados Unidos ha permitido que el concepto REP sea introducido a los sistemas gubernamentales y productivos hace ya más de 15 años, mientras que hace 15 años en América Latina y el Caribe las políticas de reciclaje y el concepto REP no se encontraba bajo el radar de las distintas entidades, relacionadas con el cuidado del medio ambiente. Este comportamiento se está visualizando actualmente en Latinoamérica y el Caribe, pues los índices de desarrollo económico según la OCDE han ascendido durante los últimos años y de acuerdo con esto el ingreso promedio por persona en los países de Latinoamérica ha aumentado. Lo anterior se puede visualizar en la Figura 13.

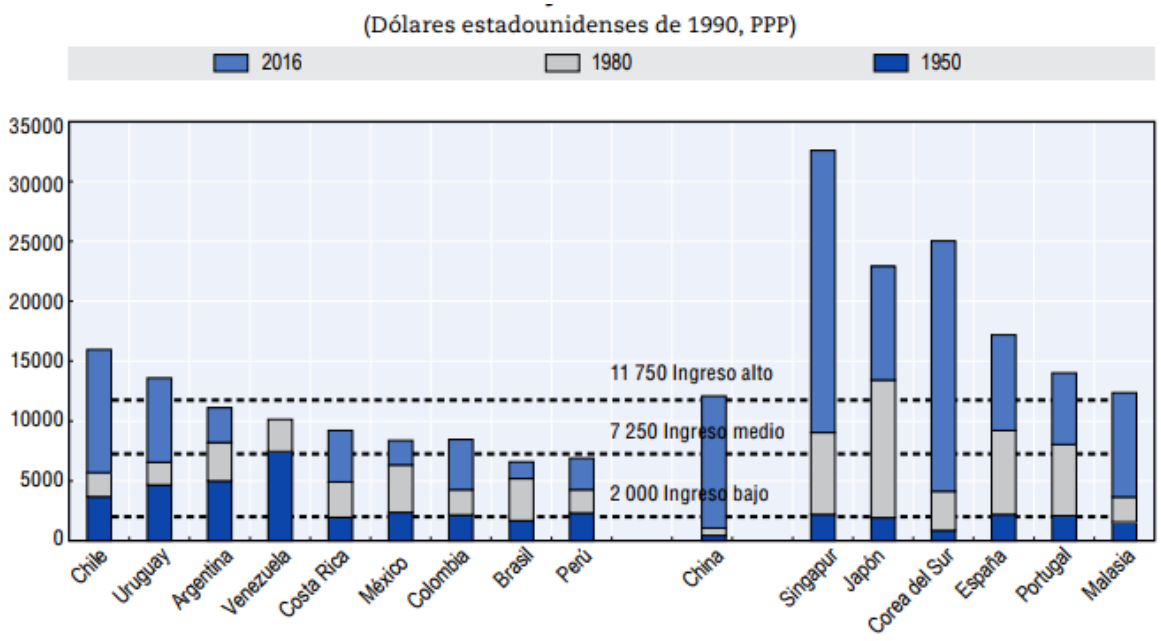

Figura 13. Producto Interno Bruto Per cápita en economías seleccionadas de Latinoamérica, Asia y de la OCDE. Fuente: (OCDE/CEPAL/CAF, 2016)

Por otra parte, la proyección de la economía en el sistema actual que existe en la mayoría de los países de Latinoamérica, se condice con la generación de residuos de todo tipo, por tanto genera preocupación en los gobiernos para frenar esta generación masiva de residuos (industriales y domiciliarios). Es usual que los países que más ingresos promedios tienen por habitante utilicen mayor parte de la renta anual en el consumo de productos y por tanto la generación de residuos tiene un comportamiento directo con el ingreso de renta de los distintos países. Esto puede visualizarse en la siguiente Tabla 1, donde los países con mayores ingresos per cápita poseen una tasa de generación de residuos (en este caso envases y embalajes) mayor que aquellos en que su ingreso es menor:

Tabla 1. Relación entre PIB y consumo de envases en algunos países del mundo. Fuente: (MMA, 2010)

País	PIB per cápita (USD/habitante-año)	Consumo per cápita de envases (kg/habitante-año)
Estados Unidos	46.300	346
Reino Unido	35.500	304
Alemania	34.200	256
Chile	14.000	109
Perú	7.300	33

Este comportamiento, que en bloques económicos como la Unión Europea o Estados unidos ya tuvo lugar hace 15 o 20 años atrás, por lo que generalmente los procesos de generación de políticas que impulsan los procesos de reciclajes y los proyectos a nivel industrial que involucran el reciclaje son similares. Los gobiernos o entidades encargadas visualizan el problema una vez que el daño ya tiene un avance significativo e intentan remediar lo ocurrido, implantando medidas, normativas y programas que aseguren o trabajen con ese objetivo en común. Sin embargo, el análisis que debe realizarse esta en preguntarse si realmente estos cambios vienen en buen momento o es un poco tarde, pues aun cuando hace 20 años atrás los conceptos que engloban la generación de residuos y sus responsabilidades fueron expuestas en la Unión Europea, el bloque político-administrativo latinoamericano no ha sido capaz de utilizar el conocimiento técnico y administrativo generado a partir de ese momento para prevenir lo que ocurrió en las economías más desarrolladas y que está teniendo lugar a nivel local actualmente.

Sin embargo, los gobiernos locales han incurrido en una serie de proyectos y tendencias que impulsan el buen manejo de residuos y su generación, comenzando hace un tiempo a ingresar con fuerza el concepto de la REP. Estos avances han impulsado un cierto nivel de conciencia tanto en productores como consumidores y de un tiempo a esta parte toma mayor relevancia por el componente legislativo que poseen estos proyectos. Es así como a nivel local países como Brasil y Colombia han sido pioneros en implementar políticas REP para algunas corrientes de productos, sin embargo esto ha ocurrido de una manera voluntaria y como acuerdo, mas no como un requerimiento legal y/o obligación constitucional. No obstante lo anterior, estos programas voluntarios formados por grupos de empresas han tenido efectos positivos y de alguna u otra manera han disminuido la tasa de generación de residuos o la tasa de disposición final de estos en vertederos o rellenos sanitarios.

Colombia es uno de los actores más avanzado respecto de las políticas REP, pues ya tiene programas implementados y funcionando para 5 categorías de productos, los cuales corresponden a: Aparatos eléctricos y electrónicos, Medicamentos, Pilas y baterías, Neumáticos y Plaguicidas. En general estos programas o políticas REP son protagonizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) (Residuos Profesional, 2016), con un carácter voluntario en lo financiero por parte de los privados. Brasil, en cambio, es un país que también ha gestionado la implementación del concepto REP para algunos productos. Menor masificación se ha producido en Colombia pero, aun así, posee programas funcionando en cadenas de productos como lo son los envases y embalajes y los neumáticos.

Argentina, por su parte, también posee políticas de reutilización y receptación de residuos en sus gobiernos nacionales y locales. De esta manera, de un tiempo a esta parte uno de los principales avances que ha tenido la REP en el contexto argentino equivale a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), esto por el incremento potencial que ha tenido la tecnología en el contexto nacional y los avances técnicos de todos los sistemas.

7. DESARROLLO

7.1 PANORAMA NACIONAL EN TORNO A LA REP

El panorama respecto de la gestión y generación de residuos en Chile, tiene mucho que ver con la realidad latinoamericana, hace ya unos años, Chile viene tratando de impulsar el reciclaje, de manera que durante el camino se han sumado iniciativas tanto públicas como privadas para hacerlo, sin embargo el resultado de estas iniciativas es bastante exiguo y solo un 10% de los residuos actualmente son recuperados y reutilizados (INDUAMBIENTE, 2015). Por otra parte, Chile posee el record de tener la tasa de generación de residuos sólidos domiciliarios más alta a nivel latinoamericano, donde de un total de 17 millones de toneladas de residuos sólidos al año, cerca de 6,5 millones son de origen doméstico.

La preocupación respecto de esta alta generación de residuos por cada habitante en el país y la educación medioambiental presentes en los bloques políticos como la OCDE o la UE, han rendido frutos durante los últimos años y se ha desarrollado una serie de eventos que han aportado a que este panorama pueda cambiar en los próximos años y se contribuya de una manera más sustentable al medio ambiente. Es así como, uno de los principales pasos que se dio en materia medioambiental fue la creación del Ministerio del Medio Ambiente y por tanto la disolución de la actual CONAMA (Comisión Nacional del Medioambiente) que en ese entonces tenía todas las atribuciones respecto de la normativa medioambiental y futuras políticas públicas. Durante 2010 entonces, se establece el artículo 69 de la ley 19300, donde se diferencian las funciones de regulación y diseño de políticas, gestión y administración de la evaluación y fiscalización ambiental integrada, asociando cada una de estas funciones a órganos distintos e independientes como lo son el Ministerio del Medioambiente, Servicio de Evaluación Ambiental y Superintendencia del Medioambiente (Ministerio del Medioambiente, 2017). En este sentido, durante el año 2013 se presenta un proyecto de ley que engloba al concepto REP en base a lo establecido por la Unión Europea y Estados Unidos en sus gobiernos, proyecto que tiene como fin último aumentar los porcentajes de reutilización y reciclaje de residuos en Chile desde el 10% al 30%. En este sentido, la ley es comenzada a tramitar por el parlamento y es durante 2015 donde la Cámara de Diputados, mediante su comisión del Medio Ambiente y Recursos Naturales, aprueba el

proyecto. Luego, en 2016 la misma comisión pero esta vez del Senado aprueba el proyecto. Es así como finalmente, el 17 de Mayo de 2016 se promulga la Ley N° 20920 que actualmente se denomina Ley REP (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

La ley REP establece el marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje, de manera que el objetivo primordial de la normativa es disminuir la generación de residuos y fomentar la reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medioambiente. Este objetivo busca lograr mediante la asociación de los productores con un sistema de gestión que haga posible la recolección y posterior reutilización o reciclaje de los residuos, sin embargo estableciendo claramente quienes son los responsables legales y financieramente de esto son los productores.

La responsabilidad de los productores de hacerse cargo de sus productos luego que cumplen su ciclo de vida recae en 6 productos prioritarios determinados por los impactos y relevancia que tienen a nivel nacional e internacional. La mayoría de estos productos son abarcados por los modelos REP más relevantes a nivel internacional y en general tienen un impacto alto. La ley 20920 establece las categorías, sin embargo el detalle de que productos caen dentro de estas categorías se realizará en los decretos supremos posteriores. Estas categorías o productos prioritarios son:

1. Aceites lubricantes
2. Aparatos eléctricos y electrónicos
3. Baterías
4. Envases y embalajes
5. Neumáticos
6. Pilas

La ley REP, que entró en vigencia durante el 2016, posee algunos lineamientos para que prontamente existan metas de recolección, tratamiento y reciclaje, lo que será regulado e informado mediante la promulgación de Decretos Supremos. A la fecha, solo se ha aprobado el reglamento que permite la creación de estos decretos supremos, y en base a esto aún están pendientes las metas de recolección y formas de realizarlo (Mineria Chilena, 2017). No obstante lo anterior, desde el Ministerio y las SEREMIs del Medio Ambiente, han surgido conversaciones y reuniones con los distintos bloques productivos para poner en marcha blanca la política REP y visualizar los principales problemas tanto técnicos como administrativos.

Uno de los pasos principales que debe tener claro tanto públicos como privados, corresponde a conocer el orden de magnitud del mercado de los residuos en el sector donde se quieran emplazar los futuros proyectos de reutilización, gestión o reciclaje de residuos. En base a esto, el siguiente informe contempla el levantamiento de información de los productos prioritarios establecidos en la Ley REP para conocer y establecer la importancia que tienen dentro del mercado de residuos tanto en Chile como en la Región de Aysén.

7.1.1 SECTOR ENVASES Y EMBALAJES CHILE

El comportamiento que existe en Chile respecto de la mayoría de los residuos prioritarios o corrientes de residuos que se nombran en la Ley REP no está ajeno a los comportamientos que tienen a nivel mundial este tipo de productos. En este sentido, el sector envases y embalajes toma mucha relevancia a nivel nacional por la situación que hace más de 10 años se está visualizando en Chile. De esta forma, es un hecho conocido que el consumo de envases y embalajes está directamente relacionado con el nivel de vida de las personas y principalmente con el PIB que tiene la economía nacional. En base a esto y lo mostrado en secciones anteriores, se muestra una relación entre el PIB y el consumo de envases y embalajes por habitante:

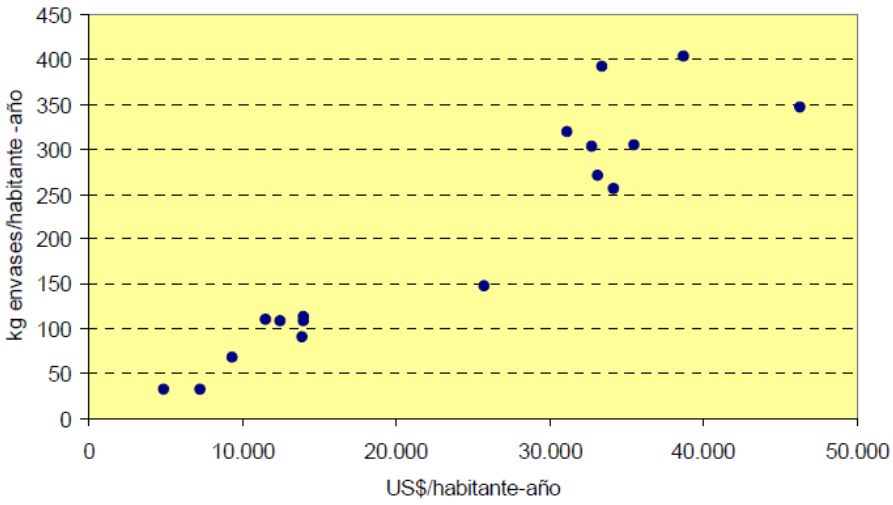

Figura 14. Relación PIB per cápita y consumo de envases en economías seleccionadas de América y Europa. (OCDE, 2001)

Chile en tanto, como es un país en vías de desarrollo aún, pero con un crecimiento económico considerable durante los últimos años y uno de los más elevados en el sector latinoamericano (MMA, 2010), se comporta de la misma manera que lo establecido en la Figura 14 y es por eso que se debe tener en cuenta el crecimiento del consumo de envases en

embalajes, para que su disposición final sea lo menor posible y se puedan reutilizar la mayor parte de este consumo. Así mismo, no se puede descuidar y postergar el ordenamiento de la industria del envase y embalaje, puesto que con el crecimiento que tiene Chile, hacia el 2020 el consumo de esta corriente podría duplicarse.

El sector envases y embalajes tiene subsectores o subproductos que corresponden a (i) papel y cartón, (ii) vidrio, (iii) envases metálicos, (iv) madera, (v) plásticos rígidos y (vi) flexibles. A nivel mundial existen muchas diferencias entre la participación del mercado entre estas subcategorías y Chile no es la excepción. La participación de cada subsector en el contexto nacional está dado principalmente por la realidad económica y cultural de nuestro país, lo que puede diferir de lo esperado mundialmente. De esta manera, la participación de cada subsector se muestra a continuación (Tabla 2):

Tabla 2. Participación económica de cada subsector a nivel mundial y nacional dentro del segmento envases y embalajes al año 2015. Fuente: CENEM.

Subsector	Mundial	Chile
Papel y cartón	16%	29,7%
Vidrio	6%	11,5%
Envases metálicos	38%	12,3%
Madera	6%	5,4%
Plásticos	34%	41,1%

La participación de los subsectores a nivel nacional difiere de las cifras que se presentan a nivel mundial, esto por el contexto en el cual se enmarca la realidad del país. En base a esto, el consumo de papel y cartón, por una parte, tiene el doble de participación porcentual respecto de lo que consume mundialmente, por el hecho de que existen otros envases preferentes a nivel nacional. Esta tendencia se debe a la actividad relacionada con la celulosa en Chile, ya que la importancia del rubro de la celulosa a nivel nacional permite que los precios de estos envases disminuyan y sea más utilizado un envase de papel o cartón que un envase metálico o un envase plástico (MMA, 2010). Las cifras de participación del mercado se rigen bajo los aportes que cada uno de los subsectores realizan al PIB y no necesariamente por cantidad de bien comercializado. Sin embargo, es importante notar la diferencia entre los aportes realizados en forma física por cada uno de estas subcategorías (Tabla 3):

Tabla 3. Participación física de cada subcategoría en el ámbito nacional. Fuente: (CENEM, 2016)

Subsector	Chile 2015
Papel y cartón	34,9%
Vidrio	27,8%
Envases metálicos	7,3%
Madera	8,7%
Plásticos	21,3%

Al momento de analizar las cifras físicas se pueden notar las diferencias en tendencias nacionales en comparación a las tendencias a nivel mundial. El principal ejemplo de esto es la participación que tienen los envases de vidrio a nivel físico sobre el total de envases y embalajes, teniendo una participación de casi el 30% del total. Esto se condice con la relevancia que tiene la industria vitivinícola en Chile y el nivel de productos que son producidos y luego exportados en este formato.

En términos de cantidades comercializadas, es importante notar la relevancia que tiene el subsector papel y cartón, puesto que es uno de los que más tonelaje agrega. Lo anterior siguiendo con la línea que el rubro ce la celulosa a nivel nacional tiene una preponderancia elevada y permite que los precios de este tipo de envases sea menor. Además, su masiva utilización en los distintos ámbitos lo hace un subsector interesante (domiciliario, retail, industrial, comercial, etc.).

Estas cifras, según indican las proyecciones y la causalidad respecto del desarrollo local y regional que existe en Chile, tenderán a crecer en los próximos años, en base a lo histórico y al crecimiento económico, tendrán un aumento anual de un 5,9%. Finalmente y según lo estudiado por el Centro de Envases y Embalajes de Chile (CENEM), se muestra el desarrollo histórico por subcategoría de la producción nacional entre los años 2007 y 2020.

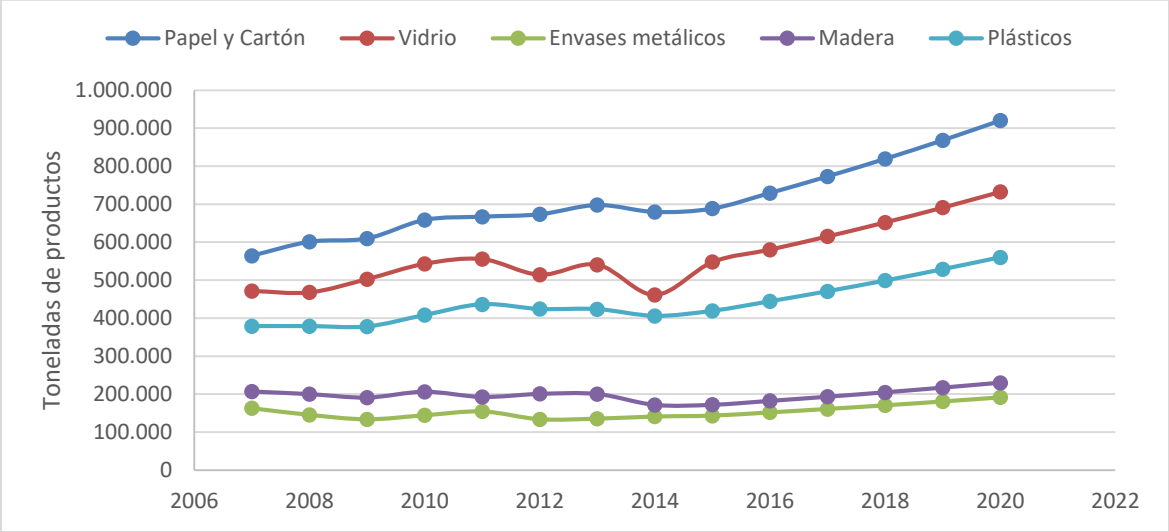

Figura 15. Producción histórica nacional y proyección del sector envases y embalajes en Chile según subcategorías. Fuente: Elaboración propia en base a (CENEM, 2016)

7.1.2 SECTOR NEUMÁTICOS EN CHILE

La producción o comercialización de neumáticos en Chile tiene un comportamiento similar al sector envases y embalajes, donde existe una proporcionalidad positiva respecto de la producción/consumo y el índice económico del país. En base a esto, a medida que los ingresos promedios en el país aumentan, también aumenta la compra de vehículos y el recambio de los neumáticos de los mismos. La generación de NFU (neumáticos fuera de uso) ha tenido un aumento progresivo durante los últimos 15 años y no se puede obviar el efecto que esto tiene a nivel medioambiental en Chile (CONAMA, 2008).

Por otra parte, el sector neumático fuera de uso basa tu tamaño en relación al parque automotriz de automóviles que existe en Chile actualmente. En 2010 el parque automotor apenas superaba los 5 millones de unidades, mientras que para 2015 tuvo un valor cercano a los 7,4 millones de unidades, por lo que el aumento fue de un 41% aproximadamente (La tercera, 2016). Este aumento no deja de ser preocupante, ya que al incrementar el parque automotriz, los residuos generados por el recambio de neumáticos aumentan drásticamente. Así mismo, la cantidad de neumáticos en uso también ha tenido un aumento progresivo en los últimos años, este crecimiento se plasma en la Tabla 4, en base a lo entregado por la Cámara de la Industria del Neumático en Chile. (CINC):

Tabla 4. Crecimiento del parque automotriz y de los Neumáticos en Uso (NEU) durante los años 2010 a 2014. Fuente: (ANAC, 2015).

Año	Vehículos livianos	Camiones	Buses	NEU
2010	2.970.000	168.680	47.763	13.948.904
2011	3.220.000	180.844	48.538	15.076.744
2012	3.500.000	193.590	49.055	16.328.340
2013	3.760.000	197.879	52.149	17.435.982
2014	4.030.000	189.730	49.363	18.412.204

Las razones por las cuales se realiza el recambio de un neumático pueden ser diversas, desde el desgaste físico del mismo, pasando por alguna eventualidad o accidente hasta la estética del vehículo. En base a esto, lo más lógico es que exista una tasa de recambio racional en base al kilometraje que tienen los neumáticos. Es según esto, que los vehículos livianos, camiones y buses tienen distinta tasa de recambio por las diferencias de usos que existen entre unos y otros. Es importante recalcar, que no todos los neumáticos en uso son cambiados anualmente y algunos demoran hasta 6 años en ser cambiados, por lo que el residuo generado por este sector no tiene la misma magnitud que los neumáticos en uso.

Del total de neumáticos comercializados o en uso a nivel nacional, solo un 65% se recambia en empresas distribuidoras autorizadas o talleres reconocidos y autorizados. Estos neumáticos que son cambiados tienen dos posibles caminos: recauchaje o eliminación. La primera alternativa corresponde a realizar una mantención del neumático para cumplir con aquello que exige la normativa chilena actual en base a grosor mínimo de seguridad y se realiza principalmente a los vehículos de carga pesada, camiones y buses. La segunda alternativa convierte en un residuo al neumático cambiado y actualmente tienen distintos destinos (CONAMA, 2008). Es interesante entonces notar qué porcentaje del universo de neumáticos en uso son destinados a recauchaje y cuántos de ellos son directamente denominados residuos. A continuación (Tabla 5) se muestran las cifras de generación de NFU en Chile durante el periodo 2011 a 2016, en base a lo informado por la Cámara de la Industria del Neumático de Chile:

Tabla 5. Recambio de neumáticos, recauchaje y generación de NFU anualmente. Fuente: CINC 2017.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Neumáticos usados [ton]	116.759	131.883	146.926	130.231	144.335	132.183
Recauchaje [ton]	14.183	15.152	13.147	11.523	10.860	9.726
NFU [ton]	102.576	116.731	133.779	118.708	133.475	122.457

La cantidad de neumáticos cambiados anualmente no tiene un comportamiento especifico, más bien se ha mantenido en una cifra cercana a las $140.000\ [ton/año]$, mientras

que la participación del recauchaje ha ido disminuyendo a lo largo de los años. Anualmente, en promedio entre los años 2011 al 2016, el 10% del recambio total de neumáticos son destinados al recauchaje y esta cifra no ha variado en los últimos 5 años. Finalmente, durante los últimos años se han gestionado proyectos de valorización de este residuo a nivel nacional, principalmente en las regiones V, VI y Metropolitana como forma de incineración del caucho y valorización energética, lo que ha disminuido las cifras de disposición final de este residuo.

