UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

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

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2020-06-05

Proyecto de valorización de residuos municipales para la comuna de los vilos, IV región de Coquimbo, Chile

Zegarra Correa, Pamela Catalina

https://hdl.handle.net/11673/53903

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMERCIAL

PROYECTO DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS MUNICIPALES PARA LA COMUNA DE LOS VILOS, IV REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO COMERCIAL

AUTOR

PAMELA CATALINA ZEGARRA CORREA

PROFESOR GUÍA

CARLOS SOTO YÁÑEZ

PROFESOR CORREFERENTE

GIOVANNI PESCE SANTANA

VALPARAÍSO, 05 DE JUNIO, 2020

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las emociones que me invaden en este momento. Se cierra un ciclo en mi vida, uno que me desafío constantemente, pero que al fin y al cabo me volvió una persona fuerte y perseverante.

Quiero dedicar este logro a mi padre Octavio Zegarra, que dejo este mundo hace más de tres años. No me cabe duda de que debe estar mirándome y diciendo “siempre se sale con la suya”. A mi madre, Margot Correa, quien me dio la oportunidad de soñar y confió en mí. A mi hermano Miguel, quien desde pequeña me incentivo a estudiar. Y a mi hermana, Elizabeth, quien me acogió y apoyo en los años más difíciles.

Gracias a todas las personas que conocí durante mi etapa universitaria, en especial a mi amiga, Adriana Villegas, con quien tuve el agrado de compartir largas jornadas de estudio, cafés, estrés, pero también cervezas. A Leslye Estay, que ha estado apoyándome desde el primer año. A Javiera Encina y María Pilar por todas las risas. Finalmente, me gustaría agradecer a mi pareja, Matías Schiaffino, quien siempre me impulsa a ser una mejor persona y me apoya cuando creo que ya no puedo más.

El camino fue el correcto…

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento contiene la evaluación de un proyecto de valorización de residuos municipales. En concreto, una planta de compostaje ubicada en la ciudad de Los Vilos, considerando un horizonte de evaluación de 20 años. La metodología utilizada para desarrollar este informe comprende el diagnóstico de la situación actual, levantamiento de información, propuesta de solución, evaluación del proyecto y el flujo de beneficios netos.

Se estima que la comuna de Los Vilos generará 18.779 toneladas de residuos durante el año 2020, y que estos aumenten a una tasa de 0,5% anual, esperando así que para el año 2040 se generen 27.200 toneladas. La situación actual de la comuna de Los Vilos es desfavorable en lo que respecta al manejo de desechos. Por un lado, el Vertedero Municipal da término a su vida útil el año 2024 y, por otra parte, existe nula presencia de programas de reciclaje o empresas que se dediquen a la valorización de residuos. Sin ir más lejos, el municipio debe contar, para la puesta en marcha de la Ley REP, con cinco recicladores de base registrados y acreditados como tal, pero tan solo se tiene conocimiento de dos de ellos.

Investigando y analizando bajo distintos criterios e hipótesis las opciones de valorización y gestión para el residuo que representa mayor porcentaje en la descomposición del total de desechos generados en la comuna, se determinó que una planta de compostaje municipal para tratar residuos orgánicos compostables es la opción comúnmente utilizada por diversos municipios, ya que el material orgánico representa más del 50% del total de los desechos, donde el 70% de esta es compostable.

El proyecto propuesto reduce las toneladas de residuos que son depositados en el Vertedero Municipal, genera conciencia medio ambiental al instaurar y fomentar el reciclaje

en la comuna. De ahí que, prolonga la vida útil del Vertedero Municipal, otorgando más tiempo al municipio para la confección de un Relleno Sanitario y mejora el bienestar social dada las externalidades positivas que implica valorizar los residuos.

Se define que la planta de compostaje municipal recibirá materia prima sólo de la ciudad de Los Vilos, dado que en ella se concentra el 65,1% de la población comunal, a una tasa de crecimiento del 1,36%. La instalación estará ubicada a 4 kilómetros al norte de la localidad. El proceso de gestión del residuo de interés abarca desde su recolección, transporte y tratamiento, para definir cada una de ellas se investigó la operación y logística de las plantas de compostaje municipales reconocidas por un estudio llevado a cabo el 2019, respaldado por el Gobierno de Chile, el cual cumple con los criterios de validez y confiabilidad establecidos. Del levantamiento de información también se desprende el tamaño de planta, el cual se fijó en 5.000 m², considerando una holgura de 986,4 m². La planta estará diseñada para valorizar el primer año de operación 1.863 toneladas de residuo orgánico considerando un aumento del 0,5% anual. De este modo, para el año 2040, la planta llegará a la meta de toneladas valorizadas, la cual se fijó en 2.049 toneladas.

En cuanto al financiamiento, se postulará a dos fondos para reducir al máximo el aporte monetario propio del municipio. Dichos fondos son obtenidos postulando a la Circular 33 y PMB, ambos sujetos al presupuesto regional. Para concluir, el enfoque utilizado fue costo-beneficio y dado que se trata de un proyecto público, se utilizan los indicadores de rentabilidad VANS y TIRS considerando tres escenarios establecidos bajo supuestos, que definen el rendimiento de la planta de compostaje, es decir, el porcentaje de compost obtenido de la valorización de residuos. Finalmente, dado todos los antecedentes, se recomienda la ejecución del proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO **3**

INDICE DE TABLAS **8**

INDICE DE ILUSTRACIONES **10**

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN **11**

2. OBJETIVOS **15**

2.1. Objetivo General 15

2.2. Objetivos Específicos 15

3. MARCO TEÓRICO **16**

3.1. Residuos 16

3.1.1. Definición 16

3.1.2. Clasificación 16

3.2. Impacto ambiental 19

3.3. Responsabilidad Extendida del Productor 21

3.3.1. REP en Chile. 24

3.4. Análisis de los productos prioritarios en Chile 31

3.4.1. Aceites lubricantes 31

3.4.2. Aparatos eléctricos y electrónicos 32

3.4.3. Baterías 33

3.4.4. Envases y embalajes 35

3.4.5. Neumáticos 37

3.4.6. Pilas 39

3.5. Residuos orgánicos 40

3.6. El reciclaje como alternativa 40

3.6.1. Alternativas de tratamiento 41

3.6.2. Aspectos legales 63
3.6.3. Alternativas de fondos concursables para reciclaje 66
3.7. Gestión de residuos municipales 67
3.7.1. Identificación de beneficios 72
4. METODOLOGÍA 75
4.1. Diagnóstico de la situación actual 75
4.1.1. Identificación del área de estudio 75
4.1.2. Manejo actual de los residuos en Los Vilos 77
4.1.3. Demanda actual y proyectada 77
4.1.4. Oferta actual y proyectada 81
4.1.5. Déficit actual y proyectado 81
4.1.6. Aplicación a la población objetivo 82
4.2. Levantamiento de información 83
4.3. Propuesta de solución 83
4.3.1. Localización y tamaño del proyecto 84
4.3.2. Ingeniería del proyecto 84
4.3.3. Requerimientos legales 85
4.3.4. Financiamiento 86
4.4. Evaluación del proyecto 86
4.4.1. Cuantificación y valorización de beneficio 87
4.4.2. Identificación y cuantificación de los costos 87
4.5. Flujo de beneficios netos 88
4.5.1. Análisis de rentabilidad 89
4.5.2. Horizonte de evaluación 90
4.5.3. Análisis de riesgo 90