7.1.3 SECTOR ACEITES LUBRICANTES EN CHILE

Este producto prioritario o sector tiene una importancia particular, puesto que es el único residuo en estado de agregación líquido que se encuentra regido bajo la REP. Lo anterior permite que el manejo, almacenamiento y tratamiento de este residuo sea más complicado que aquellos que se encuentran en estado sólido, como lo son los otros productos prioritarios.

Los aceites lubricantes están ligados principalmente al mercado automotriz, donde destacan el parque vehicular, la industria pesquera, industria minera y empresas constructoras como sus principales proveedores y consumidores. Uno de los sectores que más consumen aceites lubricantes corresponde al parque vehicular, donde el recambio de aceite anualmente se traduce en la generación de un residuo peligroso y difícil de manejar para su reutilización (CONAMA, 2010). En base a esto, la demanda de aceites lubricantes corresponde a una demanda por parte de los hogares o particulares, por lo que es una demanda sectorizada y que sostiene su consumo concentrado en los estratos socioeconómicos altos.

Los estudios que engloban el consumo de aceites lubricantes en Chile son muy reducidos y el último estudio público fue realizado por la CONAMA en el año 2008, por lo que las cifras de consumo y proyección de generación son un estimativo en base a lo visto hasta esa fecha. La proyección del mercado de aceites lubricantes se realiza a partir de las estimaciones del crecimiento del parque vehicular, puesto que este es el principal demandante en función del consumo aparente. En base a esto, el consumo nacional de este producto ha tenido el siguiente comportamiento a través de los años (Tabla 6):

Tabla 6. Consumo de aceites lubricantes en Chile entre los años 2008 al 2015. Fuente: (CONAMA, 2010)

Año	Aceites Lubricantes $[m^3/año]$
2008	136.235
2009	138.871
2010	141.558
2011	144.297
2012	147.090

Año	Aceites Lubricantes [$m^3/año$]
2013	149.936
2014	152.837
2015	155.794

Al desgastarse el aceite, se realiza un recambio de aceite al vehículo de acuerdo a los factores de vida útil indicados para cada uso que se le da al producto. Los distintos tipos de vehículos tienen una recuperación media diferente, sin embargo organismos internacionales indican que la tasa media de recuperación del aceite lubricante corresponde a un 66,2% del uso inicial. En base a esto, la generación de aceites lubricantes usados en Chile tiene el siguiente comportamiento (Tabla 7):

Tabla 7. Generación de aceites lubricantes usados en Chile entre los años 2008 al 2015. Fuente: CONAMA, 2010.

Año	Aceites lubricantes usados [$m^3/año$]
2008	90.188
2009	91.933
2010	93.712
2011	95.525
2012	97.373
2013	99.257
2014	101.178
2015	103.136

El recambio de aceites lubricantes se realizan en talleres especializados y autorizados, sin embargo, el residuo que se genera en ese momento es abandonado en la mayoría de los casos y acumulado sin condiciones de control que pueda prevenir la contaminación o el derrame de los mismos. La gestión de estos residuos o aceites lubricantes usados es muy importante para resguardar la sustentabilidad y el cuidado al medio ambiente, en base a esto y según lo establecido por la ley REP estos residuos deben ser gestionados para su posterior reutilización o reciclaje. Actualmente, las cifras respecto de los usos que se les da a este residuo son preocupantes, particularmente debido a que 48% de los aceites lubricanes usados tienen un destino desconocido. Esto se muestra en la Figura 16:

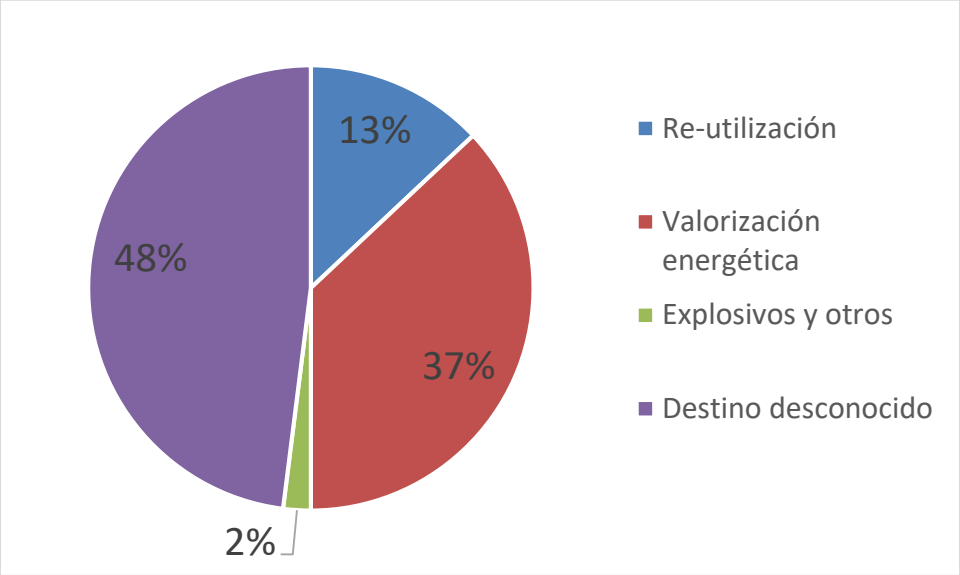

Figura 16. Usos de los aceites lubricantes en Chile luego de cumplir su ciclo de vida al año 2008. Fuente: (CONAMA, 2010)

7.1.4 SECTOR APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS EN CHILE

La gran parte de los países presentes en América, Europa y Asia han presentado un aumento exponencial en las ventas y consumo de aparatos eléctricos y electrónicos, esto por el crecimiento que este rubro ha tenido a nivel mundial durante los últimos 20 años. Esta situación se explica por una serie de factores, tales como el crecimiento técnico y económico en general de cada bloque político-económico, productos cada vez más accesibles, la implementación de programas específicos destinados al aprendizaje en computación y al acceso a computadoras, la baja cantidad de líneas telefónicas fijas que promueve la utilización de teléfonos móviles y el crecimiento en general de sistemas computarizados y basados en la electrónica en las distintas oficinas (Lindhqvist, La responsabilidad extendida del productor en el contexto latinoamericano, 2008).

De esta forma, los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) han aumentado de la misma forma que lo han hecho las ventas de estos artículos. El panorama nacional no muy alentador en esta materia, pues es muy común visualizar residuos sin un destino en particular y/o acumulados en lugares que no hacen uso de ellos y pueden formar parte de un problema mayor como contaminación de esteros, lixiviación de metales y contaminación por ser un residuo peligroso. Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se dividen en más de diez categorías, sin embargo las que presentan mayor relevancia y hegemonía son cuatro de ellas, las cuales abarcan el 97% del total de residuos de esta clase (Ministerio del Medio Ambiente, 2010). Estas equivalen a:

1. Grandes electrodomésticos
2. Pequeños electrodomésticos
3. Equipos de informática y comunicaciones
4. Aparatos eléctricos de consumo
5. Aparatos de alumbrado

Chile es un país donde se realiza poca manufactura, dedicándose principalmente a explotar sus recursos y generalmente exporta materias primas a países manufactureros como China, Taiwán, Estados Unidos, etc. Por lo anterior, generalmente importa los productos de estos países, sobre todo en productos tecnológicos como lo son los aparatos eléctricos y electrónicos.

Estudios recientes muestran investigaciones donde se cuantifican los volúmenes de generación actual de RAEE, basados en la cantidad de importación, venta y estimaciones de vida útil de los equipos de los cuales derivan (Alarcón, 2012). A continuación se presentan las cifras históricas y la proyección de la generación de residuos en Chile (Figura 17).

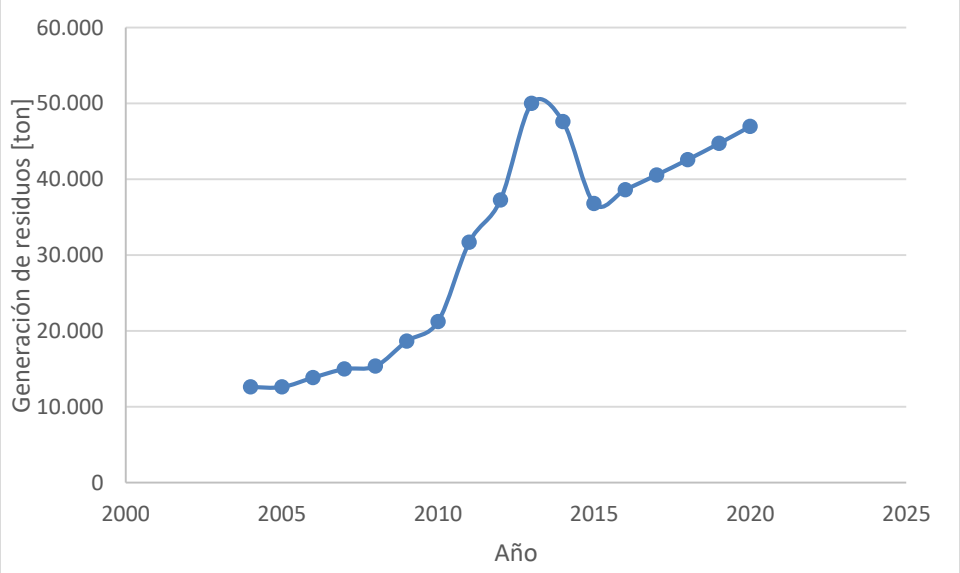

Figura 17. Cifras de generación y proyección de RAEE en Chile durante los años 2004 al 2020. Fuente: Elaboración propia con datos de Ministerio del Medio Ambiente 2010.

La generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos tiene una relación directa con el crecimiento económico y tecnológico del país, y en el caso de Chile, entre 2010 y 2014 hubo un crecimiento exponencial de importación y venta de estos aparatos, por lo que los residuos generados entre estos años ha aumentado su valor en un 300% aproximadamente.

Entre 2014 y 2015 hubo una disminución considerable en la generación de residuos, no por un aumento en la recuperación y reutilización de residuos, sino por el bajo crecimiento económico que tuvo el país durante este periodo.

Según las cifras del Ministerio del Medio Ambiente en el 2010, se pueden establecer indicadores de generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos a nivel nacional. En base a la generación total de RAEE al año 2010, en Chile equivale a 1,1 $[kg/habitante - año]$, valor que se encuentra muy por debajo de los índices de países desarrollados como Japón, Estados Unidos o Alemania, donde la cifra alcanza hasta 15,6 $[kg/habitante - año]$.

El índice de generación de RAEE es bajo comparado con otros países que tienen índices de desarrollo más elevados, las cifras de recuperación de esta clase de residuos en Chile son incipientes respecto de la generación. De hecho, no existen más de 10 empresas u organizaciones dedicadas a la recuperación y reciclaje de equipos electrónicos en Chile y casi la totalidad de estas se encuentran en la Región Metropolitana por lo que las regiones más alejadas no tienen muchas posibilidades de reutilizar o reciclar este tipo de residuos. Al año 2010, la capacidad de recuperación y reciclaje de RAEE en Chile tiene un valor aproximado de 8000 $[ton/año]$ lo que equivale solo a un 18% del total de residuos generados, por lo que más de un 80% tiene destino desconocido.

7.1.5 SECTOR PILAS EN CHILE

Como en la mayoría de los sectores anteriormente mencionados, Chile es un importador de casi la totalidad del mercado de pilas que existe a nivel nacional. Por esto, los productores del sector corresponden a empresas que importan los distintos tipos de pilas, ubicados preferentemente en la Región Metropolitana. En el universo nacional, existen más de 250 empresas importadoras, de las cuales solo 14 abarcan más del 90% de total de pilas ingresadas al país y de ellas 5 cubren el 75% del mercado (C y V Medioambiente Ltda., 2011).

Las principales marcas o importadores de pilas en Chile cuentan con políticas o declaraciones desde sus casas matrices y dirección hacia una gestión ambiental adecuada de productos a nivel internacional, basado en la normativa europea para la gestión de residuos, sin embargo en Chile aún no se ve la aplicación de estas políticas.

El mercado de pilas se divide en dos categorías principalmente: pilas primarias y pilas secundarias. El primer segmento de mercado constituye aquellas pilas que no son recargables y por tanto son desechables, donde se concentra la mayor parte de la demanda nacional. Por

otra parte, el segmento pilas secundarias son aquellas que son recargables y se pueden utilizar durante varios ciclos, segmento que tiene una menor participación en términos de residuos. La generación de residuos por parte de estos dos segmentos, se estima mediante la utilización de la vida útil de estos productos, los cuales corresponden a menos de un año para las pilas primarias y entre 2 a 3 años para las pilas secundarias (C y V Medioambiente Ltda., 2011). Por otra parte, el crecimiento del sector se estima según el crecimiento de las importaciones y los valores entregados por Aduanas (Tabla 8).

Tabla 8. Proyección del consumo total de pilas en el territorio nacional durante los años 2011 al 2020.

Año	Consumo total [unidades]
2011	168.122.729
2012	171.574.216
2013	175.102.442
2014	178.709.551
2015	182.397.848
2016	186.169.751
2017	190.027.796
2018	193.974.647
2019	198.013.107
2020	202.146.124

El consumo total de pilas ha tenido un aumento del 2% anualmente, sin embargo, este crecimiento está dado por la amortiguación entre los dos segmentos de mercado que tienen crecimientos distintos. Por una parte, el segmento pilas primarias tiene un aumento del 1,9% mientras que el segmento pilas secundarias un aumento del 6,7% anual. Ahora bien, el 98% del total de pilas corresponde a pilas primarias por lo que el aumento se acerca mucho más al 2% que presenta este segmento. Este aumento, aun cuando se piensa que es bajo, el indicador de consumo de pilas por habitante en el territorio nacional tiene un valor equivalente a 9,6 unidades per cápita, mayor al de los países desarrollados de la Unión Europea tienen un consumo per cápita bajo 8 unidades (EPBA, 2010).

Las técnicas de reciclaje o reutilización de este recurso en Chile aún se encuentran en desarrollo y no existe mayor avance en esta materia. La alternativa utilizada actualmente en el país es la disposición en rellenos de seguridad, previo tratamiento de inertización o estabilización, lo que se realiza en empresas autorizadas. Una de las únicas empresas autorizadas y que realizan este tratamiento corresponde a la empresa Hidronor, la cual mezcla los residuos sólidos en un mezclador donde se someten a un proceso de micro-encapsulación mediante la adición de reactivos aglomerantes, luego son enviados a un depósito de seguridad

(Hidronor, 2018). Aun así, hay una gran parte de la totalidad de los residuos que no tienen un destino conocido o seguro, por lo que es un hito importante a recalcar.

Por otra parte, una de las alternativas que existe en Chile para lidiar con este tipo de residuos clasificado como un residuo peligroso, corresponde a la disposición de forma particular en instalaciones de residuos domiciliarios donde se almacenan estos residuos y se evita su exposición. Según un estudio de la consultora *C y V Medioambiente Ltda.* al año 2010 se presentaron las siguientes cifras en términos de recolección, generación y disposición de este residuo:

Tabla 9. Cifras de generación y disposición de pilas el año 2010. Fuente: C y V Medioambiente Ltda.

Residuo Generado [t]	Disposición en relleno de seguridad [t]	Disposición en instalaciones de RD [t]	Destino desconocido [t]
4.338	2	2.299	2.037

De acuerdo con estas cifras, la cantidad de residuo de esta clase que se dispone en un relleno de seguridad corresponde a solo el 0,05% del total generados anualmente, mientras que la recolección en puntos para residuo domiciliario corresponde a un 53% cifra que tiene relevancia respecto de la comparación con la disposición de otros residuos. Sin embargo, casi un 47% del total de residuos de pilas en Chile tiene un destino desconocido, lo que genera un desafío mayor para poder disminuir esa cifra y en consecuencia bajar los riesgos de contaminación por metales pesados o lixiviados.

7.1.6 SECTOR BATERÍAS FUERA DE USO EN CHILE

Las baterías son elementos fundamentales para los vehículos y por ende para el transporte de la comunidad hacia distintos sectores o lugares. El recambio de este tipo de baterías es una actividad que se realiza a diario y genera una cantidad de residuos considerable en base al parque automotriz que existe en Chile. Es por esto que la ley de fomento al reciclaje o ley REP vienen a regular y aportar a que estos residuos sean reutilizados como materia prima en otro proceso productivo.

Así como el parque vehicular ha aumentado su magnitud, el recambio de baterías también lo ha hecho en el mismo orden de magnitud. Se estima que el 50% del parque vehicular tenga un recambio de batería al año, por lo que los residuos de baterías fuera de uso (BFU) son considerables (CONAMA, 2010). La evolución histórica de la generación de BFU en Chile se muestra en la Figura 18.

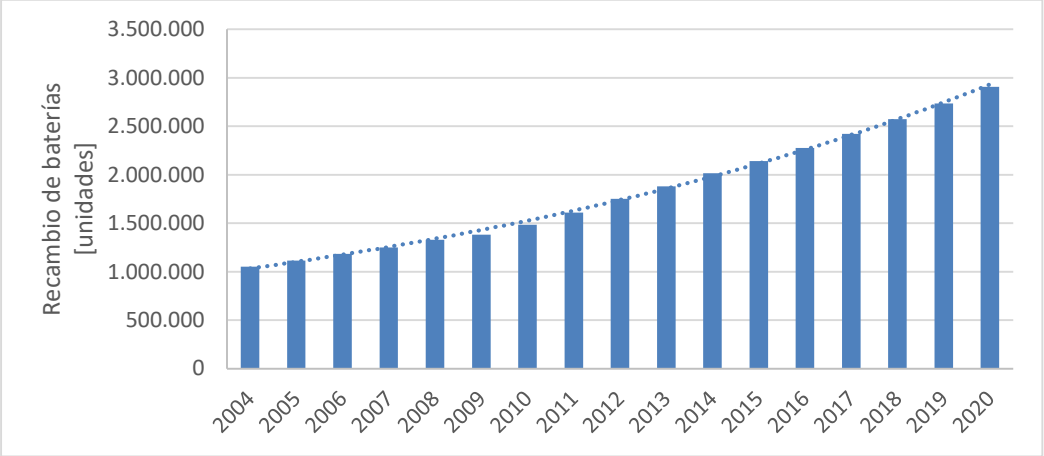

Figura 18. Evolución y proyección del recambio de baterías en Chile entre los años 2004 al 2020. Fuente: elaboración propia.

El crecimiento de la generación de este residuo es de un 6,3% anual, valor bastante elevado y que permite que existan al año 2017 casi 42.000 toneladas de BFU. De esta cantidad, una parte importante tiene paradero desconocido y por tanto hay planes desde las policías de investigaciones y del mismo gobierno para que los automovilistas dispongan adecuadamente estos artefactos en desuso y no generen más riesgos por la manipulación clandestina de estos residuos (SUSTEMPO, 2017).

Según estudios realizados por la CONAMA, al año 2008 el panorama de la gestión de baterías y reciclaje de las mismas en Chile era bastante deficiente, esto ya que solamente se reciclaba un 4% del total de baterías fuera de uso generadas a nivel nacional (CONAMA, 2010). A la fecha existe solo una empresa en Chile autorizada para el almacenamiento, gestión y reciclaje de productos plomados, esta es RECIMAT, empresa pionera a nivel nacional y que se encuentra en la ciudad de Calama. No existen cifras exactas de lo que realmente se recicla y/o almacena en las dependencias de esta empresa, no obstante lo anterior la empresa dice tener una capacidad de procesamiento de 50.000 toneladas por año de BFU, lo que corresponde a más del 100% de las baterías generadas a nivel nacional.

7.2 SITUACIÓN DE LA REGIÓN DE AYSÉN

7.2.1 TENDENCIAS REGIONALES EN TORNO A LA GESTIÓN DE RESIDUOS

En Chile, el sector de residuos sólidos presenta diversas complicaciones, relacionadas tanto con las múltiples dimensiones que su gestión involucra (ambientales, institucionales, económicas y sociales, entre otras) como con los problemas que generan para la gestión de

residuos, el crecimiento y concentración de la población y el modelo de consumo que caracteriza nuestra sociedad (Arzola, 2017).

La geografía del país y la centralización de todos los servicios entregados en Chile, también juegan un rol fundamental en la gestión de residuos, lo anterior puesto que las empresas de reciclaje, compostaje y rellenos sanitarios con condiciones óptimas se encuentran por lo general cercanos a la Región Metropolitana. Es según esto, que la Región de Aysén desde ya posee problemas naturales frente a la gestión óptima de sus residuos.

La XI Región de Aysén se encuentra más de 1500 km al sur de la Región Metropolitana y es la región con mayor dispersión poblacional, o menor densidad poblacional, de Chile. La población total de la región alcanzó en el 2012 casi los 100.000 habitantes en la totalidad de su territorio, siendo la ciudad más poblada y capital regional la ciudad de Coyhaique con un total de 59.000 habitantes. Las características de la ciudad, según algunos expertos, la califican como una zona ultra-periférica, donde la gestión de residuos se hace aún más difícil debido a las condiciones geográficas y climáticas.

La realidad regional es tal que no existen industrias o grandes empresas dedicadas a la manufactura de productos, por lo que la generación de residuos de las distintas clases está dada principalmente por los Residuos Sólidos Municipales (RSM) en base a los consumidores, comercio local, pequeños y medianos distribuidores. Este es un punto importante al momento de determinar el impacto que los residuos generan en Coyhaique, puesto que se acota la gestión de los residuos a través de lo que existe respecto de los planes municipales actuales de recolección y selección de residuos.

Aun cuando las cifras poblacionales de la región son bajas respecto de otras regiones, su generación de residuos en términos de cantidad es bastante elevada y preocupante. Regionalmente se generan 36.500 [t/año], considerando las 10 comunas pertenecientes a la Región de Aysén. Según un estudio realizado por la empresa de evaluación de proyectos BIOAQUA el año 2013, el 82% de estos residuos son generados entre las comunas de Coyhaique y Aysén, que contemplan el 76% de la población regional (BIOAQUA, 2013). Específicamente la comuna de Coyhaique tiene una producción per cápita ponderada (PPC) igual a 1,17 $[kg - habitante/día]$ de residuos, lo que según las cifras poblacionales al 2012 significa una generación de 26.000 $[t/año]$. Esta cifra no deja de tener relevancia a nivel nacional, puesto que Coyhaique se encuentra en la cuarta posición cuando se habla de generación de residuos. A nivel país la cifra corresponde a un 1,25 $[kg - habitante/dia]$ (La Tercera, 2016).

Las cifras anteriormente mencionadas provienen del diagnóstico realizado por la empresa BIOAQUA a través del Gobierno Regional de Aysén, sin embargo lo más preocupante es que actualmente las alternativas de reutilización y/o reciclaje de los residuos generados son escasas. En base a esto, la totalidad de residuos sólidos domiciliarios son llevados a su etapa de disposición final en relleno sanitario, lo que preocupa puesto que no existe un proceso de selección y separación de residuos potencialmente reciclables. Sin embargo, la realidad operacional que existe a nivel regional no se condice con las condiciones y potencial que tiene la zona. En base a esto, BIOAQUA el año 2013 realizó un diagnóstico y estableció la composición ponderada de los residuos sólidos domiciliaros en la ciudad de Coyhaique, según muestreo y análisis. Lo anterior se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10. Composición en peso ponderada de los RSM en la Región de Aysén. Fuente: BIOAQUA, 2013.

Participación en peso	Clasificación
91,7%	Residuos separables
51,6%	Material orgánico compostable
36,1%	Residuos sólidos potencialmente reciclables
0,5%	RESPEL y residuos hospitalarios

Aun cuando potencialmente existe un 36% de residuos generados a nivel domiciliario que podrían ser reciclables y evitar su disposición final, estos son enviados de todas maneras al relleno sanitario igual que todos los demás residuos. Por lo que de una forma u otra, se está desechando una oportunidad para contribuir con la sustentabilidad de la ciudad y la región, dado que no se destinan recursos o las personas naturales no se hacen responsables del nivel de generación de residuos que actualmente tienen.

Concretamente en la Región de Aysén, los desvíos de flujos de residuos hacia valorización son prácticamente insignificantes y aquellas opciones que existen son, al año 2013, iniciativas municipales, de establecimientos educacionales y otras organizaciones, muchas veces apoyadas con el Fondo de Protección Ambiental (FPA), mas es importante destacar que el impacto en la Gestión de Residuos de la Región de Aysén es despreciable. De acuerdo con esto, se estima que la cantidad de RSM que son desviados hacia proceso de valorización es inferior al 0,5% de los RSM generados (BIOAQUA, 2013).

Sin embargo, a partir del segundo semestre de 2016 en Coyhaique se instala una empresa que opera como punto limpio dentro de la ciudad y que recibe distintos tipos de residuos en sus instalaciones. Los residuos recibidos en sus dependencias corresponden a todos los tipos de plásticos, papeles, cartones, recipientes enlatados, pilas y envases. En base a esto, el desvío de flujo de residuos hacia valorización por lo tanto desde el año 2016 ha ido en aumento según lo informado por FECUNDA PATAGONIA, encargada de este punto

limpio. Esta supone la mayor iniciativa en cuanto a gestión de residuos se trata a nivel local en la ciudad de Coyhaique y trabajan de la mano con la SEREMI del Medio Ambiente y otras organizaciones locales para que la sustentabilidad deje de ser un desafío y sea una realidad.

Finalmente, algunos de los productos prioritarios que se plantean en la Ley de Fomento al Reciclaje se ven generados por escasas empresas menores o distribuidores, lo que entorpece su diagnóstico y análisis, puesto que si su generación es escasa, su reciclaje o recolección es aún menor. Es así, como algunas de las categorías que establece la Ley de Fomento al Reciclaje no son gravitantes ni en la Región de Aysén ni en la ciudad de Coyhaique y por tanto no existen datos de generación o recolección de estos residuos. No obstante lo anterior, el diagnóstico y análisis de aquellas categorías que si tienen un impacto mayor, se contemplan en la presente memoria y se muestra aquella información en las secciones siguientes.

7.2.2 MANEJO ACTUAL DE RESIDUOS EN LA REGIÓN DE AYSÉN

7.2.2.1 SECTOR NEUMÁTICOS FUERA DE USO COYHAIQUE

Tanto la realidad nacional, como la realidad regional tienen una tendencia similar en cuanto al sector automotriz se refiere. Esto es, que el parque automotriz desde hace unos años hasta la fecha no ha parado de crecer y esto dice relación primero con el crecimiento de la población en el país y por otra parte que el poder adquisitivo promedio de la población regional es tal que la posibilidad de poseer algún automóvil sea elevada. Ahora bien, el crecimiento del parque automotriz durante los últimos 8 años en la región de Aysén ha tenido un aumento considerable aun cuando la población de la región no ha elevado su número de la misma manera. Esto puede visualizarse en la siguiente tabla:

Tabla 11. Parque Automotriz en la Región de Aysén y en Coyhaique, entre los años 2008 al 2016. Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, INE.

Año	Vehículos Región de Aysén	Vehículos Coyhaique
2008	17.992	10.435
2009	19.749	11.454
2010	21.561	12.505
2011	23.293	13.510
2012	32.888	19.075
2013	28.568	16.569
2014	31.549	18.298
2015	33.519	19.441
2016	37.854	21.955

En base a estas cifras y según la estadística entregada al año 2012 por el INE, en la comuna de Coyhaique hay aproximadamente 3 habitantes por cada automóvil que se encuentra circulando en la comuna, lo que nos lleva a pensar que los residuos anualmente desechados en base al recambio de neumáticos de todos los vehículos de la comuna tienen una preponderancia elevada en cuanto a la generación de residuos. Sin embargo, es importante notar que aun cuando las distancias son pequeñas y muchas veces es posible movilizarse caminando, las condiciones climáticas y el contexto social permiten que la realidad sea una alta cantidad de automóviles por habitante.

Ahora bien, las cifras de generación que son de interés para este estudio, corresponden al tonelaje que se genera en la ciudad de Coyhaique por parte del sector neumático. Es por esto, que en base al parque automotriz de la ciudad de Coyhaique y las estadísticas de la Cámara de la Industria del Neumático de Chile, se determinó la cantidad de neumáticos en uso que existen en la ciudad de Coyhaique y aquellos que tendrán estado de fuera de uso. Esto se muestra a continuación en la Tabla 12:

Tabla 12. Datos de los Neumáticos en Uso (NEU) y Neumáticos Fuera de Uso (NFU) presentes en la ciudad de Coyhaique entre los años 2008 y 2016. Fuente: Cámara de la Industria del Neumático de Chile.

Año	NEU [unidades]	NFU [unidades]	NFU $[ton]$
2008	41.741	8.610	298,97
2009	45.818	9.450	328,16
2010	50.022	10.318	358,27
2011	54.040	11.146	387,05
2012	76.300	15.738	546,49
2013	66.278	13.671	474,71
2014	73.194	15.097	524,24
2015	77.764	16.040	556,98
2016	87.821	18.114	629,01

Las cifras de los NEU y NFU mostradas anteriormente, pueden parecer elevadas en cuanto a las unidades generadas por año, sin embargo, si se lleva ese valor a su símil en tonelaje, la generación de residuos de este tipo en la ciudad de Coyhaique no representa un residuo sustancialmente interesante al momento de buscar el residuo prioritario más relevante en la ciudad de Coyhaique. Ahora bien, es importante que aun cuando las cifras son pequeñas comparadas con otro tipo de residuos u otras ciudades, existan alternativas de reciclaje, reutilización o reducción de residuos y no se disponga de ellos en los rellenos sanitarios.

Actualmente en Coyhaique no existen alternativas de reciclaje de Neumáticos Fuera de Uso, por lo que el recambio de neumáticos al parque automotriz es una generación directa

de residuos que ingresan al relleno sanitario o que tienen paradero desconocido. Aun cuando las grandes automotoras de la ciudad realizan servicios de recambio de neumáticos, la mayor parte de estos recambios se realizan en talleres sin certificación y sin registro. Finalmente, es imperante poder gestionar estos residuos y generar un plan que regule tanto a los productores como a los consumidores.

7.2.2.2 SECTOR ARTEFACTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS COYHAIQUE

El sector de los Residuos de Artefactos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en la comuna y ciudad de Coyhaique, es un sector que se ha trabajado solo hace un par de años, pero que sin embargo muestra resultados positivos y concretos frente a la recolección y tratamiento de estos residuos.

De esta manera, desde el año 2015 la Municipalidad de Coyhaique realiza una campaña anual que involucra la recolección de RAEE en dependencias municipales para luego enviar esos residuos a una planta de tratamiento al norte de Coyhaique, específicamente Chillán. Esta campaña nace como un convenio con la empresa ChileRecicla, primera empresa que posee una planta de tratamiento de E-Waste en Chile y que como forma de acuerdo con la municipalidad de Coyhaique recibe de manera gratuita los residuos recolectados en esta campaña (Municipalidad de Coyhaique, 2017). Los envíos históricos de RAEE a la planta de tratamiento de ChileRecicla se muestran a continuación:

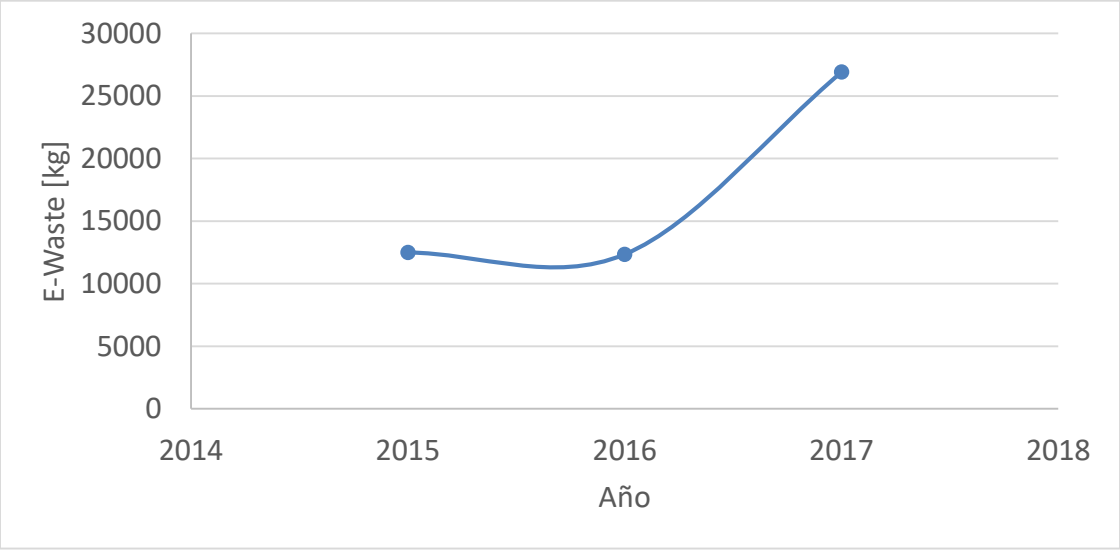

Figura 19. Recolección y envía de E-Waste a planta de tratamiento operada por ChileRecicla en Chillan. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Municipalidad de Coyhaique, 2018.

Es importante notar que en solo dos años, la cantidad de RAEE obtenidos en las campañas tuvo un aumento cercano al 100%, lo que asegura probablemente que con campañas de acercamiento a la población, difusión y mantención de estas iniciativas a lo largo del año puedan elevarse aún más, teniendo mayor impacto sobre la sociedad.

7.2.2.3 SECTOR ENVASES Y EMBALAJES COYHAIQUE

El sector con más hegemonía dentro de la comuna de Coyhaique, debido a la participación que tienen los actores privados y no industriales sobre la generación de residuos, corresponde al sector envases y embalajes, de acuerdo con la definición del Ministerio del Medio Ambiente. Esto se traduce, en la cantidad de residuos sólidos municipales que se generan a nivel comunal en Coyhaique, siendo Coyhaique y Aysén las comunas con la mayor participación en la generación de residuos a nivel regional (BIOAQUA, 2013). De acuerdo a lo establecido por el Diagnostico Regional del Gobierno Regional para la Generación de Residuos y la generación de residuos sólidos municipales en la comuna de Coyhaique, se puede visualizar el siguiente comportamiento (Figura 19):

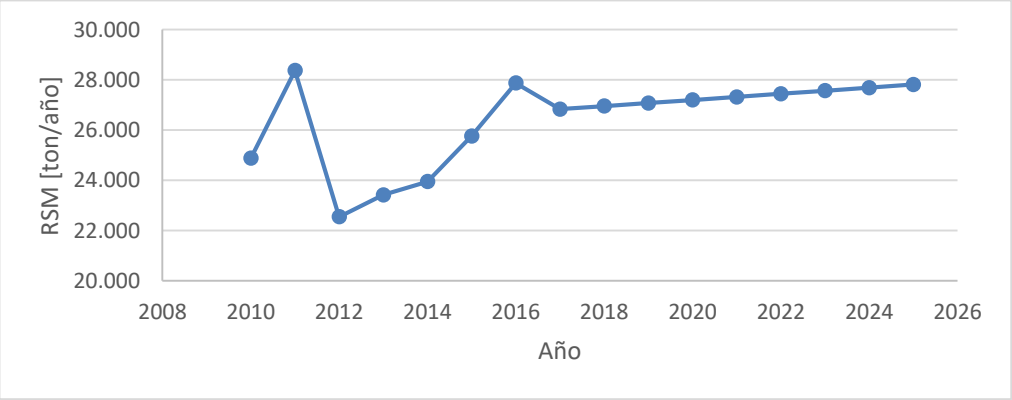

Figura 20. Proyección de la generación de RSM (Residuos Sólidos Municipales) en la comuna de Coyhaique. Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas de la Municipalidad de Coyhaique.

La generación de Residuos Sólidos Municipales y el crecimiento de la población comunal y regional, tienen una proporcionalidad directa, por lo que para determinar la proyección de la generación de RSM, se basó en la tasa de crecimiento anual de la población local, la cual equivale a un 1,61% anual. Finalmente, la producción per cápita ponderada (PPC) de RSM en la ciudad de Coyhaique corresponde a un 1,17 [kg/día/habitante] (BIOAQUA, 2013). Ahora bien, lo interesante de estas cifras corresponde a la cantidad de material reciclable que existe en este tonelaje entregado al relleno sanitario correspondiente a la ciudad de Coyhaique, que de acuerdo con el estudio preliminar realizado por el Gobierno Regional durante 2013, tiene un valor aproximado del 36%. Así mismo, una de las

conclusiones del estudio realizado el año 2013 a algunos rellenos sanitarios de la región, corresponde a la distribución en peso de los distintos residuos que ingresan al relleno. Esto es de utilidad para determinar la cantidad de material reciclable relacionado con las categorías que establece la Ley de Fomento al Reciclaje en su definición (BIOAQUA, 2013). Lo anterior se visualiza en la Tabla 13:

Tabla 13. Composición en peso de los RSM que ingresan al relleno sanitario de Coyhaique. Fuente: (BIOAQUA, 2013).

Categoría	Composición en peso [%]
Material orgánico	45,04
Plásticos	16,18
Restos sanitarios	8,90
Textiles	6,90
Vidrio	5,10
Metales	4,32
Otros separables	3,87
Papeles	3,50
Cartón	3,03
Tetrapak	1,65
Residuos sólidos peligrosos	0,82
Cenizas	0,66
Residuos sólidos hospitalarios	0,03

De acuerdo con estos porcentajes y en base a la definición establecida por el Ministerio del Medio Ambiente en la resolución exenta N° 1492 para la categorización del producto prioritario envases y embalajes, existe un total igual al 32,13% de los RSM que ingresan al relleno sanitario de Coyhaique con potencialidad de reciclaje y que pertenecen a esta categoría. Actualmente estos residuos están teniendo el mismo destino que los residuos no reciclables que ingresan al relleno sanitario, lo que no promueve prácticas con principios de sustentabilidad.

De manera privada y con dificultades económicas y operacionales, en la ciudad de Coyhaique desde el mes de Agosto de 2016, comenzó a funcionar Fecunda Patagonia, una agrupación privada con la función de recopilar residuos y buscar una alternativa de reciclaje para ellos, alternativa que consiste en el envío de los residuos acopiados en sus instalaciones hacia empresas de reciclaje ubicadas al norte de la región. Dentro de sus instalaciones, reúnen residuos principalmente domiciliarios o pertenecientes a locales comerciales privados pequeños. Estos residuos corresponden principalmente a la categoría de envases y embalajes,

habiendo excepciones como pilas o baterías. Los residuos que se reciben en esta instalación son todos los tipos de plásticos, vidrio, metales (latas) y papeles y cartones.

Debido al comienzo de la operación de acopio de residuos en Agosto de 2016, lo que se recolectó durante el 2016, es mucho menor a lo que se recolectó durante el año 2017, donde la difusión de información y motivación de la población tiene un efecto importante sobre el desempeño del punto limpio. Esto se muestra en la Tabla 14:

Tabla 14. Residuos reunidos y enviados a reciclaje durante los años 2016 y 2017 en Coyhaique. Fuente: FECUNDA PATAGONIA.

Categoría	Unidad	2016	2017
Plásticos	[kg/año]	648	3.430
Vidrio	[kg/año]	3.660	20.090
Metales	[kg/año]	172	2.029
Papeles y cartones	[kg/año]	4.599	17.393
Total	[kg/año]	9.079	42.942

Los órdenes de magnitud entre la generación de residuos domiciliarios con potencialidad de ser reciclados y que pertenecen a la categoría envases y embalajes incluidos en la Ley de Fomento al reciclaje, y la cantidad de residuos enviados para reciclaje en la totalidad de la ciudad de Coyhaique son muy distantes. Según esto, solo 43 toneladas de residuos al año 2017 fueron enviados a plantas de reciclaje mientras que durante 2017 diariamente la población de Coyhaique generó 8.622 toneladas de residuos con potencialidad de reciclaje. Este valor permite dilucidar que solo un 0,5% de la totalidad de residuos reciclables generados por la comunidad de Coyhaique tienen como destino una planta de reciclaje que aporta con una mirada de sustentabilidad a la generación de residuos.

7.3 CRITERIO DE ELECCIÓN DEL RESIDUO CON MAYOR IMPACTO EN COYHAIQUE

La Ley de Fomento al Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor, establece seis productos prioritarios dentro de sus definiciones, las cuales serán abordadas a medida que se desarrollen los decretos supremos que establecen las metas de recolección y valorización en Chile para estas categorías (Ministerio del Medio Ambiente, 2017). Además, estos decretos supremos establecen la categorización de cada una de estos productos. Es por esto, que de acuerdo al diagnóstico local que se realizó en la ciudad de Coyhaique, para cada uno de los productos prioritarios establecidos en la Ley REP, la selección del residuo prioritario con mayor impacto sobre el entorno local radica en tres criterios:

- Tonelaje disponible
- Accesibilidad y proyección
- Generación sostenida

(i) Tonelaje disponible

Como se definió anteriormente, el principal actor dentro de la generación de residuos que se genera a nivel local en Coyhaique corresponde a los Residuos Sólidos Domiciliarios del sector privado. Por tanto, el primer criterio corresponde a la cantidad de residuos disponibles actualmente en las instalaciones del relleno sanitario de la comuna de Coyhaique, lo que se condice con las cifras y valores entregados por la Municipalidad de Coyhaique frente a los residuos que ingresan al recinto y los porcentajes de participación de cada residuo en el tonelaje entrante. En base a esto, el residuo prioritario más importante en este nivel corresponde al sector envases y embalajes, con más de un 30% de los residuos que ingresan al relleno sanitario (BIOAQUA, 2013). Los restantes 70% se distribuyen entre residuos con menor hegemonía y residuos orgánicos no reciclables.

(ii) Accesibilidad y proyección

El segundo criterio corresponde a la accesibilidad del residuo, puesto que es muy preponderante el acceso a estas potenciales materias primas para establecer un plan de reciclaje. En base a esto, la accesibilidad que tienen los Residuos Sólidos Domiciliarios es elevada, puesto que existe un origen común el cual corresponde a los hogares y comercio local. Esto tiene un alto nivel de accesibilidad, el cual puede ser alcanzado con un buen sistema de gestión de residuos, en el cual se establezcan obligaciones y estándares para los envases y embalajes generados de estos lugares.

(iii) Generación sostenida

Por último, uno de los criterios más importantes de selección corresponde a la generación sostenida del residuo, con tal de poder proveer de manera estable a un proceso de reciclaje. El sector envases y embalajes es el único producto prioritario que se ha mantenido en el tiempo y ha elevado su producción a lo largo de los años. Esto se condice con el aumento de la población, puesto que actualmente la cantidad de envases y embalajes utilizados o generados va de la mano con la cantidad de personas que habitan un lugar.

En conjunto con la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Aysén, se realizó una matriz de prioridades establecida en base a los criterios analizados establecidos

anteriormente, lo que muestra un orden de hegemonía para los 6 productos prioritarios que establece la ley (Tabla 15), donde 1 corresponde a la mayor prioridad y 6 la menor.

Tabla 15. Matriz de prioridades para establecer el criterio con mayor importancia en Coyhaique.

	Envases y Embalajes	Neumáticos fuera de uso	Pilas	Baterías	Artefactos eléctricos y electrónicos	Aceites lubricantes
Tonelaje disponible	1	2	6	5	3	4
Accesibilidad y Proyección	1	3	6	5	2	4
Generación sostenida	1	3	6	5	2	4

Es por esto que la categoría envases y embalajes es la más importante en la ciudad de Coyhaique y será utilizada en este estudio para elaborar una alternativa de reciclaje. Ahora bien, dentro del sector envases y embalajes existen subcategorías, de las cuales la más importante a nivel de generación y reciclaje corresponde a envases plásticos. Esta categoría sigue la misma línea que los envases y embalajes en los criterios establecidos anteriormente y será el producto que se atacará con el plan de acción a generar.

7.4 PLAN DE ACCIÓN

Según lo establecido en la sección anterior y en base a los criterios de selección del residuo más importante en la ciudad de Coyhaique, es importante establecer el plan de acción que se tomará con este producto. El plan de acción entonces, será desarrollado en base a la generación y disponibilidad de residuos plásticos tipo PET que existe en la ciudad de Coyhaique.

El plan de acción a tomar, corresponde a realizar un estudio de pre factibilidad técnica y económica de la implementación de una planta recicladora de plásticos y productora de PET reciclado o RPET, utilizando como insumo o materia prima principal los residuos sólidos municipales generados por los hogares de Coyhaique. Para lo anterior, se dividirá el estudio en tres partes: estudio de mercado, técnico y económico, lo que facilitará el análisis de cada una de las aristas del proyecto. Finalmente, se realizarán recomendaciones de inversión en base a lo determinado en cada uno de los estudios.

7.4.1 ESTUDIO DE MERCADO

7.4.1.1 SEGMENTACIÓN DEL MERCADO OBJETIVO

La historia de la sociedad actual de la que formamos parte, se viene construyendo desde siempre y la mayoría de lo que ocurre a nivel mundial o nacional es producto de las acciones que se repiten con el tiempo y que en algunos casos son corregidas por el bien de la sociedad o del planeta. La cultura capitalista en la que se desenvuelve el mercado nacional y mundial, ha permitido que cada vez las personas naturales eleven el consumo de todo lo que utilizan en su diario vivir. Lo anterior va de la mano con el desarrollo del país, puesto que el índice de desarrollo es directamente proporcional al PIB per cápita, lo que se traduce en mayor oportunidad de utilizar los ingresos para adquirir productos.

El plástico es un material actualmente universal, que es utilizado para envolver todo tipo de productos y utilizado en un sinfín de procesos y productos. Esto es posible de verificar fácilmente, puesto que todo lo que utilizamos diariamente tiene algún tipo de plástico involucrado.