4.5.4. Toma de decisión proyecto 91

5. RESULTADOS 92

5.1. Diagnóstico de la situación actual 92

5.1.1. Identificación del área de estudio 92

5.1.2. Manejo actual de los residuos en Los Vilos 95

5.1.3. Demanda actual y proyectada 99

5.1.4. Oferta actual y proyectada 105

5.1.5. Déficit actual y proyectado 108

5.1.6. Aplicación a la población objetivo 109

5.2. Levantamiento de información 113

5.3. Propuesta de solución 117

5.3.1. Localización y tamaño del proyecto 117

5.3.2. Ingeniería del proyecto 119

5.3.3. Requerimientos legales 124

5.3.4. Financiamiento 127

5.4. Evaluación del proyecto 130

5.4.1. Cuantificación y valorización de beneficio 131

5.4.2. Identificación y cuantificación de los costos 133

5.5. Flujo de beneficios netos 137

5.5.1. Análisis de rentabilidad 137

6. CONCLUSIONES 142

7. RECOMENDACIONES 145

8. REFERENCIAS 146

INDICE DE TABLAS

Diferentes formas de clasificación de los residuos 17
Distribución de BFU sector minero 34
Distribución de BFU sector automotriz 35
Estimación de la generación regional de NFU 38
Materiales para el compostaje 58
Tasa de crecimiento generación per cápita 78
Valores mensuales 96
Ingreso mensual residuos Vertedero Municipal 100
Proyección de generación residuos por año 101
Composición actual de los residuos 103
Composición y cantidad de residuos proyectado 104
Total de toneladas tratadas y proyectadas 108
Déficit actual y proyectado comuna 109
Déficit residuos población objetivo 110
Proyección de residuo orgánico compostable 112
Principales fuentes de generación de residuos orgánicos y tratamiento utilizado 113
Equipamiento y maquinaria disponible en las plantas de compostaje 114
Ficha técnica comunas seleccionadas 115
Principales características del servicio de recolección y transporte de RSM 116
Principales características de la planta de compostaje 117
Ubicación contenedores residuos orgánicos 120
Contenidos mínimos de una DIA 124
Normativa ambiental aplicable al proyecto 125
Requerimiento usos de las industrias y bodegas molestas 126
Documentación "Código Sanitario" 127
Documentos Memoria Técnica 127
Escenarios producción de compost y ahorro generado 132
Costos de inversión 134

Costos anuales de operación y mantenimiento 135
Costos a Precios Sociales 137
VANS y TIRS según escenario. 138
Beneficios netos del proyecto - escenario optimista 139
Beneficios netos del proyecto - escenario promedio 140
Beneficios netos del proyecto - escenario pesimista 141

INDICE DE ILUSTRACIONES

Generación de residuos a nivel nacional durante el año 2017 19
Modelo para Responsabilidad Extendida del Productor 23
Jerarquía en el manejo de residuos 25
Productos prioritarios y sus características 27
Esquema general REP 31
Distribuciones asociadas a los EyE 36
Comercialización de pilas 40
Códigos de identificación plástico 47
Proceso de gestión de los residuos 68
División político-administrativa 92
Mapa recolección residuos-Los Vilos 97
Mapa Vertedero Municipal 98
Mapa jaulas PET 106
Terreno municipal INIA 118
Flujograma del Proceso Productivo en Planta de Compostaje 123
Fuentes de Financiamiento 128

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El fenómeno económico conocido como Revolución Industrial es una de las dos transformaciones fundamentales del ámbito económico de la civilización. Dicha revolución se basaba en la aplicación del poder mecánico para la fabricación y un crecimiento económico caracterizado por una economía lineal que tiene como principal concepto "tomar-hacer-desechar", donde las empresas fabrican productos y los consumidores usan y eliminan. "Este modelo económico y productivo estaría basado en el consumismo, donde se relaciona el prestigio y la distinción social con el poder adquisitivo de las personas; entonces puede observarse un afán por consumir rápidamente y en mayores cantidades" (Ruiz, 2013). El sistema socioeconómico actual basado en un sistema lineal, donde la lógica conceptual de la creación de valor es el flujo de material, en el que solo el material virgen entra en el comienzo de la cadena de valor, ha traído graves consecuencias a nuestro ecosistema y medioambiente a nivel mundial. (Michelini, Moraes, Cunha, Costa & Ometto, 2017).

El crecimiento económico y la globalización han originado evidentes beneficios, pero al mismo tiempo han provocado la aparición de nuevos riesgos. "La contaminación ambiental se posiciona como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas se ha incrementado exponencialmente" (Reyes, Vergara, Torres, Díaz & González, 2016). Otras consecuencias asociadas a la inestabilidad climática son las tormentas y sus consecuencias directas, las cuales fueron una de las principales causas de daños en 2017. De los diez países más afectados en 2017, cuatro fueron afectados por ciclones tropicales. Se cree que el número de ciclones severos aumentará a medida que se intensifique la temperatura promedio mundial (Germanwatch, 2019).

El Boletín de la Organización Meteorológica Mundial (2019) sobre los Gases de Efecto Invernadero ha mostrado que la concentración media mundial de dióxido de carbono (CO_2) alcanzó las 407,8 partes por millón (ppm) en 2018, tras haber sido de 405,5 ppm en 2017, superando el crecimiento medio de los últimos diez años. El dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero de larga duración en la atmósfera relacionado con las actividades humanas.

Un artículo publicado mediante Our World in Data (2019) alude que los principales emisores de dióxido de carbono en el mundo son: China, representando más de una cuarta parte de las emisiones; Estados Unidos, representando un 15% y UE-28[1] con un 10%. Por otro lado, Cable News Network (2017) afirma mediante un estudio realizado por PNUMA que América Latina emite el 5% de las emisiones mundiales.

Salmerón et al. (2017) indican que las emisiones aportadas por el biogás que se produce durante la descomposición de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en los vertederos, contienen dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, contaminantes que generan problemas al ambiente y bienestar público, intensificando de esta manera las concentraciones de gas de efecto invernadero en la atmósfera.

Del total de basura generada en el mundo, la producida en Chile representa cerca de un 1%. Diversas fuentes lo califican como el país con mayor cantidad de residuos per cápita de Latinoamérica (Suazo, 2017). En 2017, se generaron cerca de 23 millones de toneladas de residuos en Chile, donde el 97,3% equivale a residuos no peligrosos y el 2,7% a residuos

[1] La Unión Europea está formada por 28 Estados miembros, los cuales son: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía y Suecia.

peligrosos. Los residuos no peligrosos contemplan residuos de origen industrial (60,4%), residuos sólidos municipales (35,3%) y lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (1,6%). Respecto a los residuos no peligrosos generados, el 76,4% fue eliminado y el 23,6% valorizado. Los residuos son eliminados principalmente en rellenos sanitarios y vertederos (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

El 2017, la Región Metropolitana presentó la mayor generación de residuos del total nacional alcanzando el 49,2%, con 11,3 millones de toneladas (Ministerio del Medio Ambiente, 2019). En la Región de Coquimbo, el año 2016 registró 311,892 toneladas de residuos, lo que se traduce a 1,3% del total nacional. Los Vilos, que pertenece a la Región de Coquimbo, aportó aproximadamente con 11.596 toneladas de residuos durante 2016, siendo la cuarta comuna que más residuos generó sobre un total de 15. (Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile, s.f)

Durante el año 2019 la ONG Estudios Territoriales Aplicados Choapa, desarrolló un proyecto denominado “Desarrollo territorial y ciudadanía; fortaleciendo la incidencia en políticas locales”, donde se realizó, entre otras cosas, un sondeo de la percepción ciudadana en temas de interés público en la comuna de Los Vilos. Según el director de dicha ONG Inaldi Cofré (comunicación personal, 3 de enero, 2020), el estudio concluyó que la mayor preocupación de los locatarios de Los Vilos son los residuos, haciendo énfasis en que su mala gestión genera consecuencias negativas tanto para el turismo de la zona como para la higiene pública. Cabe destacar que dentro del marco del estudio no se profundizó qué tipos de residuos son más perceptibles por los locatarios.