Sin embargo, ya no solo es interesante e importante el poder adquirir y utilizar algunos productos, sino entender cuál será su destino luego de que los utilizamos y desechamos. En este sentido, un sector de la sociedad aboga por contribuir con un modelo económico circular en el cual el reciclaje y la recolección de residuos tomen un papel importante. El plástico por tanto, no se encuentra ajeno en esta realidad y las cifras prueban que es así. Actualmente, la distribución de residuos plásticos generados en Chile tiene la siguiente distribución:

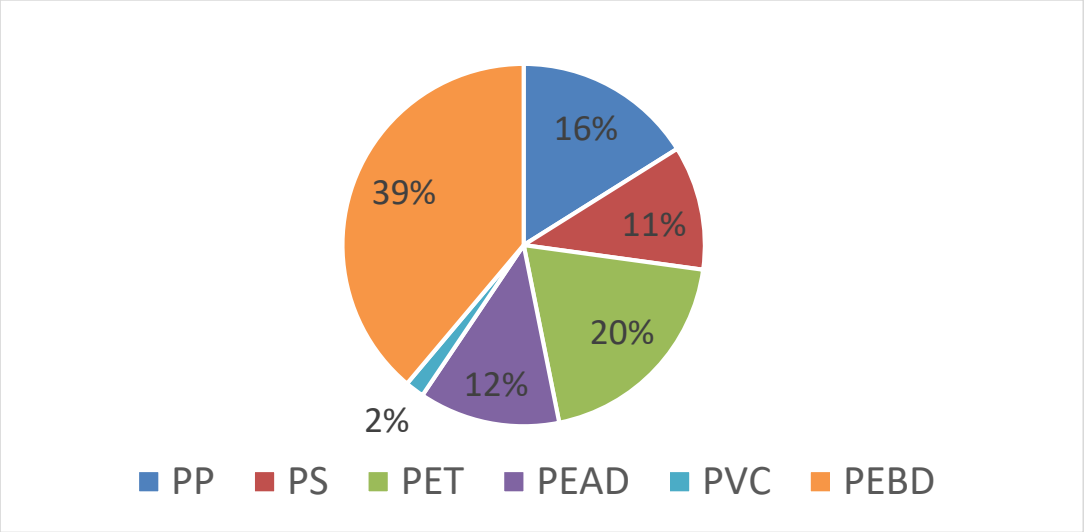

Figura 21. Distribución de los residuos plásticos que llegan a rellenos sanitarios en Chile. PP: Polipropileno, PS: Poliestireno, PET: Polietileno tereftalato, PEAD: Polietileno de alta densidad y PEBD: Polietileno de baja densidad. Fuente: ASIPLA, 2016.

Una de los tipos de plásticos más importantes y con mayor uso a nivel domiciliario, corresponde al PET (Polietileno tereftalato), el cual abarca el 20% del total de residuos tipo plásticos generados a nivel nacional y domiciliario. Este segmento es aquel que se abordará durante este estudio, principalmente el segmento generado en la localidad de Coyhaique, dado el conocimiento y la simpleza del proceso de tratamiento principalmente.

Ahora bien, el mercado del plástico tipo PET en Chile, se centra dentro de unas pocas empresas y usos, puesto que la mayoría de la demanda nacional es sustentada por las importaciones y Chile no es un productor de PET a nivel industrial. De acuerdo con esto, la distribución del mercado de botellas PET en Chile se puede visualizar en la Tabla 16.

Tabla 16. Distribucion principales usuarios botellas PET en Chile. Fuente: ASIPLA, 2016.

Principales usuarios de botellas PET	Participación
Bebidas no alcohólicas	75%
Alimentos	15%
Fármacos	10%

El panorama es algo intuitivo respecto de lo que se observa en el día a día, donde el plástico tipo PET se presenta en todo el universo de botellas que almacenan algún liquido sin alcohol y es a este sector que debe enfocarse el estudio, puesto que de un tiempo a esta parte la conciencia acerca de utilizar envases que en su composición tengan un porcentaje de materia prima proveniente de reciclaje ha aumentado. En este sentido, a lo largo de los años

las empresas han comenzado a incluir PET reciclado dentro de sus procesos productivos por lo que el reciclaje de las botellas PET toma un lugar privilegiado dentro del mercado.

7.4.1.2 ESTRATEGIA DE POSICIONAMIENTO

La sociedad chilena se caracteriza por una escasa valoración al medio ambiente. Esta carencia de conciencia ecológica se explica por múltiples factores, siendo la ausencia de sus contenidos en los programas de educación una de las principales razones que han impedido la promoción de valores, habilidades y actitudes en beneficio de su cuidado y protección, la indiferencia y como consecuencia directa la falta de compromiso. Esta resistencia a adoptar conciencia ambiental, es uno de los mayores obstáculos para lograr el compromiso con la clasificación de los residuos sólidos domiciliarios (Pasten, 2010).

Sin embargo, durante los últimos 8 años la población ha ido asumiendo un mayor compromiso o disposición hacia iniciativas con repercusiones positivas en el medio ambiente. Varios estudios de percepción y actitudes ciudadanas realizados por diversos centros de opinión del país en los últimos cuatro años, muestran un aumento sostenido en el porcentaje de personas que están dispuestos a cancelar por un producto o servicio amigable con el medio ambiente (CIPA, 2014). Es este cambio de conciencia una de las principales estrategias de posicionamiento primero en el mercado del reciclaje que es un segmento muy acotad y segundo en el mercado de los plásticos tipo PET en Chile que es un mercado más vasto y con una participación importante en el mundo de los alimentos.

La estrategia de posicionamiento de este estudio se puede dividir en tres aristas principales, las cuales tienen un enfoque y aplicación distinta, sin embargo convergen hacia el mismo objetivo y se complementan si se desarrollan de una manera óptima.

(a) La primera arista corresponde a la mencionada anteriormente, una mirada hacia el medio ambiente y como la conciencia ecológica repercute actualmente en la sociedad chilena a nivel regional. Esto ya que uno de los objetivos del estudio corresponde a disminuir la cantidad de material plástico que es enviado hacia disposición final y utilizar esta porción como materia prima de un proceso productivo. Esto convierte al proyecto en una alternativa con conciencia ecológica y es complementado con la idea de que actualmente se están impulsando alternativas que contribuyan a transformar la economía lineal desechable en una economía circular reciclable y reutilizable. Esto se termina de consolidar con la percepción social que existe respecto de la basura y los residuos sólidos domiciliarios, esto ya que durante el 2017 se realizó un encuesta de percepción social por el Ministerio del Medio Ambiente, estableciendo que en la ciudad de

Coyhaique el 10% de los encuestados establece que la situación de la basura es preocupante y lo consideran como un problema ambiental local (Ministerio del Medioambiente, 2017). Así mismo, el 80% de las personas encuestadas ha manifestado que están dispuestos a reciclar o contribuir con alguna forma de reciclaje, solo que por diversas razones, operacionales o culturales, no lo han hecho (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Esta primera arista, permite dilucidar que el proyecto tiene un atractivo medioambiental y social, lo que será utilizado como herramienta de posicionamiento en el mercado.

(b) Por otra parte, la segunda arista corresponde al componente legal y administrativo en el cual está enmarcado este estudio, lo que genera una oportunidad y distinción del proyecto respecto del momento en el cual se quiere gestionar y la alternativa de implementación que posee la idea. Es así como la Ley Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje, es en este caso una estrategia de posicionamiento fuerte y real, puesto que desde el 2016 está en vigencia la ley que exigirá a los productores hacerse cargo de la gestión del reciclaje de sus productos de acuerdo a las metas de valorización que el Ministerio del Medio Ambiente establezca. Es por esto, que el proyecto es atractivo para las empresas que ingresan botellas tipo PET al mercado nacional, ya que genera una alternativa de reciclaje de sus productos y los ayuda a cumplir con lo estipulado por el ministerio.

(c) Finalmente, la última arista corresponde al sector de mercado que se quiere abordar, el cual corresponde al sello de una empresa verde que contribuye y se dedica al reciclaje. A nivel local en Coyhaique, existe solo una alternativa de reciclaje para residuos sólidos domiciliarios, la que corresponde a Fecunda Patagonia, una empresa dedicada al acopio de residuos del tipo domiciliarios, prevalentemente envases y embalajes para su posterior envío hacia el norte del país donde serán procesados en distintas empresas. En base a esto, la implementación de una planta recicladora de plástico tipo PET en la ciudad de Coyhaique tiene un potencial elevado puesto que localmente no existe mayor competencia y formaría a ser parte de las pocas alternativas para contribuir con reciclaje a nivel local.

7.4.1.3 IMPORTACIÓN O PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO EN CHILE

Hasta el año 2005, Chile no era un productor de envases y botellas tipo PET, puesto que no era un mercado rentable y los precios de importación de este producto eran relativamente bajos. De esta forma, el mercado nacional se sustentaba en un 100% con las

importaciones, hasta hace unos años donde las empresas transnacionales, principalmente de bebidas no alcohólicas, comenzaron a fabricar en territorio nacional sus propios envases (Aguilera, 2010).

La producción actual de envases tipo PET en Chile tiene un orden de magnitud bajo respecto de otros países productores que son exportadores y grandes potencias. De la producción total de plástico a nivel nacional aquella que forma parte del tipo PET corresponde a un 17% en promedio los últimos 4 años. La producción de los últimos años se muestra en la siguiente figura:

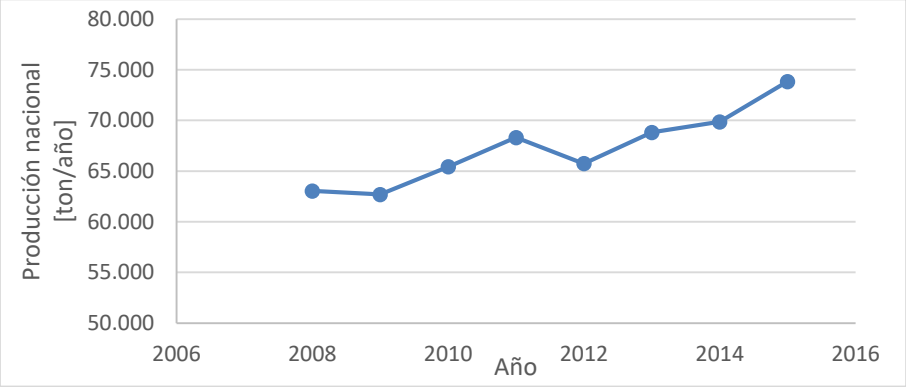

Figura 22. Producción nacional de plástico tipo PET entre los años 2008 al 2015. Fuente: Adaptado de CENEM, 2016.

La producción nacional al igual que el consumo aparente de plástico ha aumentado progresivamente durante los últimos 10-15 años, sin embargo el consumo general de plásticos entre los años 2008 al 2013 tuvo un aumento del 24%, mientras que el sector PET lo hizo a un ritmo medio de 5,4% anual (CENEM, 2016).

Por otra parte, las importaciones de plástico PET en Chile tienen un papel relevante en el mercado puesto que entre los años 2012 a 2015 las importaciones de este producto tuvieron una participación entre un 24% y un 32% de la demanda total de este plástico (CENEM, 2016). En la siguiente figura se muestra la evolución de las importaciones en los últimos años:

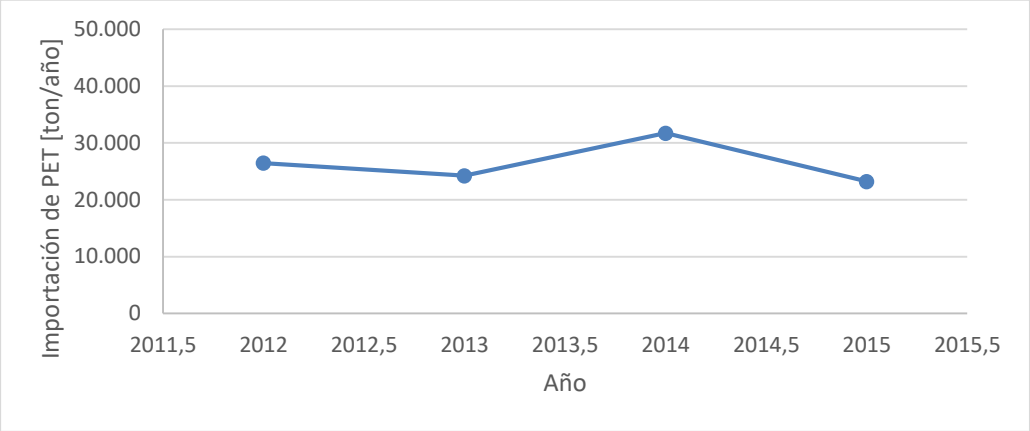

Figura 23. Importaciones de plásticos tipo PET en Chile entre 2012 y 2015. Fuente: Elaboración propia en base a datos de (CENEM, 2016).

7.4.1.4 PRECIOS HISTÓRICOS DEL PRODUCTO

Los precios históricos del PET y de todos los polímeros o termoplásticos, tienen mucha relación con el mercado de los combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural. En este sentido, la volatilidad de los precios del PET es elevada, puesto que en los últimos años los mercados de estos combustibles fósiles han manifestado alzas y bajas (Tecnología del Plástico, 2011).

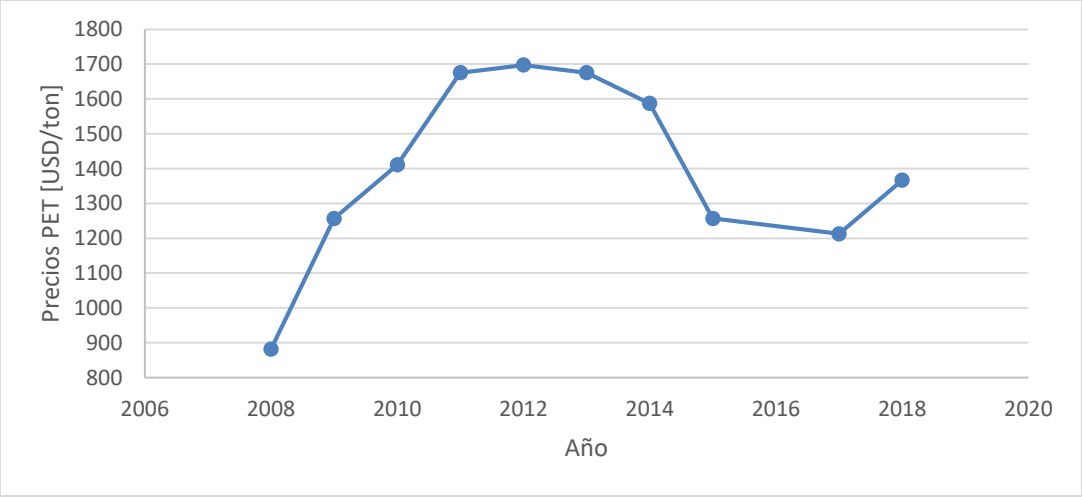

Figura 24. Evolución histórica de los precios del PET entre los años 2008 al 2018. Fuente: Elaboración propia en base a datos de (Plastic News, 2018)

Entre 2011 y 2014 los precios del PET estuvieron sobre el umbral de los 1500 [USD/ton] lo cual es bastante elevado al precio que alcanzó cerca de 2016 la resina, momento en el cual bordeó los 1200 [USD/ton]. Aun así, la proyección indica que dada la estabilidad del mercado del petróleo y el gas natural, los precios tenderán al alza pero manteniendo un crecimiento normal y no exponencial como se visualiza entre los años 2008 al 2010.

7.4.1.5 PROYECCIÓN DEL CONSUMO NACIONAL

El mercado de plásticos PET en Chile como se vio en las secciones anteriores, no tiene mayor participación en la economía nacional puesto que la comercialización y utilización de este producto no es el fuerte de los ingresos nacionales. Ahora bien, el consumo nacional de plástico tiene los segmentos de mercado muy marcados y casi el 75% del consumo nacional se concentra en el mercado de bebidas no alcohólicas, por lo que es el tramo más importante de la realidad nacional.

Ahora bien, este 75% corresponde a una industria alimenticia que cada vez ha tenido un mayor impacto sobre la población nacional y mundial, teniendo un progresivo aumento a través de los años. De esta forma, la demanda de este tipo de productos aumenta a medida que la población nacional y regional lo hace, por lo que es un hecho seguro que en los próximos años, el consumo de plástico tipo PET aumente concorde a lo que la población experimente.

CENEM, Centro de Envases y Embalajes de Chile, entrega un anuario estadístico con información muy relevante de este sector en el país, con cifras que ascienden desde la participación en el mundo de los envases y embalajes, hasta cifras de reciclaje y contribución nacional. En base a esta información, el consumo nacional de plásticos tipo PET durante los últimos años se muestra en la siguiente figura (Figura 24):

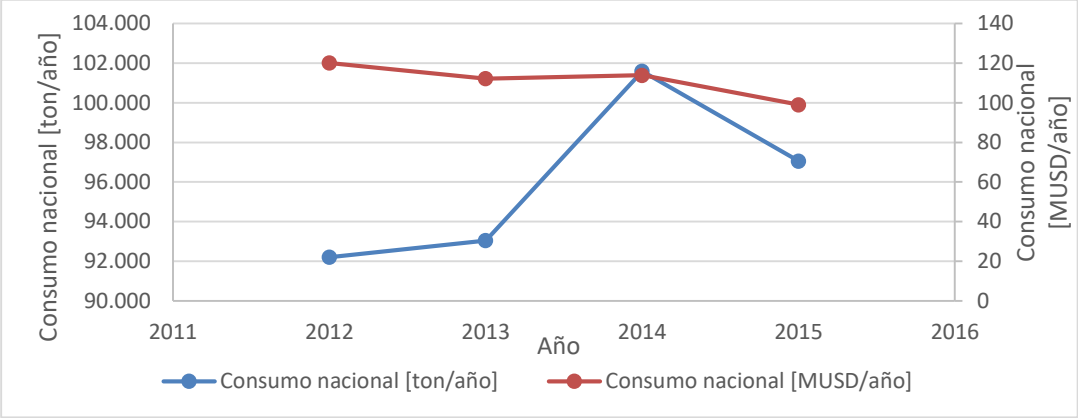

Figura 25. Consumo nacional de plásticos tipo PET en Chile y participación en el PIB nacional. Fuente: Elaboración propia en base a datos de CENEM, 2016.

Según lo mostrado en la figura, se indica que el consumo nacional en los últimos 5 años ha tenido una tendencia al alza y a pesar de la disminución que tuvo entre los años 2014 a 2015, debiera mantener esta tasa de crecimiento, la cual asciende a un 5% anual aproximadamente. Por otra parte, la participación de este segmento en la economía nacional ha disminuido en los últimos 5 años, principalmente por la caída de los precios del producto.

7.4.1.6 ANÁLISIS PEST Y FODA

Los siguientes análisis fueron elaborados en reuniones y conversaciones en conjunto con la SEREMI del Medio Ambiente y se evaluaron todos los puntos expuestos. Esto dio como resultado el Análisis PEST (Político, Económico, Social y Tecnológico) y FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) que se muestra a continuación:

a) Análisis PEST

- Político-legal

El ámbito político-legal es uno de los más relevantes en este proyecto, puesto que una oportunidad y alternativa efectiva es la entrada en vigencia el año 2016 de la Ley de Fomento al Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor, reglamento que obliga a los productores e importadores de plásticos en Chile a hacerse cargo del reciclaje y gestión de los productos que ingresan al mercado una vez cumplan su ciclo de vida. Esto permite que la implementación de un proyecto de reciclaje de un producto como plástico PET sea relevante dada la contingencia nacional.

Actualmente el Ministerio del Medio Ambiente se encuentra desarrollando los reglamentos que dictaminen las metas de valorización según producto y lugar. En este sentido, la región de Aysén deberá contribuir con el traspaso de esta economía lineal a un modelo circular. Esto permite que la búsqueda de alternativas de reciclaje en la región sea una actividad inminente y la implementación de una planta de reciclaje con posibilidad de extensión y desarrollo sea una alternativa atractiva.

Lo anterior va de la mano con el aspecto económico, puesto que por la obligación de un reglamento las empresas deberán financiar alternativas de reciclaje, reutilización y recuperación de los residuos que ingresan al mercado. Esto es una oportunidad para que la implementación de una planta de reciclaje de PET en la región de Aysén sea atractivo en el ámbito legal.

- Económico

Uno de los aspectos más relevantes en el estudio de pre factibilidad de un proyecto, corresponde a la situación económica no sólo del sector, sino también del país y la región donde se quiera emplazar la idea. De esta manera, es importante acotar que las importaciones de plástico PET tienen una participación importante dentro del mercado nacional, lo que genera una dependencia hacia lo que pueda pasar con las importaciones. Uno de los objetivos que debe tener este proyecto por lo tanto, corresponde a disminuir esa participación para contribuir a la independencia y tener un acceso mayor en la producción nacional. Lo anterior es muy importante puesto que el precio del producto en el mercado está dado principalmente por el precio de las importaciones, por lo que si se disminuye la brecha este precio tendrá independencia.

Por otra parte, la economía nacional sigue teniendo números positivos, aun cuando el ritmo medio de crecimiento ha disminuido a través de los años. Esto indica que el momento nacional sigue siendo favorable en cuanto a nuevos proyectos e ingresos. A su vez, la economía regional en la XI región de Aysén se encuentra en un periodo de receso.

- Social

El ámbito social de este proyecto es interesante de analizar, puesto que uno de los actores más importantes en el mercado del reciclaje, al menos en el reciclaje a nivel domiciliario, corresponde a los grupos de personas naturales. En base a esto, durante los últimos años la sociedad ha impulsado el uso de productos con un nivel de sustentabilidad mayor, aportando desde lo más mínimo en la cultura del reciclaje hasta ser parte del motor que mueve este mercado a nivel regional.

Encuestas realizadas por instituciones nacionales en el marco del reciclaje han concluido que uno de los principales focos de contaminación que advierte la población, corresponde a la generación de basura y la mala gestión de los residuos, por lo que el impulso de un proyecto que contribuya con la descongestión de los lugares de disposición final de residuos y con un fin sustentable tiene una aceptación importante a nivel social.

Por otra parte, la contribución y participación que tiene la sociedad en el desarrollo de proyectos de reciclaje es sin duda uno de los puntos a analizar, puesto que actualmente las iniciativas de reciclaje a nivel regional nacen desde proyectos privados impulsados por la sociedad y que actúan en entornos sociales importantes, como por ejemplo barrios comerciales, poblaciones importantes y lugares accesibles a todos. Esto se condice con la disposición que muestra la sociedad a aportar iniciativas de este estilo, lo que corresponde a un 80% de las personas generalmente. Lo anterior establece que el proyecto tendría una buena aceptación social en el marco del análisis realizado, por lo que es atractivo.

- Tecnológico

El ámbito tecnológico también es un aspecto preponderante en el análisis de factibilidad de un proyecto como este, puesto que la optimización de la mejor tecnología productiva para lograr la manufactura del producto es una piedra angular en este proyecto. Actualmente, las tecnologías han dado un salto y todos los procesos productivos de plásticos PET han incluido grandes innovaciones. De esta forma, cada vez se utiliza más PET reciclado en los procesos productivos y el contenido de material reciclado es mayor.

Por otra parte, a nivel nacional las empresas que se dedican a la producción de plásticos PET a base de reciclaje son muy escasas y su nivel de producción es muy inferior a aquellas empresas que mundialmente son reconocidas. Así mismo, la tecnología a la cual apunta este sector es una tecnología menos avanzada de acuerdo a la capacidad productiva que tienen las instalaciones en Chile. Esto es un aspecto poco atractivo para la evaluación del proyecto, sin embargo es la realidad que engloba al mundo del reciclaje nacional.

b) Análisis FODA

- Fortalezas

-La escala del proyecto permite que la materia prima necesaria esté disponible en su totalidad y no existan problemas de abastecimiento. Adicionalmente, el hecho de que no exista otra alternativa de reciclaje de esta magnitud, lo convierte en el principal actor de este mercado a nivel regional y local.