Actualmente en la comuna de Los Vilos carece de empresas de reciclaje, y las ciudades más cercanas que tienen compañías que ofrecen este servicio son: Coquimbo, aproximadamente a 224 km. de distancia; Valparaíso, a 186 km.; y Santiago, a 222 km. Por otro lado, no existen incentivos por parte del municipio o de la empresa Crecer, actual entidad encargada de recolectar los residuos domiciliarios, de adaptar, gestionar o integrar este servicio para la comunidad.

El actual vertedero municipal de la comuna de Los Vilos queda a 7 km. aproximadamente de la Ruta 5 Norte. El vertedero se encuentra al interior del Fundo Caracas, lugar que es arrendado por el municipio para estos fines. Según Luis Tapia, profesional de obras civiles de la Ilustre Municipalidad de Los Vilos (comunicación personal, 18 de diciembre, 2019), en agosto de 2019 se realizó una proyección de la capacidad del vertedero, la cual se estima en 2.400 m^3 mensuales para los próximos 5,2 años.

Dados todos estos antecedentes, cabe cuestionarse: ¿cuál es la cantidad de residuos por categoría que se genera en Los Vilos?, ¿cuáles son las alternativas de valorización de residuos y su viabilidad para implementarlas en Los Vilos?, ¿qué proyecto de valorización de residuos podría generar un mayor impacto y bienestar social en la comuna de Los Vilos?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Desarrollar un proyecto de valorización de residuos municipales para la comuna de Los Vilos mediante el uso de herramientas estadísticas y técnicas de evaluación de proyectos para reducir el impacto ambiental.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar leyes e incentivos sobre manejo de residuos mediante el estudio jurídico nacional de Chile para tener las consideraciones de los aspectos legales pertinentes.
- Definir una metodología de caracterización de residuos mediante un levantamiento de información para determinar la cantidad de residuos por categoría que generan los locatarios de la comuna de Los Vilos.
- Estudiar alternativas de reciclaje mediante una investigación exhaustiva y análisis de diferentes iniciativas implementadas en territorio nacional e internacional para identificar opciones de reciclaje viables para la comuna de Los Vilos.
- Determinar el bienestar social de la opción de valorización de residuos seleccionada mediante el uso de herramientas financieras.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Residuos

3.1.1. Definición

Cabildo et al. (2008) indican que residuo es todo material inútil o no deseado, originado por la actividad humana, en cualquier estado físico (sólido, líquido, gaseoso, y sus respectivas mezclas) que pueden ser liberados en cualquier medio receptor (atmósfera, agua, suelo). Incluye, por tanto, no sólo los residuos sólidos, sino también los efluentes líquidos y las emisiones gaseosas. Hay objetos o materiales que son residuos en determinadas situaciones, mientras que en otras se aprovechan. Muchos residuos se pueden reciclar si se dispone de las tecnologías adecuadas y el proceso es económicamente rentable. Una buena gestión de los residuos persigue, precisamente, no perder el valor económico y la utilidad que puedan tener muchos de ellos y usarlos como materiales útiles en vez de descartarlos.

Se debe tomar en consideración que la legislación chilena define residuo como "sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo a la normativa vigente." (Ley N°20.920, 2016), dado que el estudio se sitúa en territorio nacional.

3.1.2. Clasificación

Establecer una clasificación de los residuos suele ser complejo, a modo general se puede realizar atendiendo a distintos factores: características físico-químicas, origen, peligrosidad, posibles tratamientos, flujos temáticos, etc. A su vez, dentro de cada clasificación pueden establecerse varias categorías. De esta forma, se pueden encontrar un gran número de modos de clasificar los residuos, como se evidencia en la tabla 1.

Clasificación de los residuos	
Según sus **características físico-químicas**	Sólidos, líquidos, lodos/fangos, pastosos, radiactivos, etc.
Según su **origen**	Sólidos urbanos (municipales), comerciales, industriales, agropecuarios, construcción y demolición, sanitarios (hospitalarios), mineros, etc.
Según su **peligrosidad**	Peligrosos, inertes, biocontaminados, no peligrosos, radiactivos, infecciosos, etc.
Según sus **posibles tratamientos**	Fermentables, reciclables, valorizables, inertizables, etc.
Según sus **flujos temáticos**	Aparatos eléctricos y electrónicos, vehículos al final de su vida útil, neumáticos, envases y embalajes, construcción y demolición, PVC, etc.
Según el **punto de vista ecológico**	Biodegradables y no biodegradables.

Tabla 1: Diferentes formas de clasificación de los residuos.

(Fuente: Reciclado y tratamiento de residuos, 2008)

En Chile, el Ministerio del Medio Ambiente clasifica los residuos según sus características y origen, de donde proceden terminologías que se emplean al estipular leyes o establecer incentivos. En efecto, es necesario conocer en Chile cuáles son las clasificaciones y categorías empleadas.

3.1.2.1. Según sus características

- Residuo peligroso: Residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto (Ministerio del Medio Ambiente, s.f).

- Residuo no peligroso: Residuo que no presenta riesgo para la salud pública ni efectos adversos al medio ambiente (Ministerio del Medio Ambiente, s.f).
- Residuo inerte: Es un residuo no peligroso que no experimenta variaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble, ni combustible, ni reacciona física o químicamente, ni de ninguna otra manera. No es biodegradable y tampoco afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto (Ministerio del Medio Ambiente, s.f).

Para efectos de esta investigación, se ha incorporado una clasificación adicional para los residuos.

- Residuos con potencial de valorización (RV): corresponde a aquellos que tienen un valor económico y que pueden ser sometidos a un proceso de reciclaje o valorización energética.

3.1.2.2. Según su origen

- Residuos Sólidos Municipales (RSM): Incluye residuos sólidos domiciliarios y residuos similares a los anteriores generados en el sector servicios y pequeñas industrias. También se consideran residuos municipales a los derivados del aseo de vías públicas, áreas verdes y playas (Ministerio del Medio Ambiente, s.f).
- Residuo Industrial: Residuo resultante de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza y mantenimiento, generados por la actividad industrial. Corresponden a residuos sólidos, líquidos o combinaciones de estos, que por sus características físicas, químicas o microbiológicas, no pueden asimilarse a los residuos domésticos (Ministerio del Medio Ambiente, s.f).

Los residuos de características no peligrosos corresponden al 97,3% del total nacional generado en el 2017, siendo los residuos de origen sólidos municipales los que durante referido año aportaron alrededor del 35,3% del total de dichos residuos a nivel nacional, por debajo de los de origen industrial los cuales fueron un 60,4% (Ministerio del Medio Ambiente, 2019) (ver ilustración 1).