- Oportunidades

-Desarrollar un proyecto que cumpla y se acerque a lo establecido en la Ley de Fomento al Reciclaje, ya que establece una alternativa temprana para alcanzar las metas propuestas.

-El proceso productivo a implementar es un proceso sencillo, que asegura la calidad del producto a comercializar, en este caso el PET reciclado. Esto permite que la instalación del proceso productivo sea rápido y pueda ser controlado fácilmente.

-El aumento progresivo en la generación de residuos sólidos domiciliarios permite que la gestión de residuos y la búsqueda de una alternativa de reciclaje sea atractiva y tenga una oportunidad dentro del mercado regional.

-Las escasas alternativas de reciclaje que actualmente se encuentran en marcha en la ciudad de Coyhaique generan una oportunidad enorme para el proyecto puesto que la disponibilidad de materias primas prácticamente seria exclusiva.

-La necesidad de las empresas por cumplir con las metas de valorización de residuos impuestas por el Ministerio del Medio Ambiente es una oportunidad de ingreso al mercado del reciclaje, entregando una solución a los problemas de contaminación ambiental detectado por el pueblo de la ciudad de Coyhaique.

-La oportunidad de disminuir la emanación de gases con efecto invernadero, especialmente las emisiones de CO_2, son un alternativa que aporta sustentabilidad y generan una oportunidad para el proyecto.

- Debilidades

-Una gestión adecuada de residuos es necesaria para que el proyecto tenga forma y actualmente en la ciudad de Coyhaique la única gestión que existe es la llevada a cabo por la municipalidad donde se envían todos los residuos al relleno sanitario. Es por esto que debe existir una correcta gestión de residuos y separación de ellos desde el origen, lo que en este caso es una debilidad.

-La falta de una institución reguladora y que englobe a las empresas generadoras de residuos, las que gestionan los residuos y aquellas que se encargan de reciclarlos o reutilizarlos, es una debilidad puesto que no existe una coordinación o responsabilidad entre las empresas lo que mejora la gestión.

-La educación medioambiental es uno de los aspectos más importantes de este proyecto, puesto que la funcionalidad depende de los residuos sólidos municipales generados por los hogares. Así mismo, en Chile no existe educación medioambiental de calidad y la sociedad es displicente frente a estos aspectos lo que corresponde a una debilidad del proyecto.

- Amenazas

-La lejanía de la región de Aysén con los grandes focos urbanos de Chile corresponde a una amenaza para el proyecto, puesto que se encuentra muy alejada y casi desconectado con los grandes entes industriales.

7.4.2 ESTUDIO TÉCNICO

7.4.2.1 TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

El plástico tipo PET es uno de los elementos más utilizados en el mundo de los plásticos, pues tiene usos con distintas aristas, desde la utilización en envases de alimentos como en fibras textiles. Así mismo, como el PET es una parte de la familia de los poliéster y como una característica esencial de este plástico es ser un termoplástico, esto indica que los residuos de este tipo de material pueden ser reutilizables y traen consigo beneficios económicos utilizando los correctos métodos de reciclaje (Welle, 2011). Es en base a esto, que la elección del método de reciclaje a emplear para los residuos domiciliarios tipo PET generados en la ciudad de Coyhaique, es una elección importante en la evaluación de una alternativa de sustentabilidad.

Las tecnologías de reciclaje de plásticos tipo PET son bastante variadas y algunas tienen más complejidad que otras, de esta manera se diferencian en dos tipos de procesos: Proceso de reciclaje químico y Proceso de reciclaje mecánico. A continuación se muestran las principales diferencias entre ambas alternativas, sin embargo en la evaluación técnica y económica solo se evalúa el proceso de reciclaje mecánico por las ventajas que tiene sobre el reciclaje químico.

a) Proceso de reciclaje químico

La producción de tereftalato de polietileno se realiza mediante un proceso complejo y peligroso puesto que se llevan a cabo reacciones químicas que involucran altas temperaturas y presión. Estas reacciones permiten que el ácido tereftálico y el etilenglicol pasen por una esterificación y posteriormente se polimericen (Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2014). En base a esto, el proceso de reciclaje químico de plásticos tipo

PET, lleva a cabo algunas reacciones que permiten separar las cadenas formadas en el proceso productivo inicial y depolimerizar completa o parcialmente el compuesto (Leian Bartolome, 2012). Los distintos métodos que existen en el reciclaje químico para el reciclaje del PET, difieren primero en la técnica utilizada para la despolimerización química del PET y segundo en el uso final que se le quiera dar al producto obtenido (Juan Roberto Herrera Reséndiz, 2012). Las técnicas más utilizadas en el reciclaje químico del PET corresponden a: hidrolisis, metanólisis, glicolisis y aminólisis. La diferencia entre cada una de estas técnicas corresponde a la ruta de síntesis por la cual pasa el plástico PET para volver a los polímeros iniciales utilizados en el proceso convencional. Uno de los puntos más importantes en estas técnicas corresponde a los elevados costes que tiene (Pinochet, 2017).

b) Proceso de reciclaje mecánico

El reciclaje mecánico se extiende a operaciones cuyo objetivo es recuperar algún material, en este caso plásticos, vía procesos mecánicos (trituración, lavado, separación, secado, re-granulación o extrusión), con el fin del producir materiales reciclados que sean convertidos en productos vírgenes o nuevos. En el caso de los plásticos, el reciclaje mecánico solo es aplicable a aquellos plásticos que pertenecen a la categoría de termoplásticos, es decir, materiales tipo polímeros que pueden volver a ser procesados y fundidos en nuevos productos sin perder sus propiedades físicas o químicas (Plastics Recyclers Europe, 2018).

El reciclaje mecánico del PET es un proceso mucho más simple que el reciclaje químico, puesto que consiste normalmente en la eliminación de la contaminación mediante un proceso de clasificación, trituración, separación secundaria, lavado y secado y fundido (Pinochet, 2017). Este proceso es amigable con el medio ambiente y a escala industrial es uno de los más utilizados en los grandes países generadores de residuos. A continuación se muestra un diagrama con las operaciones que se involucran en este proceso:

Figura 26. Etapas del proceso de reciclaje mecánico del PET post consumo. Fuente: Pinochet, 2017.

El proceso de reciclado del PET es extremadamente dependiente de las primeras etapas del proceso productivo, puesto que primero la recolección de residuos es el input de la planta, lo que determinará la capacidad de producción de la misma y en segundo lugar, la separación entregará el porcentaje de pureza que logrará el proceso.

La etapa de recolección de residuos es aquella a la cual aqueja la implementación de la Ley de Fomento al Reciclaje, puesto que los productores de envases PET deberán encargarse de la recolección mediante recicladores de base o sistemas de recolección que cumplan los requisitos propuestos por la normativa.

La segunda etapa tiene sub-etapas dentro de ella también, una clasificación manual del material que ingresa a la planta en un inicio, seguida por la separación mediante flotación de plásticos, donde se agrega una solución diluida de hidróxido de sodio a una temperatura media con aditivos para que la eficiencia de la separación por flotación sea elevada.

La trituración del material se lleva a cabo en molinos de cuchillas y permite que el material sea más manipulable y el lavado sea exhaustivo. En esta etapa se disminuye considerablemente el tamaño de partícula del PET. Posteriormente, este material pasa a la etapa de lavado en la cual se eliminan los residuos orgánicos remanentes en el material. Este lavado contempla dos etapas siendo la primera de ellas un lavado en caliente con una solución de NaOH al 2% y detergente a 70°C y posteriormente un lavado en frio con agua de proceso.

El material lavado es secado para disminuir las probabilidades de que el PET se degrade producto de la hidrolisis y así aumente su pureza (Pinochet, 2017). El secado se lleva a cabo en distintos tipos de secadores que funcionan a no muy altas temperaturas puesto que la degradación del PET se favorece a altas temperaturas, lo anterior permite mantener un porcentaje mínimo de humedad en el material que ingresa a extrusión.

Finalmente, el material triturado, lavado y seco se procesa en un sistema de extrusión normal en pellets útiles. Este proceso se realiza a altas temperaturas (280°C) puesto que debe fundirse el plástico para formar escamas o pellets.

7.4.2.2 UBICACIÓN Y DISEÑO DE LA PLANTA

7.4.2.2.1 UBICACIÓN

La ubicación de la planta es un factor importante a evaluar dentro de la factibilidad del proyecto, puesto que debe ser primero acorde a las necesidades de servicios e insumos y segundo debe encontrarse en un sector industrial que no genere impactos al ambiente o a la sociedad de mayor manera. En este sentido, las necesidades de la planta son las siguientes:

-Suministro de gas natural para alimentar caldera.
-Suministro de agua de proceso para alimentación a las líneas de proceso.
-Emisiones de CO_2 al medio ambiente.
-Circulación regular de camiones distribuidores de materias primas.
-Circulación regular de camiones distribuidor de producto.

De acuerdo con esto, es imperante la ubicación de la planta en un sector industrial en las cercanías de la ciudad de Coyhaique, que permita tener conectividad con la alimentación de materia prima proveniente de los Residuos Sólidos Municipales. Es por esto, que se barajan dos alternativas de ubicación. La primera de ellas corresponde a ubicar la planta en la entrada sur de la ciudad de Coyhaique, sector Recta Foitzick, sector que se caracteriza por ser industrial y no estar dentro del plano regulador de la ciudad de Coyhaique como un sector urbano (Municipalidad de Coyhaique, 2018). Este sector se encuentra a 5 kilómetros de Coyhaique por la Ruta 7 y su accesibilidad es elevada, a continuación se muestra la ubicación satelital:

Figura 27. Ubicación 1 de la planta de reciclaje mecánico en la ciudad de Coyhaique. Fuente: Google Earth.

Por otra parte, la segunda alternativa de posicionamiento corresponde al sector Las Bandurrias, camino a Coyhaique Alto, camino que conecta internacionalmente la región y que forma parte de la cadena de distribución más importante a nivel regional. Este sector es un sector industrial también, que tiene en sus cercanías las instalaciones del relleno sanitario, lo que forma parte de una oportunidad para el proyecto. Este sector se encuentra en la Ruta 243 a 10 kilómetros de Coyhaique.

Figura 28. Ubicación 2 de la planta de reciclaje mecánico en la ciudad de Coyhaique. Fuente: Google Earth.

Las posibles ubicaciones de la planta cumplen con los requisitos de funcionamiento de la planta de reciclaje mecánico, por lo que son alternativas viables de ubicación y no tienen mayores complicaciones o restricciones dadas las características del lugar en el cual se encuentran.

7.4.2.2.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS

El diagrama de flujo de procesos de la planta que se quiere implementar tiene directa relación con el proceso productivo o de reciclaje que se va a adaptar en las instalaciones. De esta manera, el diagrama de flujos se basa en el proceso de reciclaje mecánico del plástico PET recolectado en la ciudad de Coyhaique para la producción de pellets de PET reciclados.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de procesos de la planta recicladora de PET que se está evaluando instalar en la ciudad de Coyhaique:

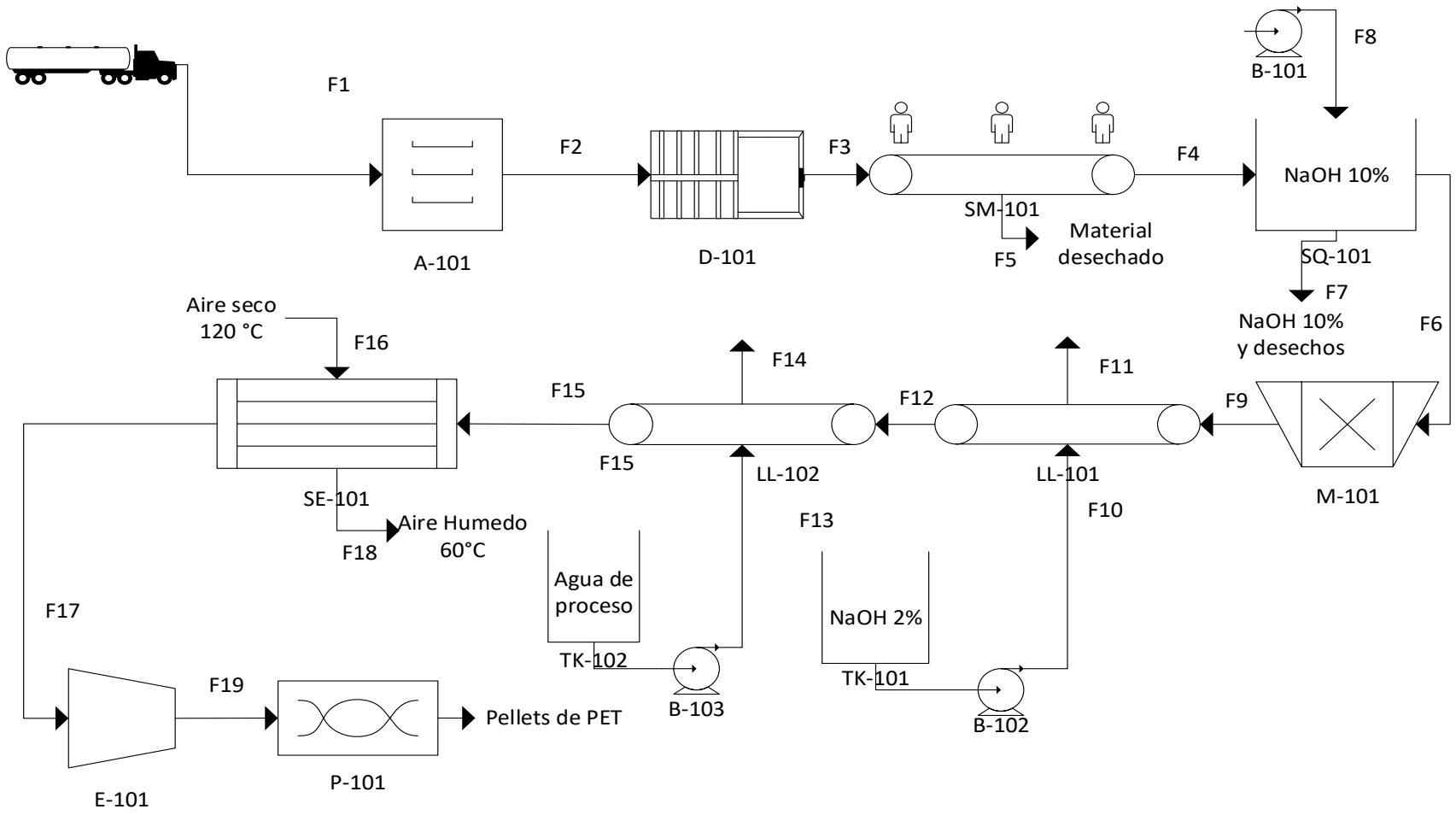

Figura 29. Diagrama de flujo de procesos de la planta de reciclaje mecánico de plástico PET a implementar en la ciudad de Coyhaique.

El proceso de reciclaje mecánico de plásticos PET que se evalúa se divide en cinco etapas fundamentales que están bien representadas por equipos específicos. Las etapas corresponde a: segregación de material, conminución, lavado, secado y fundición. Para mayor comprensión y claridad, a continuación se adjunta la nomenclatura del DFP y breve descripción de los equipos:

Tabla 17. Nomenclatura del DFP de la planta de reciclaje mecánico.

Equipo	Nombre	Descripción
A-101	Bodega de almacenamiento	Almacenamiento de materias primas (PET recolectado).
D-101	Descompactador	Descompactado de la materia prima que ingresa a la planta para su posterior procesamiento.
SM-101	Separador manual	Segregación manual de la materia prima entrante a la línea de reciclaje mecánico.
SQ-101	Separador químico	Separación química mediante el uso de NaOH en baja concentración.
M-101	Molino de cuchillas	Disminución del tamaño de partículas del plástico PET ingresante a la planta. Tamaño medio 12 $[mm]$.
LL-101	Línea de lavado	Eliminación de materia orgánica en las hojuelas de PET mediante el lavado con solución de NaOH a baja concentración.
LL-102	Línea de lavado	Enjuague del material lavado en la línea anterior, utilización abundante de agua de proceso.
SE-101	Secador de túnel	Eliminación de la humedad de las escamas de PET a ingresar al extrusor, mediante el uso de aire caliente.
E-101	Extrusor	Fundición de las escamas de PET en pellets.
B-101	Bomba centrífuga	Alimentación de solución de NaOH al 10% a SQ-101.
B-102	Bomba centrífuga	Alimentación de solución de NaOH al 2% a LL-101.
B-103	Bomba centrífuga	Alimentación de agua de proceso a LL-102.
TK-101	Tanque de almacenamiento	Almacenamiento de solución de NaOH para ser alimentada a LL-101.
TK-102	Tanque de almacenamiento	Almacenamiento de agua de proceso para ser alimentada a SQ-101 y LL-102.

7.4.2.3 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

Los balances de masa y energía realizados al proceso productivo se basan en el diagrama de flujo de proceso de la planta de reciclaje mecánico y cada una de las corrientes que se enumeran. Adicionalmente, los balances de materia y energía se basan en el objetivo

que tiene el proyecto como misión, el cual corresponde a contribuir al reciclaje activo de la ciudad de Coyhaique y de manera gradual.

De esta manera, el objetivo corresponde a reciclar el 35% de los plásticos tipo PET que se generan como residuos en la ciudad de Coyhaique en un plazo de 10 años. Para esto, se quiere comenzar el proceso de reciclaje de forma gradual desde un 15% aumentando en un 2% la producción anual. Ahora, de acuerdo con lo establecido por el estudio del Gobierno Regional durante el año 2013, las cifras correspondientes a plásticos en los residuos sólidos municipales equivalen a un 16,18%, de los cuales el 19,7% corresponde a PET. Lo anterior entrega una cifra durante el 2017 de $800\ [ton/año]$ de residuos tipo PET. Es así como durante el primer año se quieren procesar $130\ [ton/año]$ y en base a esta cifra se realizaron los balances de energía y materia de la planta.

A continuación se muestra la matriz de corrientes con los flujos de alimentación a cada equipo según el DFP. Los cálculos se detallan en la sección *Apéndice 10.6*:

Tabla 18. Matriz de corrientes de la planta de reciclaje mecánico de PET. Corrientes F1 a F8.

Corrientes/Flujo	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
PET$[kg/h]$	67,71	67,71	67,71	64,32	3,39	62,39	1,93	-
Agua $[kg/h]$	-	-	-	-	-	-	640,0	640,0
NaOH $[kg/h]$	-	-	-	-	-	-	64,0	64,0
Combustible $[m^3/h]$	-	-	-	-	-	-	-	-
Aire $[m^3/h]$	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 19. Matriz de corrientes de la planta de reciclaje mecánico de PET. Corrientes F9 a F13.

Corrientes/Flujo	F9	F10	F11	F12	F13
PET $[kg/h]$	62,39	-	-	62,39	-
Agua $[kg/h]$	-	124,79	124,79	-	311,97
NaOH $[kg/h]$	-	2,50	2,50	-	-
Combustible $[m^3/h]$	-	-	-	-	-
Aire $[m^3/h]$	-	-	-	-	-

Tabla 20. Matriz de corrientes de la planta de reciclaje mecánico de PET.Corrientes F14 a F19.

Corrientes/Flujo	F14	F15	F16	F17	F18	F19
PET $[kg/h]$	-	62,39	-	62,39	-	62,39
Agua $[kg/h]$	280,77	31,20	-	-	31,20	-
NaOH $[kg/h]$	-	-	-	-	-	-

Corrientes/Flujo	F14	F15	F16	F17	F18	F19
Combustible $[m^3/h]$	-	-	-	-	-	-
Aire $[m^3/h]$	-	-	1097,10	-	1097,10	-

Por otra parte, la línea de servicios de la planta contempla la utilización de una caldera alimentada con gas natural con tal de proveer la alimentación de aire al secador de túnel y la temperatura optima del proceso de flotación. Es así como el balance de energía en este sector arroja lo siguiente:

Tabla 21. Balances de energía para alimentar servicios a la planta de reciclaje mecánico.

Item	Valor $[MJ/año]$
$Q_{requerido}$	308,63
Q_{cedido}	342,92
$Q_{perdidas}$	34,29

Finalmente, los balances de materia y energía entregan al proyecto información respecto de la alimentación de materia prima, agua, insumos y servicios que debe tener la planta durante su funcionamiento. Sin embargo, también entrega información respecto de los factores que va a poseer la planta de reciclaje mecánico, de esta manera se resumen en la siguiente tabla:

Item	Flujo	Factor
Materia Prima	$130{,}00\ [t/año]$	$1{,}09\ [t\ MP/t\ PET]$
Producto	$119{,}80\ [t/año]$	–
Combustible	$24627{,}14\ [m^3/año]$	$205{,}58\ [m^3/t\ PET]$
Agua	$2067{,}37\ [m^3/año]$	$17{,}26\ [m^3/t\ PET]$
CO_2	$52{,}50\ [t/año]$	$0{,}4383\ [t/t\ PET]$

7.4.2.4 DISEÑO DE EQUIPOS

El diseño de los equipos de la planta de reciclaje mecánico se basa en el objetivo que tiene la misma, es decir, la cantidad de materia prima que ingresa a la planta. En este sentido, la proyección de la recolección de residuos PET desde los RSD entrega el valor para diseñar los equipos trascendentales en el proceso productivo del R-PET. Así, al primer año se quiere recolectar y por tanto reciclar el 15% de los residuos de plástico PET generados como RSM, lo que equivale a $130\ [t/año]$.

Es importante notar también que el diseño de los equipos fue realizado para que al año 10, es decir, al momento de procesar el 35% de los residuos de plástico PET generados,

los equipos funcionen a un 60% de capacidad, lo que permite seguir elevando la producción anual o ampliar las líneas de proceso. A continuación se presentan las especificaciones técnicas de los equipos principales del proceso productivo. El detalle del diseño se muestra en la sección *Apéndices 10.6*.

- **Molino de cuchillas (M-101)**

Este equipo forma parte de la etapa de disminución de tamaño de las botellas PET que se alimentan a la línea de proceso, con el fin de poder efectuar un lavado eficiente y posterior extrusión del material en nuevos pellets de PET. Este equipo fue diseñado con tal de ser alimentado con un flujo de materia prima al primer año de 130 $[t/año]$.

Tabla 22. Especificaciones técnicas molino de cuchillas M-101 de la planta de reciclaje. Fuente: (Zhangijang Pu Xiong Machinery Company, 2018).