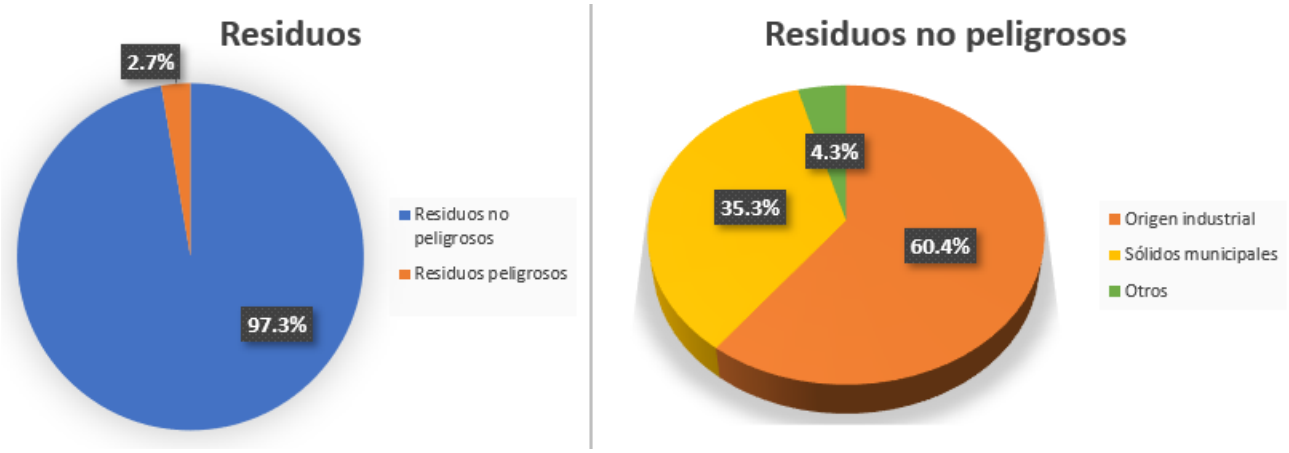

Ilustración 1: Generación de residuos a nivel nacional durante el año 2017.

(Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2019)

3.2. Impacto ambiental

Un gran porcentaje de los residuos generados tienen un destino desconocido, pudiendo ser estas depositadas en lugares no autorizadas como vertederos ilegales o al costado de caminos y quebradas (GESCAM, 2017). La eliminación de residuos de manera inapropiada, que no cumplen con las normativas, genera afectaciones negativas a distintos elementos del medio ambiente. El Ministerio de Medio Ambiente (2016) alude a ejemplos de esto:

- Contaminación del agua: En los sitios de disposición final que no cuentan con una capa impermeable que proteja el suelo y lo aísle de los líquidos percolados provenientes de la descomposición y compresión de los residuos, estos líquidos se lixivian o filtran a través del suelo, contaminándolo, pudiendo llegar incluso a las napas de agua subterránea. Asimismo, se contamina el agua por el arrastre de desechos que traen los ríos, depositándolos en lagos y/o en los océanos.

- Contaminación del aire: Cuando se concentran grandes cantidades de residuos en un sitio, con el paso del tiempo comienzan a descomponerse lentamente y, con baja o nula presencia de oxígeno, generan emanaciones de gases contaminantes, causando malos olores. Estas emisiones pueden ser controladas y captadas con sistemas de recuperación de gases, sin embargo, estos sistemas no están instalados en los vertederos o basurales, solo en rellenos sanitarios.

- Degradación de los suelos: El suelo puede verse afectado por la acumulación de residuos de distinta naturaleza, los que combinados generan sustancias contaminantes que pueden alterar las propiedades físicas y químicas del suelo, reduciendo su fertilidad, su capacidad de aireación, su capacidad de retención de agua y su porosidad. Además, la acumulación de residuos de manera inapropiada en lugares no autorizados puede aumentar el riesgo de incendios.

- Alteración de los ecosistemas: Los ecosistemas se ven afectados cuando su capacidad de carga y de regeneración se ve sobrepasada. Si a esto se le suma la acumulación de residuos de manera descontrolada, se generan afectaciones

en los hábitats, pudiendo incluso alterar significativamente los ecosistemas y las especies que los componen.

Al mismo tiempo, son diversas e incluso desconocidas las consecuencias a la salud humana asociadas por la contaminación. La información disponible sobre las enfermedades relacionadas con el medio ambiente procede principalmente de la experimentación en animales, estudios de laboratorio, estudios epidemiológicos y toxicológicos. Sin embargo, se ha estimado que en los países industrializados un 20 % de la incidencia total de enfermedades puede atribuirse a factores medioambientales, por ejemplo, las enfermedades respiratorias, el asma y las alergias. En cuando a la disminución de la capa de ozono estratosférico y la exposición a radiaciones ultravioletas están asociadas a un aumento del cáncer de piel, cataratas y alteraciones del sistema inmunitario (Vargas, 2005).

3.3. Responsabilidad Extendida del Productor

El término “Responsabilidad Extendida del Productor”, conocida comúnmente con sus siglas REP o EPR en inglés, 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. El concepto de REP fue elaborado originalmente en Europa a través del análisis de experiencias del mundo del reciclaje y sistemas de tratamiento de residuos por un especialista sueco en gestión ambiental, Thomas Lindhqvist, quien en el año 1990 confecciona el informe “Models for extended producer responsibility”. Un año después, dicho autor propone una definición formal de REP: “Se trata de un principio político para promover mejoras ambientales para ciclos de vida completos de los sistemas de los productos

al extender las responsabilidades de los fabricantes del producto a varias fases del ciclo total de su vida útil, y especialmente a su recuperación, reciclaje y disposición final. Un principio político es la base para elegir la combinación de instrumentos normativos a ser implementados en cada caso en particular. La responsabilidad extendida del productor es implementada a través de instrumentos políticos administrativos, económicos e informativos" (Lindhqvist, 2000).

El concepto REP y su entendimiento recae en diversas líneas de pensamiento que promueven, a su vez, líneas de acción diferentes. No obstante lo anterior, todas las formas en las que se entiende la REP deben traducirse en una mejora dentro del ciclo de vida del producto (Rossem, Tojo & Lindhqvist, 2006). Se trata de una política ambiental en la que se extiende la responsabilidad del productor por sus productos a la etapa de post-consumo del ciclo de vida de este, haciéndose cargo de la adecuada gestión de los residuos asociados a su producto, desde su fabricación hasta el final de su vida útil. De esta manera, la REP fomenta el cambio desde una economía lineal a una circular, donde el valor de los productos y materiales se mantienen durante el mayor tiempo posible, y los residuos y el uso de recursos se reducen al mínimo (Comisión Europea, 2015).

Ya durante el año 2015, 36 naciones usaban esta ley como un instrumento efectivo para la gestión de residuos (Ministerio del Medio Ambiente, 2015). 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, más no los tipos de responsabilidades y actividades que deben cumplirse, los cuales fueron definidos por Thomas Lindhqvist (2000) y se repiten casi en su totalidad para los distintos escenarios.

- **Responsabilidad legal:** Implica que el productor responde por los daños causados y probados al medio ambiente. El grado de responsabilidad es determinado según la regulación legislativa bajo la cual se norme el programa REP.
- **Responsabilidad económica:** Consiste en que el productor cubrirá todo o parte de los costos, por ejemplo, de la recolección, reciclaje y disposición final de los productos que fabrica. Estos costos pueden ser pagados directamente por el productor o mediante un impuesto especial.
- **Responsabilidad física:** Utilizada para caracterizar los sistemas en los que el fabricante participa activamente en el manejo físico de los productos o de sus efectos.
- **Responsabilidad informativa:** Implica requerir al productor la entrega de información sobre las propiedades ambientales de los productos que se están fabricando.