Especificación	Valor
Flujo de operación $[\boldsymbol{kg/h}]$	50-300
Tamaño de partícula [mm]	70-90
Tipo de material que soporta	PVC,PET,PE,PS,PP
Consumo energético $[\boldsymbol{kwh}]$	45
Tipo de Molino	Molino de cuchillas
Vida útil $[\boldsymbol{años}]$	20
Dimensiones $[\boldsymbol{L \cdot A \cdot Al}]$ [mm x mm x mm]	2430x1200x2375

- **Secador de túnel (SE-101)**

El secado del material que ingresa a la extrusora es fundamental en este proceso productivo, puesto que la presencia de humedad en el material contribuye a la despolimerización del PET mediante la hidrolisis. El diseño de este equipo se basa en la humedad que se le debe retirar al material que proviene de las cintas de lavado, el cual corresponde al 10% en peso del flujo total de material. De esta forma, las especificaciones técnicas se muestran a continuación:

Tabla 23. Especificaciones técnicas secador de túnel SE-101 de la planta de reciclaje. Fuente: (Enercom S.A., 2018)

Especificación	Valor
Flujo de material húmedo $[\boldsymbol{kg/h}]$	50-250
Capacidad de evaporación [L/h]	5-35
Tipo de secado	Secado directo contracorriente
Consumo energético $[\boldsymbol{kwh}]$	1.1
Dimensiones $[\boldsymbol{L \cdot A \cdot Al}]$ [m x m x m]	1.8x1.0x1.0

- **Maquina extrusora de pellets (E-101)**

La máquina extrusora de pellets de PET se diseña bajo el flujo de alimentación de plástico en escamas luego de haber sido secado y en base al diámetro que se quieren los pellets. En este sentido, los pellets tendrán un diámetro entre 15 a 30 mm y el flujo anual que se quiere lograr será de 120 $[ton/año]$. De acuerdo con esto, las especificaciones del equipo son las siguientes:

Tabla 24. Especificaciones técnicas de la maquina extrusora E-101 de la planta de reciclaje. Fuente: (USEON Extrusion Machinery, 2018).

Especificación	Valor
Capacidad de extrusión [kg/h]	50-150
Diámetro de extrusión [$\boldsymbol{mm}$]	15-30
Velocidad de giro del equipo [$\boldsymbol{rpm}$]	600
Consumo energético [$\boldsymbol{kWh}$]	30

- **Empaquetadora de sacos de pellets (P-101)**

Luego de ser extruidos los pellets, pasan a la maquina empaquetadora donde son envasados en sacos entre $20 - 50$ $[kg]$. Las especificaciones se muestran a continuación:

Tabla 25. Especificaciones técnicas de la maquina empaquetadora de sascos de pellets P-101 de la planta de reciclaje. Fuente: (Shanghai jinbao Packaging Machinery Company, 2018)

Especificación	Valor
Velocidad de empaquetado [sacos/min]	7-9
Peso de los sacos [$\boldsymbol{kg}$]	20-50
Dimensiones [$\boldsymbol{L \cdot A \cdot Al}$] [$\boldsymbol{m\ x\ m\ x\ m}$]	0,91 x 0,91 x 2,58
Consumo energético [$\boldsymbol{kWh}$]	0,3

7.4.2.5 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación de impacto ambiental del proyecto es una arista muy importante al momento de evaluar la factibilidad técnica económica de la idea, puesto que de una manera indirecta sugestiona al proyecto al momento de implementarlo. Es así como el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) se vuelve un organismo fundamental en esta sección, pues es el quien aprueba o reprueba los nuevos proyectos que ingresan al organismo y en base a su reglamento y lo planteado por la contraparte se decide si se puede emplazar o no.

Esta evaluación se realiza en base a las dimensiones que tiene el proyecto y de acuerdo con el reglamento del SEA, lo primero es determinar si se necesita una Declaración de

Impacto Ambiental (DIA) o si ingresa al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Lo anterior se realiza de acuerdo con Decreto Supremo N°40 del SEA, el cual establece las directrices para la evaluación de un proyecto. Esta normativa establece en su Artículo 3° que los proyectos industriales y afines tienen que ingresar al SEA como una DIA solo si no cumplen con la normativa de emisiones, contaminantes o residuos, establecida por las instituciones nacionales (Ministerio del Medio Ambiente, 2014). En caso de sobrepasar aquellas normativas, deben ingresar al SEIA como un estudio para evaluar su aprobación. Por otra parte, el reglamento también establece que aquellos proyectos con un impacto sobre contaminantes críticos de la zona y con un aporte mayor o igual al 5% de aquel contaminante deben ingresar al SEIA.

La ubicación del proyecto es interesante de analizar, puesto que todo se desarrolla en la ciudad de Coyhaique, ciudad que durante el año 2016 fue la más contaminada de Chile y una de las más contaminadas del mundo por su concentración de material particulado en el aire. Es así como nacen propuesta gubernamentales durante el año 2016 y 2017 para descontaminar la ciudad, estableciendo un Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) el cual contempla regulaciones y directrices con tal de disminuir las concentraciones de MP10 en la ciudad (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). En base a esto, la evaluación del proyecto debe estar centrado en si la planta aporta contaminantes tipo MP10 de forma significativa en la zona donde se emplaza.

El presente proyecto de reciclaje de plástico tipo PET, no tiene como característica principal ser un proceso productivo en el cual se generen desechos tóxicos o emisiones con alto nivel de toxicidad, es más bien un proyecto limpio, puesto que las emisiones que genera son mínimas, alcanzando valores de $0{,}27\ [t\ CO_2/t\ PET]$, sin embargo existe un aporte a los contaminantes comunes dentro de los procesos productivos, tales como $MP10$, NO_x y CO_2. No obstante lo anterior, el aporte realizado por la planta de reciclaje no es significativo, puesto que la significancia está dada por la participación que tiene el contaminante al valor promedio de la zona en contraste con la norma actual, sin embargo el proceso productivo no aporta a este valor y por lo tanto no califica para ingresar al SEIA, esto implica que se tenga que realizar una Declaración de Impacto Ambiental con los siguientes puntos mínimos:

- Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto para la operación y ejecución.
- Relación con las políticas, planes y programas de desarrollo del proyecto, participando de ellos los objetivos de acuerdo a las necesidades del proyecto.
- Información del inicio de la ejecución del proyecto
- Información de las negociaciones con los interesados del proyecto en cuando a mitigaciones ambientales se refiera.

7.4.3 ESTUDIO ECONÓMICO

7.4.3.1 INVERSIÓN Y CONSIDERACIONES

La evaluación de la factibilidad económica del proyecto es fundamental para invertir en un proyecto como este, puesto que la implementación de la planta contempla en su mayoría la viabilidad del rubro para quien se encuentra a cargo del proyecto. De esta manera, de un tiempo a esta parte, los ingenieros dedicados a la evaluación e implementación de plantas y proyectos del tipo industrial, han desarrollado ciertos criterios de inversión y consideraciones que deben ser tomadas en cuenta de manera preliminar.

Es así, como la inversión inicial del proyecto se puede clasificar en dos formas: costos directos y costos indirectos. Siendo los primero de ellos aquellos relacionados de una forma intrínseca con el proceso productivo a implementar y los segundos corresponden a costos incluidos dentro de la inversión que forman parte indirecta de la implementación del proceso. Ahora, cada ítem dentro de la inversión del proyecto es estimado de acuerdo al criterio de evaluación económica de Peters & Timmerhaus. A continuación se muestra el desglose de la inversión inicial, desagregado en costos directos (Tabla 24) e indirectos (Tabla 25):

Tabla 26. Desglose de costos directos y su ponderación sobre la inversión inicial del proyecto. Fuente: (Max S. Peters, 1991)

Costos Directos	
Ítem	**Participación [%]**
Compra de equipos	25
Instalación de Equipos	10
Instrumentación y control	5
Piping	5
Instalaciones eléctricas	2
Edificación	3
Caminos	4
Instalación de servicios	10
Terreno	2

Tabla 27. Desglose de costos indirectos y su ponderación sobre la inversión inicial del proyecto. Fuente: (Max S. Peters, 1991)

Costos Indirectos	
Ítem	**Participación [%]**
Ingeniería y supervisión	10
Construcción	15

Costos Indirectos	
Ítem	**Participación [%]**
Contrato del constructor	4
Contingencia	5

Es en base a estas ponderaciones entonces, como la inversión inicial del proyecto se desglosa y se determina el valor que va a tener el proyecto. Sin embargo, estas ponderaciones forman parte de un estudio de prefactibilidad y por tanto pueden experimentar fluctuaciones. Ahora bien, la determinación total de la inversión inicial se realiza en base al aporte de la compra de equipos para llevar a cabo el proceso productivo, el cual corresponde al 25% de la inversión inicial y se encuentra basado en el DFP de la planta de reciclaje mecánico. Lo anterior se desglosa en la siguiente tabla:

Tabla 28. Inversión en compra de equipos para el proceso de reciclaje mecánico a implementar.

Equipos	Participación [%]	Inversión [USD]
Molino de cuchillas (M-101)	32,61	15.000
Secador de túnel (SE-101)	21,74	10.000
Extrusora (E-101)	5,22	2.400
Empacadora (P-101)	13,04	6.000
Línea de separación manual (SM-101)	4,08	1875
Líneas de lavado (LL-101 y LL-102)	8,15	3.750
Separador químico (SQ-101)	4,08	1.875
Descompactadora (D-101)	2,17	1.000
Bodega de almacenamiento (A-101)	3,26	1.500
Sistema de alimentación y piping	5,65	2.600
Costo Total de Inversión	**100**	**46.000**

Es según esto que la inversión inicial del proyecto asciende a un valor de 184.000 $[USD]$, contemplando los costos directos de inversión y aquellos costos indirectos.

7.4.3.2 MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y SERVICIOS

Uno de los aspectos más importantes del proyecto, corresponde al abastecimiento de la planta de reciclaje con las materias primas necesarias para llevar a cabo el proceso productivo. En este sentido, y según lo que se viene desarrollando hace unos capítulos, las materias primas provienen desde los Residuos Sólidos Domiciliarios de la ciudad de Coyhaique, principalmente los hogares comunes y el comercio local, donde se generan las cifras que se mencionaron anteriormente.

En base a esto, el flujo diario, semanal y anual de materias primas desde la recolección hacia la planta es imperante para que se mantenga en funcionamiento y tenga una producción constante. Para esto, debe quedar claro en el proyecto que la gestión de recolección de residuos no forma parte de la evaluación técnico-económica del proyecto. Sin embargo, es importante mencionar que la gestión adecuada de los futuros puntos limpios, camiones recolectores y personal a cargo de estas tareas deben ser eficientes si se quiere contribuir de alguna manera a que la economía tenga una forma circular más que lineal. Así mismo, la educación ambiental y el apoyo por parte del gobierno deben ser gestados a la perfección para obtener una materia prima de calidad y con regularidad.

Es así como la gestión de la recolección y disposición de la materia prima, en este caso los RSD plásticos tipo PET, se abarcaran como un servicio que debe contratarse y corresponderá, por lo tanto, al costo por tonelada dado por la gestión de recolección. Este ítem corresponderá a la sección materias primas, las cuales tienen directa relación con las metas de reciclaje establecidas por el proyecto. Es así como al primer año, se quiere procesar el 15% de los RSD correspondientes a PET, aumentando gradualmente este valor hasta un 35% en 10 años. Según esto y en base al estudio del gobierno regional del año 2013, la alimentación de materia prima al proceso productivo se muestra en la siguiente tabla junto con la participación de los RSD:

Tabla 29. Flujo de materia prima a alimentar en la planta de reciclaje mecánico años 2018-2023.

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Flujo de PET [ton/año]	128,9	146,7	164,7	182,9	201,2	219,7
Participación de los RSD [%]	15	17	19	21	23	25

Tabla 30. Flujo de materia prima a alimentar en la planta de reciclaje mecánico años 2024-2029.

Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Flujo de PET [ton/año]	238,3	257,1	276,1	295,2	314,5	334,0
Participación de los RSD [%]	27	29	31	33	35	37

La alimentación gradual de materia prima a la planta permite generar un calendario de proyección para futuras ampliaciones y nuevos proyectos que se quieran realizar. Además de garantizar un tiempo de gracia para el acondicionamiento del personal y la maquinaria. Por último y siguiendo la línea anteriormente mencionada, los equipos fueron diseñados con tal de que al décimo año de funcionamiento de la planta se encuentren trabajando a un 65% de capacidad.

Por otra parte, los insumos utilizados en el proceso de reciclaje del PET son insumos comunes en la industria y su factor de utilización no es tan elevado. De esta manera, el proceso productivo utiliza como insumo Hidróxido de Sodio (NaOH), un reactivo de bajo costoso. La adquisición de estos insumos no es de exclusividad y puede ser adquirido con los distribuidores locales o realizar algún contrato con productores del norte del país, con tal de acordar precios accesibles.

Finalmente, los servicios utilizados en el proceso productivo tienen una relevancia elevada puesto que son fundamentales para que la calidad del producto final sea acorde a las necesidades de los consumidores. De esta manera uno de los servicios a utilizar en la planta de reciclaje mecánico, corresponde a la alimentación de gas natural a la caldera para alimentar de solución de $NaOH$ al proceso de separación y calentar el aire utilizado en el secador de túnel para eliminar la humedad del material. El segundo servicio utilizado corresponde a agua de proceso para los lavados realizados al material y la separación química.

7.4.3.3 COSTOS

Los costos del proyecto correspondiente a la planta de reciclaje mecánico de plásticos PET a instalar en la ciudad de Coyhaique tienen una distribución natural. Estos costos están determinados en base a la productividad que tendrá la planta a lo largo de los años y tienen una evolución progresiva puesto que los flujos de materias primas y servicios se ven afectados a lo largo de los años. En general, los costos están dados en base a los balances de masa y energía establecidos en las secciones anteriores. Este balance de costos puede visualizarse en la Tabla 29.

Tabla 31. Costos anuales de operación de la planta de reciclaje mecánico de PET.

[USD/año]	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Materia Prima	17.133	19.425	21.808	24.212	26.637	29.084	31.552	34.042	36.553	39.087
Combustible	1.531	1.589	1.648	1.709	1.770	1.833	1.896	1.960	2.024	2.090
Agua	3.113	3.319	3.532	3.748	3.966	4.186	4.409	4.634	4.862	5.092
Insumos	467	498	530	562	595	628	661	695	729	764
Energía Eléctrica	41.248	37.861	39.512	33.789	34.262	36.484	38.310	40.224	42.238	44.347

El desglose anterior de costos, para efectos de análisis y orden, pueden clasificarse entre costos directos e indirectos de operación. Los costos directos corresponden a todos aquellos costos relacionados con el funcionamiento del proceso productivo (materias primas, servicios, insumos, etc.), mientras que los segundos corresponden a aquellos costos necesarios para el funcionamiento del proceso productivo, sin embargo que no forman parte directamente del proceso. A continuación se muestra la distribución general de costos:

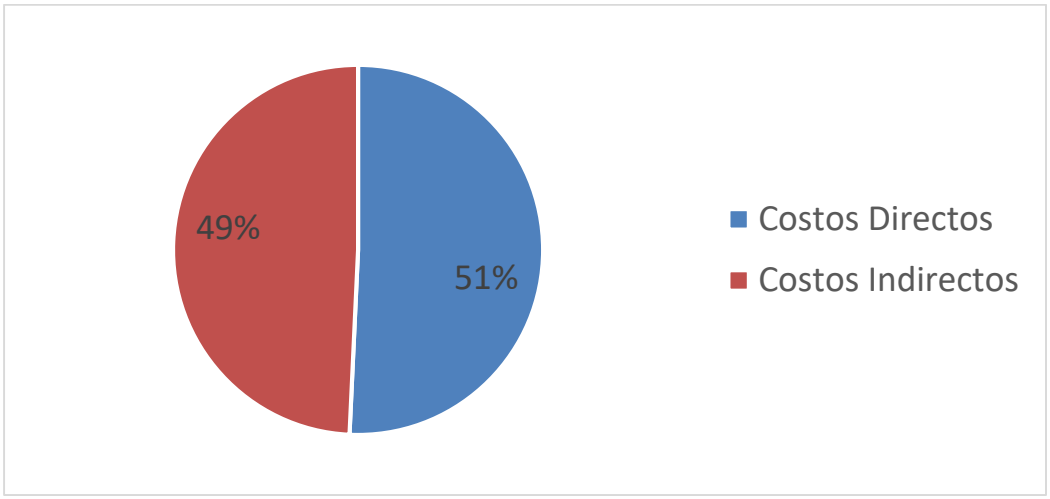

Figura 30. Distribución general de costos de la operación de la planta de reciclaje mecánico.

Por otra parte, la distribución específica de costos permite ver cuáles son los principales gastos que existen en el proyecto y desde donde puede verse afectada la rentabilidad de proyecto. Esta distribución se muestra a continuación en la Figura 34:

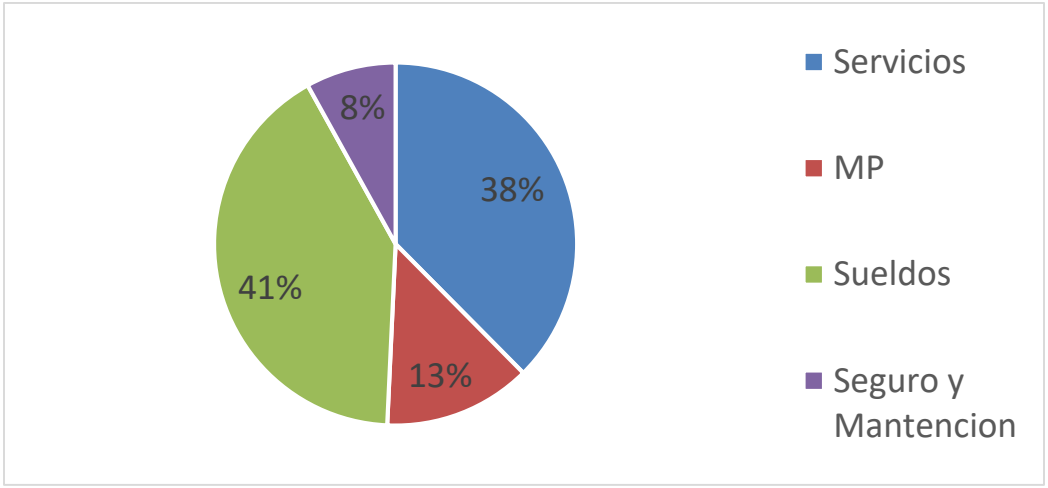

Figura 31. Distribución especifica costos totales de la planta de reciclaje mecánico.

7.4.3.4 PROYECCIONES

La evaluación económica del proyecto generalmente es afectada por el cambio que pueda existir a través del tiempo por parte de los costos de materias primas, servicios e insumos. Esto ya que una fluctuación elevada en estos costos puede provocar que la rentabilidad del proyecto se vea afectada y tenga fluctuaciones dentro de los valores de rentabilidad. Para esto se deben presentar proyecciones de los precios de estos ítems dentro del proyecto, con el fin de modelar una situación en base a los antecedentes que existen.

Por otra parte, la producción de plásticos PET se basa en la utilización de derivados del petróleo por lo que el precio de este combustible fósil adquiere un valor muy importante dentro de la cadena de valor del PET. Por lo anterior, el precio del PET históricamente ha tenido una fluctuación con amplitud elevada y esto se basa en el comportamiento que tiene el mercado internacional respecto de esta materia prima. La variación histórica y su proyección durante los próximos 10 años se muestran a continuación:

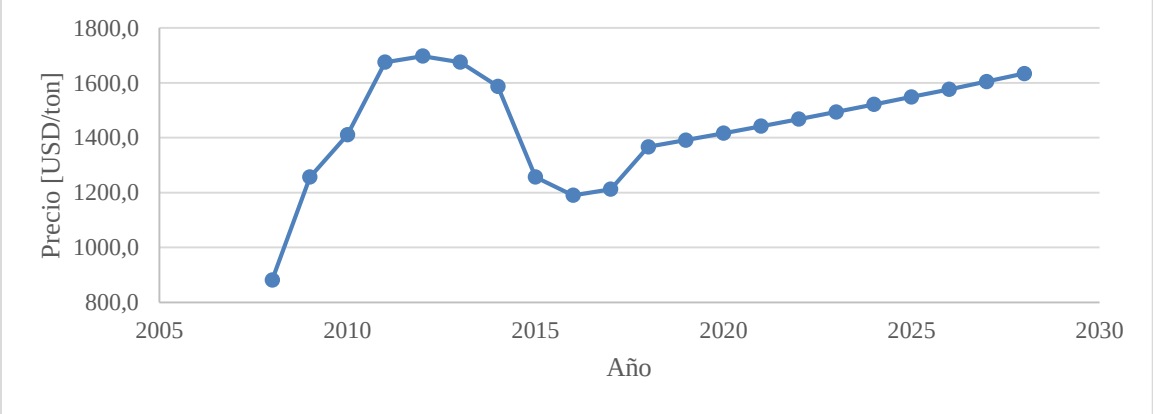

Figura 32. Precios históricos y proyección del precio del PET entre los años 2008 al 2028. Fuente: Elaboración propia en base a datos de (Plastic News, 2018)

Por otra parte, los servicios utilizados en la planta de reciclaje mecánico adquieren un valor sustancial dentro del proceso productivo, puesto que son necesarios para llevar a cabo a la operación. Al igual que el precio del PET, el precio del gas natural alimentado al proceso es importante de estudiar. A continuación se muestra la fluctuación histórica de los precios y su proyección en los próximos 10 años:

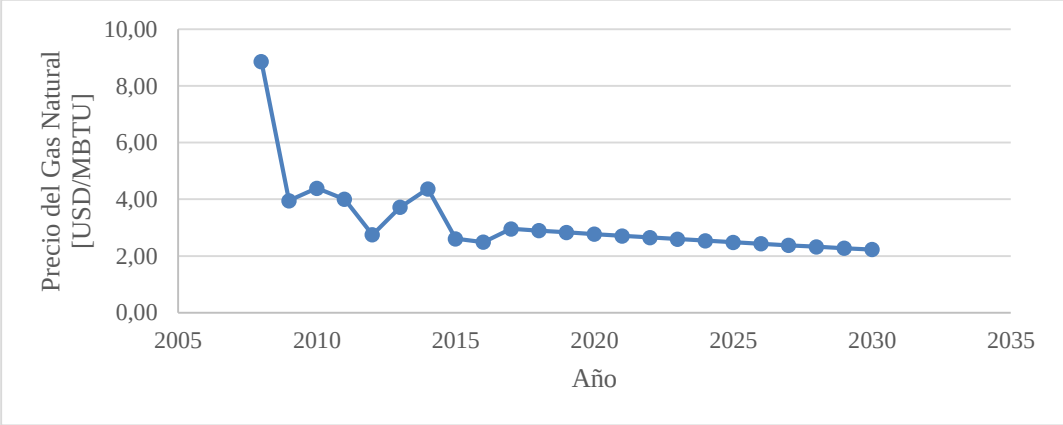

Figura 33. Precios históricos y proyección del precio del gas natural entre los años 2008 al 2028. Fuente: Elaboracion propia en base a datos estadísticos de Banco Central de Chile.

7.4.3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica del proyecto se basa en el análisis de los indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Payback. Estos indicadores se determinan en base al flujo de caja durante el tiempo que se desarrolla financieramente el proyecto. En este caso, cada evaluación será en 10 años y todos los cálculos están realizados en un horizonte de 10 años.

Para lo anterior se mostrarán dos alternativas, una con financiamiento particular y capital propio de los accionistas y la segunda alternativa con financiamiento por medio de un crédito que provea el 70% de la inversión necesaria.

a) <u>Flujo de caja sin financiamiento</u>

Esta alternativa plantea que los accionistas de la empresa incurran en todos los costos que tiene invertir en el proyecto propiamente tal. Así mismo, las características de esta alternativa equivalen al aumento de la cantidad de materia prima que se procesa en la planta durante los 10 años, de una forma gradual y llegando a procesar el 35% de los residuos de plásticos PET que se generan en los RSD de la ciudad de Coyhaique. Esto implica que el precio de venta del producto final (R-PET) se mantendrá constante durante los 10 años y el valor de los servicios se determinará en base a las proyecciones mostradas en secciones anteriores.

Esto se plasma en el flujo de caja adjunto en la Tabla 29:

Tabla 32. Flujo de caja sin financiamiento para el proyecto de instalación de una planta de reciclaje mecánico de plástico PET en la ciudad de Coyhaique.

	Item/año		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos Por Ventas													
	Ventas	Ton /AÑO		119,80	135,82	152,48	169,29	186,25	203,35	220,61	238,02	255,58	273,29
	Precio de venta	USD /Ton		1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00
	TOTAL	USD/AÑO		125.784,75	142.608,66	160.103,39	177.752,68	195.557,58	213.519,12	231.638,35	249.916,33	268.354,12	286.952,79
	IVA DF			23.899,10	27.095,65	30.419,64	33.773,01	37.155,94	40.568,63	44.011,29	47.484,10	50.987,28	54.521,03
Costos Directos													
	E. Eléctrica	USD/AÑO		44.346,99	43.018,29	41.727,26	40.473,90	40.261,58	40.220,49	40.179,40	40.141,73	40.443,08	40.943,05
	Materia Prima	USD/AÑO		19.306,93	21.889,26	24.574,56	27.283,58	30.016,49	32.773,44	35.554,59	38.360,11	41.190,16	44.044,91
	Agua	USD/AÑO		3.116,09	3.322,19	3.535,77	3.751,66	3.969,88	4.190,46	4.413,43	4.638,82	4.866,64	5.096,93
	Combustible	USD/AÑO		1.531,93	1.555,57	1.579,20	1.601,85	1.623,55	1.644,33	1.664,21	1.683,21	1.701,36	1.718,68
	TOTAL			-68.301,93	-69.785,31	-71.416,79	-73.111,00	-75.871,51	-78.828,73	-81.811,63	-84.823,87	-88.201,25	-91.803,57
	IVA CF			3.668,32	4.158,96	4.669,17	5.183,88	5.703,13	6.226,95	6.755,37	7.288,42	7.826,13	8.368,53
UTILIDAD BRUTA		USD/AÑO		57.482,82	72.823,35	88.686,60	104.641,69	119.686,07	134.690,39	149.826,71	165.092,46	180.152,88	195.149,22
Costos Indirectos		USD/AÑO											
	Seguros	USD/AÑO		-1.500,00	-1.500,00	-1.500,00	-1.500,00	-1.500,00	-1.500,00	-1.500,00	-1.500,00	-1.500,00	-1.500,00
	Sueldos	USD/AÑO		-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34
	Mantención	USD/AÑO		-9.000,00	-9.000,00	-9.000,00	-9.000,00	-9.000,00	-9.000,00	-9.000,00	-9.000,00	-9.000,00	-9.000,00
	TOTAL	USD/AÑO		-64.231,34	-64.231,34	-64.231,34	-64.231,34	-64.231,34	-64.231,34	-64.231,34	-64.231,34	-64.231,34	-64.231,34
UTILIDAD OPERACIONAL		USD/AÑO		-6.748,53	8.592,01	24.455,26	40.410,34	55.454,72	70.459,05	85.595,37	100.861,12	115.921,53	130.917,88
Depreciación		USD/AÑO		2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00
Pérdidas Ej Ant		USD/AÑO		-154.806,09	-1748,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UTILIDAD A.I		USD/AÑO		-159.054,62	9.343,48	26.955,26	42.910,34	57.954,72	72.959,05	88.095,37	103.361,12	118.421,53	133.417,88
Impuestos		USD/AÑO		0,00	-2.335,87	-6.738,81	-10.727,59	-14.488,68	-18.239,76	-22.023,84	-25.840,28	-29.605,38	-33.354,47

Item/año		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
UTILIDAD D.I	USD/AÑO		-159.054,62	7.007,61	20.216,44	32.182,76	43.466,04	54.719,29	66.071,53	77.520,84	88.816,15	100.063,41
Pérdidas Ej Ant	USD/AÑO		-154.806,09	-1.748,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Depreciación	USD/AÑO		2.500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00
Valor Residual	USD/AÑO											
Capital de Trabajo	USD/AÑO	-4.806,09										
Recup Capital de Trabajo	USD/AÑO											
Inversión	USD/AÑO	-150.000,00										
IVA TOTAL		0,00	-20.230,79	-22.936,69	-25.750,48	-28.589,13	-31.452,81	-34.341,68	-37.255,91	-40.195,68	-43.161,15	-46.152,50
FLUJO DE CAJA	USD/AÑO	-154.806,09	-1.748,53	11.256,14	22.716,44	34.682,76	45.966,04	57.219,29	68.571,53	80.020,84	91.316,15	102.563,41
FLUJO DE CAJA ACUM	USD/AÑO	-154.806,09	-156.554,62	-145.298,48	-122.582,04	-87.899,28	-41.933,23	15.286,05	83.857,58	163.878,42	255.194,57	357.757,97

Este flujo de activos y de acuerdo con la tabla presentada anteriormente, se pudo evaluar los indicadores económicos del proyecto sin financiamiento. Teniendo en cuenta que las empresas regionales y los proyectos con inversiones similares y rubros comunes tienen una tasa de descuento del 10%-12% (Pasten, 2010).

Tabla 33. Indicadores de rentabilidad determinados en base a la evaluación económica del proyecto sin financiamiento.

Indicador	Valor
Valor Actual Neto (VAN) $[USD]$	40.618
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	14,52
Payback $[años]$	6,53

b) Flujo de caja con financiamiento de crédito

Generalmente, las inversiones iniciales de un proyecto son de tal envergadura que no es posible financiar con capital patrimonial la implementación del mismo y por lo tanto se buscan alternativas de financiamiento. En este sentido, una de las alternativas más comunes corresponde al financiamiento mediante un préstamo o crédito con intereses sobre el tiempo. Este crédito puede tener dos formas: cuotas fijas o amortización fija, para el presente caso se evalúa la utilización de un crédito a amortización fija pues equivale a un menor costo total. La diferencia entre un crédito y otro pueden visualizarse en la sección apéndices.

El crédito a utilizar corresponde a un crédito a amortización fija y un interés del 15% anual, el cual cubre el 70% de la inversión inicial del proyecto y debe ser pagado en los primeros 5 años del proyecto. Esta cifra es el máximo financiamiento que un proyecto como este puede acceder, de acuerdo con la literatura y la práctica (Pasten, 2010).

El flujo de caja entonces con financiamiento mediante un crédito al 15% se muestra a continuación:

Tabla 34. Flujo de caja con financiamiento para el proyecto de instalación de una planta de reciclaje mecánico de plástico PET en la ciudad de Coyhaique.

	Item/año		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IxV													
	Ventas	Ton /AÑO		119,80	135,82	152,48	169,29	186,25	203,35	220,61	238,02	255,58	273,29
	Precio de venta	USD /Ton		1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00	1050,00
	TOTAL	USD/AÑO		125.784,75	142.608,66	160.103,39	177.752,68	195.557,58	213.519,12	231.638,35	249.916,33	268.354,12	286.952,79
	IVA DF			23.899,10	27.095,65	30.419,64	33.773,01	37.155,94	40.568,63	44.011,29	47.484,10	50.987,28	54.521,03
C.D.													
	E. Eléctrica	USD/AÑO		44.346,99	43.018,29	41.727,26	40.473,90	40.261,58	40.220,49	40.179,40	40.141,73	40.443,08	40.943,05
	Materia Prima	USD/AÑO		17.161,72	19.457,12	21.844,05	24.252,07	26.681,32	29.131,95	31.604,08	34.097,88	36.613,48	39.151,03
	Agua	USD/AÑO		3.116,09	3.322,19	3.535,77	3.751,66	3.969,88	4.190,46	4.413,43	4.638,82	4.866,64	5.096,93
+	Combustible	USD/AÑO		1.531,93	1.555,57	1.579,20	1.601,85	1.623,55	1.644,33	1.664,21	1.683,21	1.701,36	1.718,68
	TOTAL			-66.156,72	-67.353,17	-68.686,28	-70.079,49	-72.536,34	-75.187,23	-77.861,12	-80.561,63	-83.624,56	-86.909,69
	IVA CF			3.260,73	3.696,85	4.150,37	4.607,89	5.069,45	5.535,07	6.004,78	6.478,60	6.956,56	7.438,70
UTILIDAD BRUTA		USD/AÑO		59.628,03	75.255,49	91.417,11	107.673,20	123.021,23	138.331,88	153.777,23	169.354,70	184.729,56	200.043,10
C.Ind		USD/AÑO											
	Seguros	USD/AÑO		-1.840,00	-1.840,00	-1.840,00	-1.840,00	-1.840,00	-1.840,00	-1.840,00	-1.840,00	-1.840,00	-1.840,00
	Sueldos	USD/AÑO		-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34	-53.731,34
	Mantención	USD/AÑO		-11.040,00	-11.040,00	-11.040,00	-11.040,00	-11.040,00	-11.040,00	-11.040,00	-11.040,00	-11.040,00	-11.040,00
	TOTAL	USD/AÑO		-66.611,34	-66.611,34	-66.611,34	-66.611,34	-66.611,34	-66.611,34	-66.611,34	-66.611,34	-66.611,34	-66.611,34
UTILIDAD OPERACIONAL		USD/AÑO		-6.983,31	8.644,15	24.805,76	41.061,85	56.409,89	71.720,54	87.165,88	102.743,35	118.118,22	133.431,76

Item/año		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciación	USD/AÑO		2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00
Pago Crédito			-46.257,40	-42.292,48	-38.327,56	-34.362,64	-30.397,72					
Pérdidas Ej Ant	USD/AÑO		-56.641,83	-48240,71	-28648,33	-8521,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UTILIDAD A.I	USD/AÑO		-107.382,54	-79.389,04	-39.670,13	677,42	28.512,17	74.220,54	89.665,88	105.243,35	120.618,22	135.931,76
Impuestos	USD/AÑO		0,00	0,00	0,00	-169,35	-7.128,04	-18.555,13	-22.416,47	-26.310,84	-30.154,55	-33.982,94
UTILIDAD D.I	USD/AÑO		-107.382,54	-79.389,04	-39.670,13	508,06	21.384,13	55.665,40	67.249,41	78.932,51	90.463,66	101.948,82
Pérdidas Ej Ant	USD/AÑO		-56.641,83	-48.240,71	-28.648,33	-8.521,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Depreciación	USD/AÑO		2.500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00
Crédito	USD/AÑO	132.164										
Capital de Trabajo	USD/AÑO	-4.806,09										
Recup Capital de Trabajo	USD/AÑO											
Inversión +	USD/AÑO	-184.000,00										
IVA CF												
IVA TOTAL		0,00	-20.638,38	-23.398,79	-26.269,27	-29.165,12	-32.086,49	-35.033,56	-38.006,51	-41.005,51	-44.030,72	-47.082,34
FLUJO DE CAJA	USD/AÑO	-56.641,83	-48.240,71	-28.648,33	-8.521,80	11.529,86	23.884,13	58.165,40	69.749,41	81.432,51	92.963,66	104.448,82
FLUJO DE CAJA ACUM	USD/AÑO	-56.641,83	-104.882,54	-133.530,87	-142.052,67	-130.522,81	-106.638,68	-48.473,28	21.276,14	102.708,65	195.672,31	300.121,13

Al igual que para la evaluación del proyecto sin financiamiento, se utiliza una tasa de descuento común para los proyectos de gestión de residuos y proyectos de la zona austral, igual al 10%. En base a esto se muestran los indicadores económicos de la alternativa propuesta:

Tabla 35. Indicadores de rentabilidad determinados en base a la evaluación económica del proyecto en la alternativa propuesta con financiamiento.

Indicador	Valor
Valor Actual Neto (VAN) $[USD]$	58.865
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	17,88
Payback $[años]$	6,83

7.4.3.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Una de las aristas más interesantes de la evaluación económica de un proyecto, corresponde a la visualización de factores críticos que pueden influir dentro de la rentabilidad que tiene a lo largo de su horizonte de evaluación el proyecto. En este sentido, es importante analizar los cambios que puedan afectar la factibilidad al menos económica del proyecto. Para ello, primero se identifican dos factores que inciden directamente sobre la evaluación económica de la planta de reciclaje y cuyo valor puede fluctuar dada las características del mercado y del proyecto:

- El primero de ellos corresponde al precio de venta del producto obtenido del proceso productivo
- El segundo corresponde al valor de gestión y recolección de la materia prima que ingresa a la planta de reciclaje.

El análisis de sensibilidad se lleva a cabo para conocer la máxima variación que pueden tener estos factores críticos con tal que la rentabilidad del proyecto o el Valor Actual Neto tenga un valor igual a cero, es decir, no se generen perdidas ni sea una alternativa no rentable.

Por una parte, la variación del precio de venta es interesante de analizar puesto que el proyecto debe ceñirse a lo que el mercado de PET en Chile establece, para lo cual el presente

proyecto presenta como estrategia de posicionamiento y económica, la venta de plásticos PET a un precio un 20% menor que el mercado nacional, lo que ayuda a establecerse en el mercado y no implica pérdida de rentabilidad. Sin embargo, la diferencia entre los valores de precio del mercado y el precio que se adoptará, establece una brecha de rentabilidad del VAN del proyecto, lo que se muestra en la *Figura 31*.

Por otra parte, el costo de la materia prima es muy importante puesto que una gran parte de los costos del proyecto se centran en este ítem, como se puede visualizar en la sección Apéndices. El costo de gestión y recolección de residuos, equivaldrá al costo de materia prima para el proyecto, equivale a 49,42 $[USD/ton]$ valor establecido por las principales empresas gestoras de residuos en Chile, que operan en la ciudad de Santiago (Municipalidad de Maipú, 2016). Ahora bien, la gestión de residuos para este proyecto se realiza en una región denominada ultra periférica, con costos mayores que los determinados por las empresas de la capital. En base a esto, el costo de recolección de materia prima establecido para el proyecto, tiene un valor mayor que equivale a la gestión de los residuos y la dificultad local que existe para realizar esta labor, valor que asciende a 99,01 $[USD/ton]$.

Las fluctuaciones de precios de venta y gestión de residuos, tienen una incidencia directa dentro del Valor Actual Neto del proyecto, esto se visualiza en la siguiente figura:

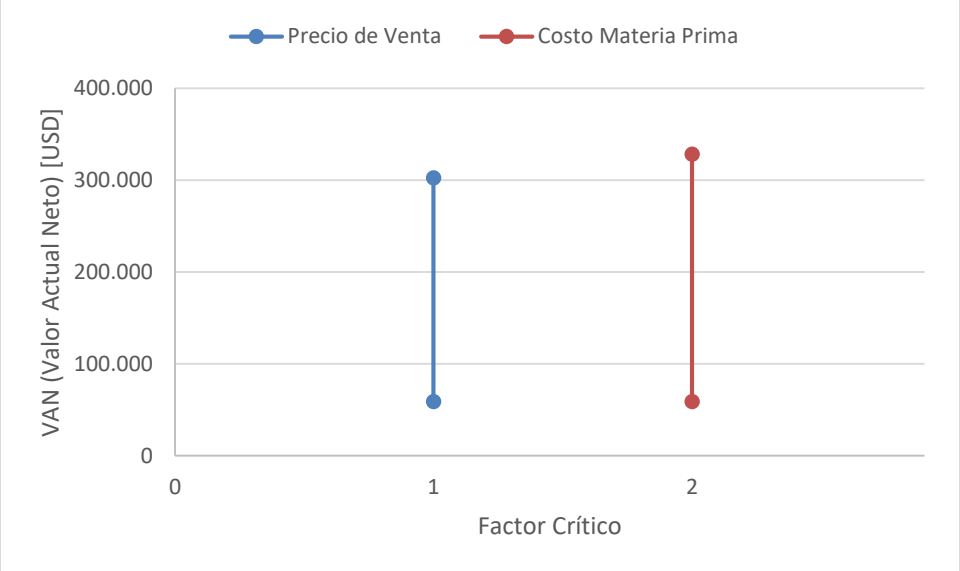

Figura 34. Rango de valor del VAN para los factores críticos establecidos.

Finalmente, el análisis de sensibilidad permite establecer los valores mínimos o máximos a los cuales pueden llegar los factores críticos, con tal que el proyecto no se vuelva rentable. Esto se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 36. Análisis de sensibilidad de los factores críticos del proyecto de reciclaje mecánico.

Factor	Valor nominal	Valor Máximo/Mínimo
Precio de venta [USD/ton]	1.050	977
Costo materia prima [USD/ton]	99,01	198,38

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diagnóstico actual del tratamiento de residuos a nivel nacional, regional y particularmente en la ciudad de Coyhaique es un paso excluyente que debe ser desarrollado, con tal de que la necesidad de realizar un levantamiento de información respecto de las principales corrientes de residuos en la ciudad se convierta en una oportunidad. Teniendo en cuenta estas consideraciones, las principales conclusiones de este trabajo son las siguientes:

(1) La situación local que se visualiza en la ciudad de Coyhaique y en general en la Región de Aysén, es una situación con dos realidades que no se pueden obviar. Por una parte, localmente no existen mayores alternativas de reutilización de residuos ni proyectos que contribuyan al cambio de la economía lineal que existe a nivel local, hacia una economía circular donde se aprovechen estos residuos como recursos y se reduzca, reutilice o recicle. Por otra parte esta realidad contempla una enorme oportunidad, que no solo debe ser aprovechada como un negocio, sino que debe ser aprovechada de manera intelectual, desarrollando planes de utilización de residuos, gestión de los mismos, reducción de las tasas de generación anual y desarrollo de proyectos y alternativas con una mirada sustentable, que se responsabilice de esta sobreproducción actual de residuos.

(2) Las alternativas de tratamiento de residuos que existen en la ciudad de Coyhaique son escasas y generalmente muy puntuales, abarcando solo dos de los seis productos prioritarios que establece la Ley de Fomento al Reciclaje, estos corresponden a las categorías de Aparatos Eléctricos y Electrónicos y Envases y Embalajes. La alternativa de reciclaje de residuos pertenecientes a la categoría de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, corresponde a una campaña realizada por la Municipalidad de Coyhaique durante los últimos 3 años, con una duración de dos días donde se recolectan todo tipo de residuos de este tipo y luego son enviados a la ciudad de Chillan a una planta de reciclaje de residuos electrónicos. Las cifras de recolección ascienden a $25\ [t/año]$ y han tenido un aumento progresivo desde el primer año.

(3) La única alternativa formal de reutilización de residuos existente para la categoría de Envases y Embalajes en la ciudad de Coyhaique corresponde a la llevada a cabo por FECUNDA PATAGONIA, quienes gestionan de manera particular residuos de tipo Envases y Embalajes. Sin embargo, las cifras que maneja esta empresa corresponden al 0,5% de los residuos de esta clase generados en la ciudad, por lo que no contribuyen de manera relevante al tratamiento de residuos clasificados como Residuos Sólidos Municipales (RSM). Por lo tanto, las tasas de generación de residuos en la ciudad de

Coyhaique son muy elevadas comparadas con las tasas de reutilización o reciclaje de los mismos y la búsqueda de una alternativa que aporte sustentabilidad es interesante de analizar.

(4) El diagnóstico realizado a la ciudad de Coyhaique, que incluye cifras de generación y tratamiento, tiene como resultado una matriz de prioridades para establecer qué tipo de residuos es el más relevante a nivel local. Esta matriz se trabajó en conjunto con la SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Aysén y estableció que la corriente Envases y Embalajes equivale a la más importante. Los criterios de selección de prioridades corresponden a: (i) Tonelaje disponible en relleno sanitario, (ii) Accesibilidad del residuo y proyección y (iii) Generación sostenida en el tiempo. Es en base a esto y de acuerdo a lo establecido por el Gobierno Regional durante el 2013 en su estudio de la disposición de residuos en los distintos rellenos sanitarios a nivel regional, que una de las sub-categorías más relevantes a tomar en cuenta corresponde a los plásticos tipo PET, clasificación que concentra el 20% de los residuos plásticos generados actualmente.

(5) Este estudio, entrega una alternativa para esta situación, lo que equivale a la utilización de los residuos generados a nivel local y domiciliario en Coyhaique como una fuente de materia prima de un proceso de reciclaje. Esta solución parcial respecto de la generación de residuos, corresponde a la implementación de una planta de reciclaje mecánico de plásticos PET, que procese hasta un 35% de los residuos PET generados a nivel domiciliario en la ciudad.

(6) El estudio técnico y económico del proyecto, permite dilucidar por una parte que la tecnología actual es capaz de procesar una alta cantidad de residuos para generar el producto deseado y representa una alternativa robusta en cuanto a la producción de plástico PET reciclado. Es así como la arista más influyente que se visualiza en el estudio de pre factibilidad corresponde a la evaluación económica del proyecto, donde se determinó que el proyecto corresponde a una alternativa atractiva para el mercado del reciclaje en Chile y sobre todo para el reciclaje de plásticos PET en la región de Aysén, específicamente en la ciudad de Coyhaique. La evaluación económica permite establecer que los indicadores económicos sean favorables y atractivos para el proyecto. En base a esto y de acuerdo a la magnitud del proyecto en términos de inversión, se recomienda utilizar un crédito con amortización fija que financie el 70% de la inversión necesaria para el proyecto, con un interés del 15% anual. Esto permitiría que los indicadores del proyecto fueran los siguientes:

Tabla 37. Indicadores económicos en base a la recomendación de inversión del proyecto.

Indicador	Valor
Valor Actual Neto (VAN) $[USD]$	58.865
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	17,88
Payback $[años]$	6,83

Teniendo en cuenta aquellos aspectos que no se pudieron abordar en esta memoria, se plantean las siguientes recomendaciones:

(1) Uno de los aspectos más importantes para que el desarrollo de este proyecto se lleve a cabo, corresponde al proceso de recolección y gestión de los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD). Este proceso debe gestionarse de tal manera que se garantice la calidad de la materia prima que ingresa al proceso productivo, por lo que la comunicación y la gestión organizada con los recolectores debe ser prioritaria. Esto da cuenta de la importancia que reside en la Ley de Fomento al Reciclaje o Ley REP, puesto que una vez los decretos supremos que establecen las metas de valorización y recolección sean aprobados, los productores deben encargarse de una manera responsable y legal de la gestión y recolección de sus residuos. Así, se visualiza una oportunidad que debe ser aprovechada y maximizada en su totalidad, con el fin de que todas las aristas de esta economía circular avancen hacia el mismo objetivo y la estructura funcione a la perfección. Este avance debe realizarse a nivel nacional y con todos los actores involucrados, para lo cual debe establecerse un Sistema de Gestión que establezca criterios, metas y estándares adecuados. Así mismo, los productores nacionales deben asociarse para que todos se encuentren bajo la misma directriz y puedan avanzar en términos de sustentabilidad en sus procesos productivos y modelos de negocios.

(2) Para que la gestión de residuos sea adecuada, es necesario entender el rol que debe tener la entidad pública dentro de este tema, tanto a nivel nacional como a nivel regional y local. Es así como, la buena gestión pública y la generación de políticas públicas son imperantes para que el desarrollo de los recolectores/gestores sea óptimo y por tanto el proceso de reciclaje también se desarrolle con altos estándares. Estas políticas públicas deben ser desarrolladas a nivel nacional por el Ministerio del Medio Ambiente en los distintos departamentos de residuos que lo contemplan y a nivel regional por las SEREMIs del Medio Ambiente, quienes conectan a los productores, legisladores y recicladores.