Cabe destacar que el fabricante también puede conservar la propiedad de sus productos durante todo su ciclo de vida. La ilustración 2, distingue diferentes formas de responsabilidad:

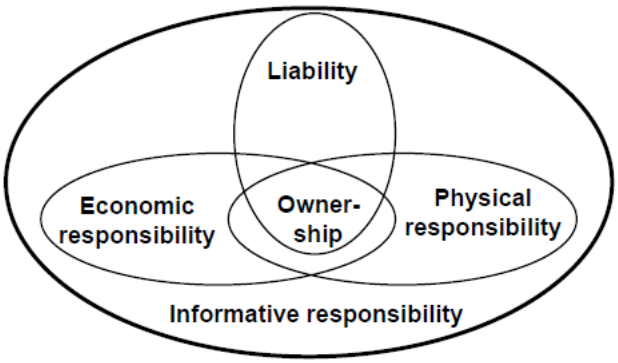

Ilustración 2: Modelo para Responsabilidad Extendida del Productor.

(Fuente: Lindhqvist, 2000)

La implementación efectiva de REP debería alcanzar el logro de dos objetivos principales relacionados con el medio ambiente (Rossem et al, 2006): las mejoras de diseño de productos y el alto uso de la calidad del producto y del material a través de una recolección efectiva y reutilización o reciclaje.

3.3.1. REP en Chile.

Durante el año 2013 se presenta a la Cámara de Diputados un proyecto que engloba el concepto REP, que tiene como objetivo aumentar el reciclaje de residuos en Chile de un 10% a más de un 30% (Estrategia Sustentable, 2019). En este sentido, la ley se comienza a tramitar por el parlamento y es durante el 2015 que la sala de la Cámara aprobó por unanimidad el proyecto de ley. Luego de varios trámites, finalmente, el 17 de mayo de 2016 se promulga la Ley N°20.920, denominada Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (REP) (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

La Ley alude que su objetivo es "disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente" (Ley N°20.920, 2016). Además, promueve la jerarquía en el manejo de los residuos, la cual es una pirámide invertida que considera como primera alternativa la prevención en la generación de residuos y deja como última alternativa su eliminación (ver ilustración 3).

La Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje ha impulsado a las empresas a explorar el ecodiseño, el cual es una metodología para la gestión estratégica de innovación que se aplica en la etapa inicial de diseño, integrando aspectos

ambientales en el diseño del producto, envase, embalaje, etiquetado u otros, con el fin de disminuir las externalidades ambientales a lo largo de todo su ciclo de vida (Ley N°20.920, 2016).

Ilustración 3: Jerarquía en el manejo de residuos.

(Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2016)

3.3.1.1. Principales instituciones involucradas

- **Ministerio de Medio Ambiente de Chile (MMA):** Ministerio encargado de colaborar con el presidente de la República en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos (Ministerio de Medio Ambiente, s.f).
- **Superintendencia del Medio Ambiente de Chile (SMA):** Cumple un rol fiscalizador y de sanción sobre los instrumentos de gestión ambiental vigentes en el país **(**Superintendencia del Medio Ambiente, s.f).

- **Servicio de Evaluación Ambiental (SEA):** Su función principal es administrar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) que es un instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo, es decir, que permite a la autoridad determinar antes de la ejecución de un proyecto si éste cumple con la legislación ambiental vigente y si se hace cargo de los potenciales impactos ambientales significativos. Finalmente determina si se aprueba o rechaza dicho proyecto (Servicio de Evaluación Ambiental, s.f).
- **Tribunales Ambientales:** es un órgano jurisdiccional especial creado por la Ley N°20.600, autónomo e independiente, cuya función es resolver las controversias medioambientales de su competencia (Tribunales Ambientales, s.f).

3.3.1.2. Productos prioritarios

Para efectos de la Ley N°20.920 (2016), reciben el nombre de Productos Prioritarios (PP) aquellas sustancias u objetos que una vez transformado en residuo, quedan sujetos a las obligaciones de la Responsabilidad Extendida del Productor. Dicha responsabilidad aplicará a las categorías o subcategorías definidas en los respectivos decretos supremos que establezcan metas y otras obligaciones asociadas, para los siguientes productos prioritarios; Aceites lubricantes, Aparatos eléctricos y electrónicos, Baterías, Envases y embalajes, Neumáticos y Pilas (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

La ilustración 4 evidencia las características con las que cuenta cada producto y que fueron relevantes al momento de definir cuáles se considerarían prioritarios. La mayoría de estos productos son abarcados por los modelos REP a nivel internacional debido a su alto impacto.

Producto prioritario	Consumo Masivo	Volumen Significativo	Residuo Peligroso	Factible de Valorizar	Regulación Comparada
Aceites lubricantes	✓	✓	✓	✓	✓
Aparatos eléctricos y electrónicos	✓	✓	✓	✓	✓
Envases y embalajes	✓	✓	✗	✓	✓
Pilas	✓	✗	✓	✗	✓
baterías	✓	✓	✓	✓	✓
Neumáticos	✓	✓	✗	✓	✓

Ilustración 4: Productos prioritarios y sus características.

(Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2016)

3.3.1.3. Actores involucrados

Existen diferentes actores involucrados en el cumplimiento de las metas, en virtud de lo dispuesto en la mencionada ley, los cuales poseen diferentes roles y responsabilidades.

- **Productor de producto prioritario (PPP):** Persona que, independientemente de la técnica de comercialización, coloca un PP en el mercado nacional por primera vez; coloca un PP en el mercado nacional bajo marca propia adquirido de un tercero que no es el primer distribuidor; o importa un PP para su propio uso.

  - <u>Obligaciones:</u>

    a) Registrarse en catastro público de PPP.

    b) Organizar y financiar la recolección y tratamiento de residuos de los PP, a través de un sistema de gestión.

c) Asegurar que el tratamiento de residuos de PP recolectados se realice por gestores autorizados.

d) Cumplir metas de recolección y metas de valorización de residuos de PP, y otras obligaciones asociadas.

- **Consumidor de PP:** Todo generador de un residuo de producto prioritario.

➢ Obligaciones:

a) Separar y entregar el residuo de un PP a un gestor de PP contratado por un sistema de gestión.

b) Los consumidores industriales podrán valorizar, por sí mismos o a través de gestores autorizados y registrados, los residuos de productos prioritarios que generen. En este caso, deberán informar al Ministerio, a través del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, sobre la valorización efectuada.

- **Gestor de residuo de PP:** Persona natural o jurídica, pública o privada, que realiza cualquiera de las operaciones de manejo de residuos y que se encuentra autorizada y registrada en conformidad a la normativa vigente.

➢ Obligaciones:

a) Manejar los residuos de manera ambientalmente racional, aplicando las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales, en conformidad a la normativa vigente, y contar con la o las autorizaciones correspondientes.

b) Declarar a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, al menos, el tipo, cantidad, costos, tarifa del servicio, origen, tratamiento y destino de los residuos.

- **Distribuidor y comercializador:** Toda persona natural o jurídica, distinta del productor. El primero hace referencia a quien comercializa un producto prioritario antes de su venta al consumidor y el segundo es quien vende el producto prioritario al consumidor final. Por lo tanto, el distribuidor es un intermediario entre el productor y el comercializador.

  - <u>Obligaciones:</u> Siempre y cuando cuyas instalaciones tengan una determinada superficie.

    a) Convenir con un sistema de gestión el establecimiento y operación de una instalación de recepción y almacenamiento.

    b) Aceptar sin costo la entrega de los residuos de productos prioritarios que comercialice de parte de los consumidores.

- **Sistema de gestión:** Mecanismo instrumental para que los productores, individual o colectivamente, den cumplimiento a las obligaciones establecidas en el marco de la responsabilidad extendida del productor, a través de la implementación de un plan de gestión.

  - <u>Obligaciones:</u>

    a) Constituir y mantener vigente fianza, seguro u otra garantía para asegurar el cumplimiento de la obligación asociadas a cada producto prioritario.

b) Celebrar los convenios necesarios con gestores registrados y autorizados, municipalidades y/o asociaciones municipales con personalidad jurídica

c) Entregar al Ministerio los informes de avance o finales, a través del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, sobre el cumplimiento de las metas y otras obligaciones asociadas.

3.3.1.4. Rol de las municipalidades

A fin de colaborar con el adecuado cumplimiento de las exigencias establecidas para los productores, las municipalidades podrán celebrar convenios con los sistemas de gestión y recicladores de base. Podrán otorgar permiso municipal para el uso de bienes nacionales de uso público para el establecimiento y/u operación de instalaciones de recepción y almacenamiento. Deberán incorporar en sus ordenanzas la obligación de recolección selectiva, promoverán la educación ambiental de la población sobre la prevención en la generación de residuos y su valorización, podrán diseñar e implementar estrategias de comunicación y sensibilización, y podrán diseñar e implementar medidas de prevención en la generación de residuos (Ministerio de Medio Ambiente, 2016). La ilustración 5 muestra el esquema general de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.

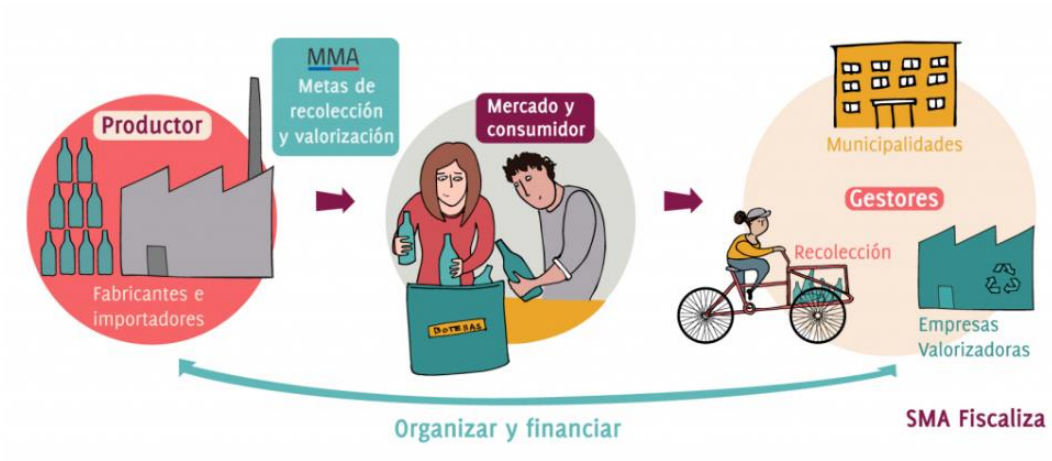

Ilustración 5: Esquema general REP

(Fuente: Ministerio del Medio Ambiente)

3.4. Análisis de los productos prioritarios en Chile

Uno de los pasos principales que deben 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. Teniendo esto como base, el siguiente apartado contempla el levantamiento de información de los productos prioritarios establecidos en la Ley REP en Chile.

3.4.1. Aceites lubricantes

En Chile no se fabrica aceite lubricante, por lo tanto, todo lo que se consume es importado. Es el único residuo en estado 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 (GESCAM, 2017).

La vida útil promedio del aceite lubricante depende del tipo de motor y la intensidad de su uso. La demanda por aceites lubricantes está ligada principalmente al parque vehicular, la industria pesquera, la industria minera y las empresas constructoras (CONAMA, 2011). Una vez que el aceite lubricante alcanza el fin de su vida útil, el consumidor particular normalmente acude a un Taller Mecánico, Lubricentro o Serviteca para que le extraigan el Aceite Lubricante Usado (ALU) y lo reemplacen por lubricante nuevo. La distribución de los talleres de mantención el año 2014 en Chile concentra el 70% en cinco regiones del país, a saber: 36,1% en la Región Metropolitana, 12,3% en la Región del Bío Bío, 8,8% en Valparaíso, 6,4% en Los Lagos y el 5,5% en la Región de La Araucanía. En el caso de los aceites industriales, la generación de ALU se concentra mayoritariamente en la Región Metropolitana con un 88% en promedio entre 2014 y 2015 y en la Región del Bío Bío con un 6% en promedio en los mismos años (GESCAM, 2017).

3.4.2. Aparatos eléctricos y electrónicos

El mercado de grandes y pequeños electrodomésticos en Chile se basa en las importaciones, que representan alrededor del 95% del consumo aparente nacional de estos productos (Ministerio del Medio Ambiente, 2015). La generación de estos residuos tiene una relación directa con el crecimiento económico y tecnológico del país.

Según el último estudio de la Universidad de las Naciones Unidas, Chile encabeza el Top 3 de Latinoamérica de países generadores de residuos electrónicos con una alarmante cifra de 8,7 kilos al año por persona (BBC, 2017). El 62% de la generación de residuos de grandes y pequeños electrodomésticos se concentra en tres regiones: la Región Metropolitana (45%), la del Biobío (12%) y Valparaíso (10%). Esta estimación considera que el consumo

por habitante de los electrodomésticos es el mismo en todas las regiones, sin embargo, no necesariamente es así, ya que, por ejemplo, se esperaría un mayor consumo de estufas en el sur que el norte del país (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

3.4.3. Baterías

En Chile no se fabrican baterías de ningún tipo, por lo tanto, la demanda es satisfecha en su totalidad por importaciones, principalmente traídas desde Corea del Sur, China, Colombia, y Estados Unidos. Sin embargo, no sólo ingresan baterías como producto final para recambio, sino que también lo hacen como componente de vehículos o de maquinarias que las requieren para su funcionamiento, para las cuales el origen es más amplio (GESCAM, 2017).

Una batería de vehículo se demora cerca de mil años en degradar. Se estima que en Chile se desechan cerca de 2.400 toneladas de baterías al mes, lo que corresponde a 160.000 unidades considerando que cada una pesa en promedio 15 kilogramos (United Nations Global Compact, 2016)

En nuestro país, la empresa Recicladora Ambiental (RAM) – Recimat es la única que tiene los permisos y tecnología para reciclar las baterías, separar sus elementos y darle un nuevo uso. Su historia comenzó el 2004, con la promulgación del DS N°148 sobre residuos peligrosos, el cual obligaba a ciertas industrias, como la minera, a hacerse cargo de sus desechos (United Nations Global Compact, 2016).

Se considerará las baterías fuera de uso (BFU) generadas por la industria automotriz y minería para determinar en qué región se encuentra su mayor concentración. GESCAM (2017) realizó una estimación y proyección de las BFU por región del sector minero en

función de la producción de cobre y fierro en el 2015, medido en toneladas de BFU por año (ver tabla 2).

Región	*BFU 2016*	*BFU 2017*	*BFU 2018*	*BFU 2019*
	[ton BFU/ año]			
I Tarapacá	100	101,4	102,9	106
II Antofagasta	534	543,6	551,6	571
III Atacama	1.520	1.546,6	1.569,4	1.624
IV Coquimbo	87	88,8	90,2	93
V Valparaíso	51	51,6	52,4	54
VI O'Higgins	84	85,2	86,5	89
Metropolitana	69	70,3	71,3	74
XV Arica	1	1,0	1,0	1,0
VII Del Maule	0	0,0	0,0	0,0
XI Aysén	0	0,1	0,1	0,0

Tabla 2: Distribución de BFU sector minero.