(3) Finalmente, en un contexto en el que la educación medioambiental sea una prioridad y el concepto de economía circular sea adoptado por las actuales y venideras generaciones, la evaluación de alternativas de reciclaje y reutilización se convierten en alternativas prometedoras. Puesto que no solamente es importante concientizar a las generaciones actuales de lo importante en la gestión y acción respecto de la sustentabilidad del sistema, sino que lo interesante es realizar un cambio cultural y para ello la educación es el punto más importante a tomar en cuenta para llevar a cabo este cambio.

9. REFERENCIAS

Aguilera, W. R. (2010). *Desarrollo y Evaluación de una Empresa Recicladora de Envases Plásticos Desechables PET y Envases de Bebidas Enlatadas.* Santiago de Chile.

Alarcón, K. (2012). *Gestión y tratamiento jurídico de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, en el contexto de la regulación genérica de los residuos sólidos en Chile.* Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Alejandro Vásquez, E. C. (2010). Degradación hidrolítica del Polietilen-tereftalato. *Revista Colombiana de Materiales*, 100-105.

ANAC. (2015). *Anuario Automotriz 2015/2016.*

Arzola, I. F. (2017). *Planificación y gestión de residuos sólidos municipales en territorios ultraperiféricos: evidencia y experiencia en la Patagonia Chilena.* Santiago: Bioaqua Asuntos Ambientales.

BIOAQUA. (2013). *Estudio Diágnostico Plan de Gestión Regional de Residuos Sólidos Región de Aysén.* Coyhaique.

C y V Medioambiente Ltda. (2011). *Diagnóstico producción, importación y distibución y el manejo de las pilas.* Santiago de Chile.

CENEM. (2016). *Anuario Estadistico 2016.* Santiago de Chile: Centro de Envases y Embalajes de Chile.

Chris van Rossem, N. T. (2006). *Extended Producer Responsibility: An examination of its impact on innovation and greening products.* Greenpeace International.

CIPA. (2014). *Guía para la Elaboración de Estrategias de Gestión de Residuos Plásticos en Chile.* Santiago de Chile: Centro de Investigación de Polímeros Avanzado.

CONAMA. (2008). *Diagnóstico fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de neumáticos fuera de uso.* Santiago de Chile.

CONAMA. (2010). *Evaluación de impactos económicos, ambientales y sociales de la implementación de la responsabilidad extendida del productor en Chile.* Santiago de Chile: Consultora Ambiental e Ingeniería.

Dauvergne, J. L. (2012). Big brand sustainability: governance prospects and environmental limits. *Global environmental change*, 36-45.

Enercom S.A. (2018). *www.enercom.cl*. Obtenido de www.enercom.cl: http://www.enercom.cl/#!/es/equipos

EPBA. (2010). *Past achievements, ongoing efforts and future perspectives of the European portable battery industry.*

European Comission- DG Environment. (2014). *Development of Guidance on Extended Producer Responsibility (EPR).*

European Environment Agency. (2014). *Effectiveness of Packaging Waste Management Systems in Selected Countries: an EEA Pilot Study.* Copenhagen.

European Parliament and the Council. (2008). *Waste Framework Directive.*

GEIR Groupement Eropéen de l'Industrie de la Régénération. (2015). *Waste Framework Directive revision: European waste oil re-refining industry position.* Bruselas.

Hickle, G. T. (2014). An Examination of governance within extended producer responsibility policy regimes in North America. *Resources, Conservation and Recycling*, 55-65.

Hidronor. (25 de Marzo de 2018). *HIdronor, Gestion y Tratamiento de Residuos*. Obtenido de www.hidronor.cl

INDUAMBIENTE. (2015). La REP en el horizonte. *Induambiente*, 18-21.

Juan Roberto Herrera Reséndiz, A. E. (2012). Depolimerización de botellas de poli(tereftalato de etileno)(PET) post-consumo mediante glicólisis. I. Efecto del catalizador y del tipo de glicol. . *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 117-129.

Kalimo, R. L. (2012). Greening the economy through desing incentives: allocanting extended producer responsibility. *Eur Energ Environ Law Rev*, 21.

Kemp, A. O. (1991). *Instruments to promote Environmental Technology.* Netherlands.

La Tercera. (13 de Obtubre de 2016). Chile lidera generación de basura per capita en Sudamérica. *La Tercera*.

La tercera. (16 de Marzo de 2016). Parque automotor en Chile creció en 41% en los ultimos 15 años. . Santiago , Región Metropolitana, Chile.

Leian Bartolome, M. I.-M. (2012). Recent Developments in the Chemical Recycling of PET. *Material Recycling- Trends and Perspectives*, 953-978.

Lifset, R. (1993). Take it Back: Extended Producer Responsibility as a Form of Incentive-based Environmental Policy. *The Journal of Resource Management and Technology*, 163-175.

Lindhqvist. (2008). *La responsabilidad extendida del productor en el contexto latinoamericano.* Lund University.

Lindhqvist. (2008). *La responsabilidad extendida del productor en el contexto latinoamericano: La gestion de residuos de aparatos electricos y electronicos en Argentina.* Lund: Lund University, International Institute for Industrial Environmental Economics.

Lindhqvist, T. (2000). *Extended Producer Responsibility in Cleaner Production: Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems.* Lund University. IIIEE, Lund University.

Max S. Peters, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers.* McGraw-Hill.

Mineria Chilena. (29 de Marzo de 2017). Descontento de los actores ante primeros avances de Ley REP. Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. (2010). *Diágnostico producción, importación y distribución de equipos de informática y comunicaciones, aparatos eléctricos y alumbrado y el manejo de los productos post-consumo.* Santiago de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. (2014). *Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluacion de Impacto Ambiental.* Santiago de CHile: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Establece Plan de Descontaminación Atmosférica para la Ciudad de Coyhaique y su Zona Circundante.* Santiago.

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.* Santiago.

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Ley REP.* Santiago de Chile.

Ministerio del Medioambiente. (2017). *Marco Institucional.*

MMA. (2010). *Diagnostico producción, importación y distribucion de envases y embalajes y el manejo de los residuos de envases y embalajes.* Santiago.

Municipalidad de Coyhaique. (2017). *Informe Reciclaje Aparatos Electrónicos.* Coyhaique.

Municipalidad de Coyhaique. (10 de Febrero de 2018). *Plan Regulador Coyhaique.* Obtenido de http://www.coyhaique.cl/planos/planregulador/planociudad.html

Municipalidad de Maipú. (2016). *Gestión de Residuos Sólidos Domiciliarios de Maipú.* Santiago de Chile.

OCDE. (2001). *Extended producer responsibility: a guidance manual for governments.* Paris.

OCDE. (2015). *Working Party on Resource Productivity and Waste: What have we learned about extended producer responsibility in the past decade? A survey of the Recent EPR economic Literature.*

OCDE. (2016). *Working Paty on Resource Productivity and Waste: Extended Producer Responsibility- Updated Guidance.*

OCDE/CEPAL/CAF. (2016). *Perspectivas económicas de America Latina 2017: Juventud, Competencias y Emprendimiento.* Paris: OECD Publishing.

Pasten, J. E. (2010). *Plan de negocio: Reciclaje y Gestion de Residuos Solidos Domiciliarios.* Santiago de Chile.

Pinochet, M. T. (2017). *Ingeniería de perfil de una planta de pretratamiento de botellas PET y un sistema de recolección de residuos.* Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Plastic News. (2018). *Historic PET Bottle Pricing.*

Plastics Recyclers Europe. (23 de Febrero de 2018). *www.plasticrecyclerseurope.eu*. Obtenido de www.plasticrecyclerseurope.eu: http://www.plasticsrecyclers.eu/mechanical-recycling

Residuos Profesional. (14 de Enero de 2016). Gestion y Destruccion de las SAO: Colombia apuesta por los esquemas de responsabilidad extendida del productor para refrigeradores y otros electrodomesticos. Colombia.

Shanghai jinbao Packaging Machinery Company. (2018). *www.landpacking.com*. Obtenido de www.landpacking.com: http://www.landpacking.com/product/?gclid=EAIaIQobChMI6sns0KzM2wIVSIGRCh26DQTPEAAYAyAAEgKQlvD_BwE

Shiota, Y. (4-7 de May de 1999). EPR and Waste Minimization Policy: Japan's perspective. Paris, France.

SUSTEMPO. (Mayo de 2017). Impulsan campaña para aumentar el reciclaje de baterías en Chile. Santiago de Chile, Región Metropolitana.

Tecnología del Plástico. (Agosto de 2011). Análisis de costos de producción y márgenes del PET virgen y reciclado. Santiago de Chile, Chile.

Tencati, S. P. (2016). Prevention policy addressing packaging and packaging waste: Some emerging trends. *Waste Management*, 35-45.

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. (2014). En J. W. Sons, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (págs. 45-46).

Union Europea. (2008). *Directiva 2008/98/CE del parlamento Europeo y el consejo.*

USEON Extrusion Machinery. (2018). *www.useongroup.com*. Obtenido de www.useongroup.com: https://www.useongroup.com/product/single-screw-extruder.html

Vergara, G. T. (2012). Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 277-309.

VROM. (1998). *Waste in the Netherlands, Producer responsibility.* Den Haag.

Welle, F. (2011). Twenty years of PET bottle to bottle recycling . *Resources Conservation and Recycling* , 865-875.

Widmer, H. O.-K.-K. (2005). Global perspective on e-waste. *Environmental Impact Assesment*, 436-458.

Zhangijang Pu Xiong Machinery Company. (2018). *www.globalsources.com*. Obtenido de www.globalsources.com: http://www.globalsources.com/si/AS/Zhangjiagang-Pu/6008851712250/pdtl/Plastic-Shredding-Machine/1148822668.htm

10. APÉNDICE

10.1 CLAVES PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA

Sigla	País	Sigla	País
AT	Austria	IT	Italia
BE	Bélgica	LT	Lituania
BG	Bulgaria	LU	Luxemburgo
CY	Chipre	LV	Latvia
CZ	Republica Checa	MT	Malta
DE	Alemania	NL	Holanda
DK	Dinamarca	PL	Polonia
EE	Estonia	PT	Portugal
ES	España	RO	Rumania
FI	Finlandia	SE	Suecia
FR	Francia	SI	Eslovenia
GR	Grecia	SK	Eslovaquia
HU	Hungría	UK	Gran Bretaña
IE	Irlanda		

10.2 DESEMPEÑO SISTEMAS REP EN LA UNIÓN EUROPEA (BATERÍAS)

Baterías	AT	BE	DE	FR	NL	CH
Tipo de responsabilidad de las PRO	Responsabilidad organizacional parcial					
COMPETENCIA						
¿Existe competencia entre las PRO?	Si, existen 4 PRO	No, solo existe 1 PRO	Si, existen 4 PRO	Si, existen 2 PRO y 1 esquema RIP	No, solo existe 1 PRO	
¿Existe competencia entre los gestores de residuos?	Transporte: SI	Si	No	Si	Transporte: Si	
TRANSPARENCIA Y FISCALIZACION						
Fiscalización de los recicladores de base	No existen problemas con los recicladores de base	No se conoce la cifra exacta, pero es muy baja	N/I			
	Multas igual al doble de la cantidad	La PRO informa a los gobiernos regionales	Multa y posible carcel	Multas y sanciones bajo la ley	N/I	Cargos retroactivos por los residuos

Fiscalización del proceso de recolección y tratamiento	Autoridades federales fiscalizan y son auditados por las PRO.	Gobiernos Regionales	N/I	Las PRO auditan a los actores	N/I	Los sistemas de recolección son fiscalizados por autoridades regionales, mientras que los procesos de tratamiento son fiscalizados por autoridades nacionales
Fiscalización de las PRO	Una unidad de coordinación	Gobiernos regionales	El ministerio del medio ambiente	Una comisión elegible	N/I	
	6% del costo total del sistema corresponde a costos por fiscalización	1/3 de las declaraciones son auditadas anualmente	A través del sistema DPA	Autoridades nacionales auditan 15-20 productores por año		
Fines de las PRO	3 PRO son sin fines de lucro, 1 con fines de lucro	Sin fines de lucro	1 Sin fines de lucro, las demás no está claro	Sin fines de lucro		

10.3 DESEMPEÑO SISTEMAS REP EN LA UNIÓN EUROPEA (VFU)

VFU	AT	DE	FI	NL	SK	SE
Tipo de responsabilidad de las PRO	Responsabilidad financiera	No es un sistema REP	Responsabilidad financiera			
COMPETENCIA						
¿Existe competencia entre las PRO?	No	-	No, solo hay una PRO			N/I
¿Existe competencia entre los gestores de residuos?	Si	Si	Si	Si	Si	Si
TRANSPARENCIA Y FISCALIZACION						
Fiscalización de los recicladores de base	N/I	-	-	17%	N/I	
	Penalidades financieras que ascienden a 8000 euros	-	N/I	Suspensión de contratos	N/I	
Fiscalización del proceso de recolección y tratamiento	Ministerio del medio ambiente	Autoridades locales	Las PRO auditan		Sanciones financieras	N/I
Fiscalización de las PRO	Ministerio del medio ambiente	-	PIRELY	N/I		
	N/I	-	PIRELY audita a las PRO			
Fines de las PRO	Sin fines de lucro	-	N/I	Sin fines de lucro	N/I	

10.4 DESEMPEÑO SISTEMAS REP EN LA UNIÓN EUROPEA (ACEITES LUBRICANTES)

Aceites lubricantes	BE	FI	DE	IT	PT	ES
Tipo de responsabilidad de las PRO	Financiera	Financiera mediante impuestos	-	Financiera		
COMPETENCIA						
¿Existe competencia entre las PRO?	No, solo hay 1 PRO	No, existe un sistema colectivo gubernamental	No, no existe una PRO	No, solo hay 1 PRO		Si
¿Existe competencia entre los gestores de residuos?	Si, 150 operadores	Si				
TRANSPARENCIA Y FISCALIZACION						
Fiscalización de los recicladores de base	No hay un número estimado, pero es bajo	-	No existen	N/I		
	Multas financieras	-	No hay sanción	N/I		
Fiscalización del proceso de recolección y tratamiento	Auditores externos una vez al año	N/I	BAFA	N/I	Auditorías internas y externas	PRO
Fiscalización de las PRO	Autoridades regionales	No está claro	-	N/I	Agencia portuguesa del medioambiente	Autoridades regionales
	A traves de inspectores oficiales	N/I	-	N/I	Auditores	Autoridades regionales
Fines de las PRO	Sin fines de lucro	Con fines de lucro	-	Con fines de lucro	Sin fines de lucro	

10.5 DESEMPEÑO SISTEMAS REP EN LA UNIÓN EUROPEA (ENVASES Y EMBALAJES)

Envases y embalajes	AT	BE	CZ	DE	FR	NL	UK
Tipo de responsabilidad de las PRO	Organizacional	Organizacional parcial	Financiera				
COMPETENCIA							
¿Existe competencia entre las PRO?	Sí, pero a bajo nivel. 2 PRO	No, solo 1 PRO		Sí, hay más de 10 PRO	No, solo 2 PRO	No, 1 PRO	Si, sobre 30 PRO
¿Existe competencia entre los gestores de residuos?	Si, operadores son elegidos por las PRO cada 5 años	Si, operadores son elegidos por gobiernos locales y por las PRO					
TRANSPARENCIA Y FISCALIZACION							
Fiscalización de los recicladores de base	Se estiman que la cifra es baja	7% del mercado	5% del mercado	Alto 25%	Menos del 2%	Cerca del 2%	No se conoce la cifra, pero es alta.
	Multas financieras						
Fiscalización del proceso de recolección y tratamiento	Auditores provenientes de las PRO			N/I		PRO	Sistema de acreditación nacional
Fiscalización de las PRO	Autoridades federales	Autorización y fiscalización por IPC	Ministerio del medio ambiente	N/I	Ministerio cada 6 años	N/I	NWPD
	A traves de inspectores oficiales	N/I	-	N/I	Auditores		Autoridades regionales
Fines de las PRO	No hay requerimientos específicos	Sin fines de lucro		Con fines de lucro	Sin fines de lucro	No hay requerimientos	

10.6 PRODUCCIÓN Y PROYECCIÓN SUBSECTORES ENVASES Y EMBALAJES EN CHILE

Los datos de producción de cada subsector de la cadena de productos envases y embalajes, fueron determinados por la CENEM (Centro de envases y embalajes Chile) y se encuentran en los anuarios que esta agrupación publica año a año. Las proyecciones en tanto, fueron determinadas por la relación que el consumo de envases tiene con el crecimiento económico del país y por tanto el crecimiento sería entre un 5% y un 8%.

Tabla 38. Envases comercializados durante los años 2007 al 2012. Valores en toneladas. Fuente: CENEM.

Subsector/año	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Papel y Cartón	564.359	600.923	609.800	658.584	667.181	720.265
Vidrio	471.734	467.954	503.000	543.240	555.603	599.809
Envases metálicos	162.805	145.252	133.500	144.180	154.328	166.607
Madera	206.754	200.027	191.000	206.280	192.575	202.069
Plásticos	378.795	378.688	377.800	408.024	436.444	471.170

Tabla 39. Envases comercializados durante los años 2013 al 2016 y proyecciones hasta 2020. Valores en toneladas. Fuente: CENEM.

Subsector/año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Papel y Cartón	777.512	839.244	905.808	976.636	1.052.940	1.135.142	1.223.693	1.319.078
Vidrio	647.482	698.890	754.322	813.304	876.848	945.303	1.019.044	1.098.477
Envases metálicos	179.849	194.128	209.526	225.909	243.559	262.574	283.057	305.120
Madera	212.013	222.430	233.341	244.533	256.247	268.506	281.336	294.763
Plásticos	508.618	549.001	592.545	638.878	688.793	742.566	800.493	862.890

10.7 DISEÑO DE EQUIPOS

Los balances de masa y energía son interesantes en aquellos equipos donde existe alguna operación unitaria o utilización de servicios. De esta manera, los equipos más relevantes corresponden al separador químico y el secador de túnel. Los balances de energía y materia en estos equipos entregan la información acerca de la cantidad de servicios utilizados anualmente.

- Separador químico (SQ-101)

Los parámetros de diseño de este equipo se basan en la proyección de la planta de reciclaje a implementar, puesto que al último año se quiere que la planta cuente con un 60% de la capacidad de producción. Lo anterior indica que los siguientes parámetros son fundamentales

-Separador con capacidad de 0,8 $[m^3]$
-Utilización del 80% de la capacidad
-Caudal de alimentación de solución de NaOH igual a 640 $[kg/h]$

-Solución de NaOh a una temperatura media de 70°C

Según estos parámetros el balance de materia para el componente PET en el equipo sería el siguiente, teniendo en cuenta que la merma de material en el equipo o la eficiencia de separación es del 97%:

$$F_4 + F_8 = F_7 + F_6$$

$$F_4 = F_6 + F_7 \cdot x_{7,PET}$$

$$F_6 = 0{,}97 \cdot F_4$$

Por otra parte, para mantener la solución de NaOH a 70°C se utilizará una caldera alimentada con gas natural puesto que es un combustible más limpio y con mayor poder calirifico. De esta manera, el balance de energía es el siguiente:

$$Q_{cedido} = Q_{absorbido} + Q_{perdidas}$$

$$F_{combustible} \cdot PCI = F_8 \cdot C_{p_{h_2O}} \cdot \Delta T + 0{,}1 \cdot Q_{cedido}$$

$$F_{combustible} = \frac{\left(F_8 \cdot C_{p_{h_2O}} \cdot \Delta T + 0{,}1 \cdot Q_{cedido}\right)}{PCI}$$

- Secador de túnel (S-101)

La función del secador de túnel corresponde a eliminar la humedad del material triturado para que pase directo al proceso de extrusión y se formen los pellets de PET. En este proceso se utiliza aire a una temperatura de 120°C puesto que utilizar una mayor temperatura contribuye a la descomposición y despolimerización del plástico. Los parámetros de diseño del secador son los siguientes:

-Temperatura de entrada y salida del aire al secador 120°C y 60°C respectivamente.
-Secador de túnel a contracorriente con contacto directo.
-Humedad del material entrante 10%
-Humedad del material saliente >1%

De esta manera, el balance de energía en el equipo corresponde al siguiente:

$$F_{aire} \cdot C_{p_{aire}} \cdot \Delta T = F_{H_2O} \cdot C_{P_{H_2O}} \cdot (T_{eb} - T_{amb}) + F_{H_2O} \cdot \lambda_{H_2O}$$

$$F_{aire} = \frac{\left(F_{H_2O} \cdot C_{P_{H_2O}} \cdot (T_{eb} - T_{amb}) + F_{H_2O} \cdot \lambda_{H_2O} \right)}{C_{p_{aire}} \cdot \Delta T}$$

Al igual que para el proceso de separación por flotación, el aire del secador debe ser elevado de temperatura para alimentarse al secador. De esta manera, el balance de energia en la caldera alimentada con gas natural es el siguiente:

$$F_{aire} \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_{F16} - T_{amb}) + Q_{perdidas} = F_{combustible} \cdot PCI$$

$$F_{combustbile} = \frac{\left(F_{aire} \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_{F16} - T_{amb}) + Q_{perdidas} \right)}{PCI}$$

10.8 COMPARACIÓN CRÉDITOS DE FINANCIAMIENTO

Las opciones de financiamiento que tiene el proyecto corresponden a la utilización de un crédito con aporte de la mayor parte de la inversión del proyecto bajo dos posibles regímenes: cuota fija o amortización fija. La comparación entre ambas alternativas se basará en el monto final que debe cancelar el inversionista por el uso del crédito, es decir, aquella alternativa que pague menos intereses será más rentable.

La evaluación de las alternativas de financiamiento se basa en que el financiamiento será del 70% de la inversión inicial, con un horizonte de pago de 5 años y una tasa de interés común a los créditos de este tipo igual al 15% anual.

Por una parte, el crédito a cuota fija establece que durante todos los años bajo los cuales se quiere pagar el crédito, se pagará la misma cuota. Esta alternativa es útil para mantener un egreso de dinero constante y que tenga la misma magnitud durante todos los años, permitiendo así que los intereses que se pagan anualmente tengan un comportamiento descendiente. La evaluación de esta alternativa se muestra a continuación:

Tabla 40. Evaluación del crédito con cuota fija en un horizonte de 5 años.

Ítem/Año	0	1	2	3	4	5
Deuda [USD]	108.364	92.292	73.809	52.553	28.109	0
Cuota [USD]	-	32.327	32.327	32.327	32.327	32.327
Interés [USD]	-	16.255	13.844	11.071	7.883	4.216
Amortización [USD]	-	16.072	18.483	21.256	24.444	28.111

Por otra parte, el crédito a amortización fija permite que el aporte al saldo que se debe a la institución bancaria tenga una magnitud permanente y constante durante el horizonte de préstamo. Esto implica que la cuota que se paga anualmente sea una cuota descendiente y los intereses también tengan ese comportamiento. La evaluación de esta opción se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 41. Evaluación del crédito con amortización fija en un horizonte de 5 años.

Item/Año	0	1	2	3	4	5
Deuda [USD]	108.364	86.691	65.018	43.346	21.673	0
Cuota [USD]	-	37.927	34.676	31.426	28.175	24.924
Interés [USD]	-	16.255	13.004	9.753	6.502	3.251
Amortización [USD]	-	21.673	21.673	21.673	21.673	21.673

Finalmente, las dos alternativas se comparan para establecer cuál de las dos permite tener un pago total menor y sea más rentable. Esto es:

Tabla 42. Comparación alternativas de financiamiento posibles para la implementación de la planta de reciclaje mecánico.

	Cuota Fija	Amortización Fija
Deuda [USD]	108.366	108.364
Intereses [USD]	53.269	48.764
Total [USD]	**161.635**	**157.128**