(Fuente: GESCAM, 2017)

Como se aprecia en la tabla anterior, destaca la Región de Atacama, que por sí sola genera alrededor del 62% de las BFU en minería. Por otro lado, la misma consultora ambiental realizó también el mismo procedimiento para calcular las BFU por año generadas, pero para el sector automotriz, tomando como referencia los registros hasta el año 2016, concluyendo que la Región Metropolitana, genera alrededor del 37% de las BFU provenientes del sector automotriz (ver tabla 3).

De lo anterior se puede inferior por lo tanto que las baterías fuera de uso se concentran en la Región de Atacama y la Región Metropolitana.

Región	*BFU 2017*	*BFU 2018*	*BFU 2019*
	[ton BFU/ año]		
I Tarapacá	572	591	612
II Antofagasta	893	922	954
III Atacama	534	561	581
IV Coquimbo	1.031	1.064	1.101
V Valparaíso	2.481	2.562	2.652
VI O'Higgins	1.409	1.454	1.505
VII Del Maule	1.747	1.804	1.867
VIII Biobío	2.739	2.828	2.927
IX de La Araucanía	1.185	1.223	1.266
X de Los Lagos	1.162	1.200	1.242
XI Aysén	199	206	213
XII de Magall. Y Antártica	336	346	359
Metropolitana	9.034	9.327	9.654
XIV de Los Ríos	479	495	512
XV de Arica y Parinacota	355	366	379

Tabla 3: Distribución de BFU sector automotriz.

(Fuente: GESCAM, 2017)

3.4.4. Envases y embalajes

Se define como envase y/o embalaje a todo objeto de cualquier material destinado a contener, proteger, manejar y transportar una sustancia u objeto para su distribución, comercialización, consumo, valorización y/o eliminación (CONAMA, 2002).

El mercado de los Envases y Embalajes (EyE) a nivel nacional se encuentra conformado genéricamente por empresas proveedoras (fabricantes e importadoras) y sus

locales de distribución, así como por diversos distribuidores. La mayoría de los fabricantes se ubican en la Región Metropolitana y una parte importante de las empresas se encuentra asociada al Centro de Envases y Embalajes de Chile (CENEM, 2017).

La categoría de EyE es la que posee mayor vinculación con los residuos municipales de tipo domiciliario y comercial (Ministerio de Energía, 2018), ya que, si bien se genera una parte importante de estos residuos a nivel industrial, la mayoría de los mismos llega finalmente al consumidor final (hogares, comercio e instituciones) y terminan en el flujo de los residuos sólidos municipales (RSM). Por ejemplo, en el 2010 los residuos de la categoría envases y embalajes representaron un 30,7% del total de RSM a nivel nacional, es decir, 2.040.877 toneladas (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

La producción nacional de packaging se dividió en el 2017 en un 41% de envases plásticos, 30% de envases de papel y cartón, 12% de envases de vidrio, 12% de envases metálicos; y 5% de envases de madera (CENEM, 2017) (ilustración 6). La cantidad de residuos de EyE generados es equivalente al consumo interno aparente de los EyE, dado que el tiempo de comercialización y uso promedio es menor a un año.

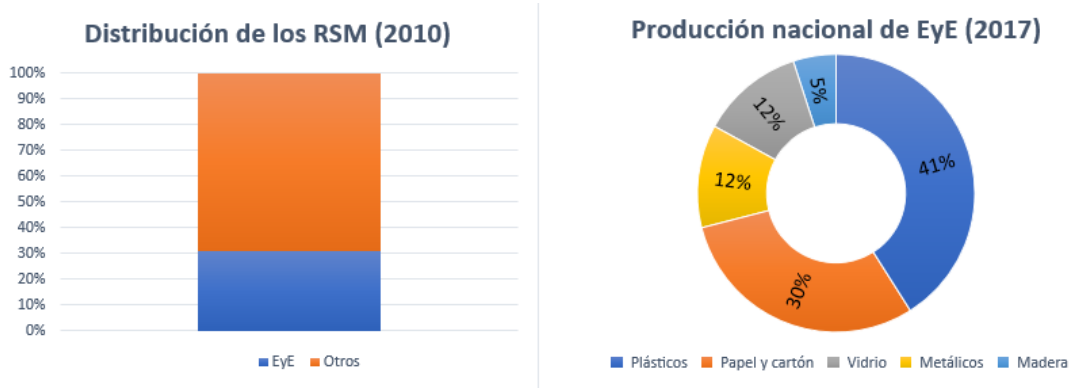

Ilustración 6: Distribuciones asociadas a los EyE.

(Fuente: Elaboración propia)

3.4.5. Neumáticos

Las principales marcas comercializadas, que representan cerca del 60% del mercado, son: Goodyear, Michelin, Bridgestone/Firestone y Pirelli. En el año 2007 estas empresas formaron la Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC). Además, existe una amplia variedad de producto de origen asiático. Sobre el 95% de los neumáticos es importado, el resto del mercado es abastecido por una planta en Chile llamada Goodyear (CONAMA, 2011).

El desgaste de un neumático es aproximadamente a los 100.000 km, donde generalmente se efectúa su recambio, generándose el neumático fuera de uso (NFU). No obstante, en el caso de los vehículos de carga y transporte público si tienen el recauchaje entre sus políticas, pueden aplicar este tratamiento a sus neumáticos para extender la vida útil del mismo, en cuyo caso el neumático se repara y/o recaucha y vuelve a ser utilizado sin transformarse en un NFU, hasta que técnicamente ya no sea posible aplicar este procedimiento (GESCAM, 2017).

La tabla 4 es una estimación de la generación regional de NFU en el año 2018 realizado por la Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC), cabe destacar que en dicha estimación no se consideró NFU industriales, de minería y construcción.

Se puede concluir del estudio realizado que la Región Metropolitana aporta alrededor del 33,3% de los neumáticos fuera de uso del total nacional, siguiéndole la Región de Valparaíso con aproximadamente un 9,9%.

Región	*Ton. NFU 2018*
I Tarapacá	2.242
II Antofagasta	3.802
III Atacama	2.936
IV Coquimbo	3.735
V Valparaíso	9.209
VI O'Higgins	5.863
VII Del Maule	7.765
XVI Ñuble	2.851
VIII Biobío	8.039
IX de La Araucanía	4.652
X de Los Lagos	4.949
XI Aysén	748
XII de Magall. Y Antártica	1.347
Metropolitana	30.821
XIV de Los Ríos	2.101
XV de Arica y Parinacota	1.397

Tabla 4: Estimación de la generación regional de NFU

(Fuente: GESCAM, 2017)

3.4.6. Pilas

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.

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 o acumuladores son aquellas que son recargables y se pueden utilizar durante varios ciclos. 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 (Rodríguez & Giménez, 2014).

En la ilustración 7 se puede observar que la comercialización de pilas primarias totales no presenta variaciones anuales relevantes, exceptuando el año 2010 donde se aprecia un incremento notable. El incremento se atribuye al efecto del terremoto, en que se adquirieron más unidades debido a la falta de suministro eléctrico y a la previsión de la ciudadanía por posibles cortes. También se observa que la comercialización de pilas secundarias totales presenta una ligera tendencia de aumento.

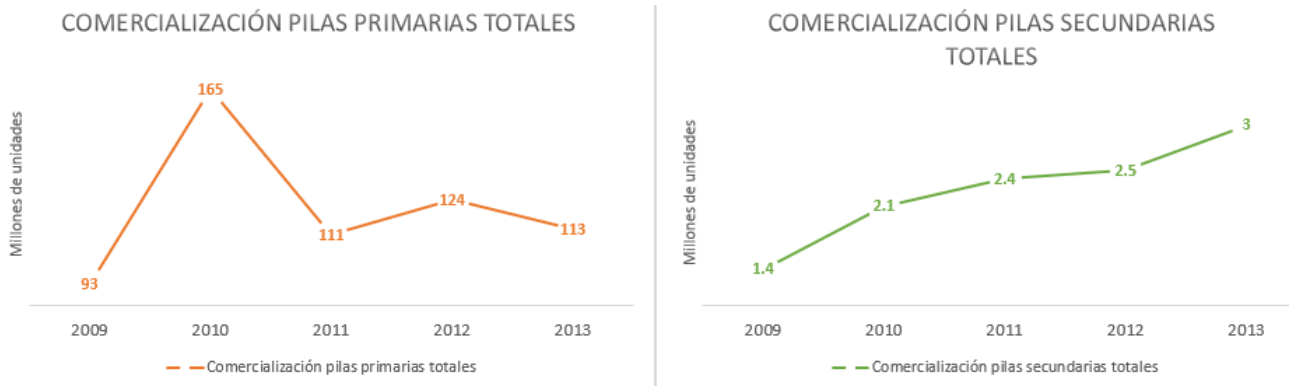

Ilustración 7: Comercialización de pilas.

(Fuente: Rodríguez & Giménez, 2014)

3.5. Residuos orgánicos

Si bien, los residuos orgánicos no se encuentran incluido dentro de los productos prioritarios definidos por la Ley REP, se decide examinar e integrar al estudio dado que representan al menos la mitad de la composición total de los RSM (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

Los Residuos Orgánicos corresponden a todos los restos que tienen un origen animal o vegetal. Si éstos se descomponen en un basurero o relleno sanitario, además de producir malos olores, generan líquidos que pueden contaminar el subsuelo y las napas subterráneas, emiten gas metano y de esta forma contribuyen con el Cambio Climático. Al reciclar los residuos orgánicos, no solo se evita estos problemas, sino que, además, es posible convertirlos en abono o energía a través de distintas técnicas (Reciclo Orgánicos, 2019).

3.6. El reciclaje como alternativa

El reciclaje se ha instaurado como una opción viable para innovar y emprender nuevas formas de producción alternativas. La importancia del reciclaje radica en evadir la tala

indiscriminada de árboles, disminuir la contaminación en el aire, agua y suelo (Sanmartín, Zhigue & Alaña, 2017).

El reciclaje es el empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo, incluyendo el coprocesamiento y compostaje, pero excluyendo la valorización energética (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Por lo tanto, el reciclaje se entiende como la operación compleja que permite la recuperación, transformación y elaboración de un material a partir de residuos, ya sea total o parcial en la composición definitiva.

El concepto más general de reciclaje consiste en hallar el medio para sacar algún provecho del residuo. El desarrollo tecnológico actual conduce a que la industria del reciclaje se convierta en una importante suministradora de materias primas para la fabricación de artículos de consumo diario o de equipos de larga duración. Al mismo tiempo permite proteger el medio ambiente, ahorrar los recursos minerales y la energía. Los países desarrollados son los abanderados de esta industria, la misma que también se conoce como la "Industria del Futuro" (Berenguer, Trista, Deas, 2006).

En consecuencia, el reciclaje, aparte de actuar en beneficio de la humanidad y la preservación del medio ambiente, también representa un negocio rentable para la comunidad, convirtiéndose en una necesidad apremiante la realización de un programa pertinente y permanente de reciclaje.

3.6.1. Alternativas de tratamiento

El estudio de las alternativas de tratamiento estará acotado a los productos prioritarios definidos por la ley, específicamente la categoría envases y embalajes, y a los residuos orgánicos. Se decide estudiar los EyE en paralelo a los residuos orgánicos dado que, en

comparación con los otros PP, tienen mayor vinculación con los RSM, los cuales a su vez, posterior a los orgánicos, son los que aportan mayor porcentaje al total de residuos. Además, se trata de uno de los dos residuos no peligrosos de un total de seis que contempla la Ley REP. Dado lo anterior, se estudiará además de los tratamientos para los residuos orgánicos las alternativas de reciclaje para EyE de materiales de: Metal - Plásticos - Papel y Cartón - Vidrio – Tetrapack.

Cabe destacar que para todas las categorías analizadas se recomienda implementar un sistema de recogida selectiva[2], el cual tiene múltiples beneficios, pero, a su vez, es más complejo de gestionar (Gallardo, Bovea, Colomer, Carlos & Prades, 2008).

3.6.1.1. EyE de Metal

Dentro de la categoría metal se encuentran las subcategorías: Aluminio - Hojalata - Acero - Estaño - Cobre. La fabricación más habitual en esta línea son envases de hojalata y aluminio por lo cual se hallan en mayor medida en los RSM.

Los productos elaborados con hojalata, debido a sus propiedades magnéticas, se pueden recuperar y reciclar con mayor facilidad que otros materiales. La hojalata está formada por una lámina delgada y lisa de hierro o acero cubierta de una capa fina de estaño por ambas caras. El acero empleado para la fabricación de este tipo de envases es de alta calidad, por lo que, en consecuencia, la chatarra recuperada será de alta calidad (López Delgado, Peña, López, Lobo & López, 2005). Por otro lado, los envases compuestos de aluminio tienen la característica de poder ser rígidos, semirrígidos o flexibles. El reciclaje de

[2] Consiste en separar en varias fracciones los residuos que se producen en los hogares para facilitar su recuperación y reciclado. Una vez depositados y almacenados en diferentes tipos de contenedores, los residuos serán recogidos por los servicios de recogida.

aluminio es una práctica que se realiza hace más de 38 años y se ha fortalecido con el paso de los años gracias a la capacidad del material de conservar sus propiedades físicas y químicas originales, sin importar el número de veces que sea recuperado (Millán, Sánchez & Olaya, 2015).

Los envases para bebidas carbonatadas, cerveza, bebidas energizantes, en general las latas, son fabricadas habitualmente de aluminio o hojalata. A continuación, se estudiará alternativas de reciclaje para estos dos materiales.

❖ ***Hojalata***

- **Plantas de incineración**

Las plantas incineradoras de RSU generan, como consecuencia del tratamiento térmico al que éstos son sometidos, una escoria formada por los materiales no combustibles y/o inertes contenidos en los mismos. Una vez enfriada, la escoria se somete a una separación magnética, a partir de la cual se obtiene una fracción de chatarra férrica y una fracción no metálica. Esta práctica en países de Europa es de uso frecuente, por ejemplo, la producción española de chatarra férrica procedente de la incineración de RSU fue de 40,000 t/año (López et al, 2005).

En el proceso de incineración se utilizan básicamente dos tipos de tecnologías: horno de parrilla móvil (HPM) y horno de lecho fluido (HLF). El primero es el más frecuente, enfriándose con agua la escoria resultante, mientras que en los HLF el enfriamiento se realiza con aire. Como consecuencia del proceso térmico al que son sometidos los RSU, la chatarra férrica obtenida de las plantas de incineración presenta un elevado grado de alteración

química afectando la calidad de este, generando inconvenientes en su etapa posterior de reciclado en el horno de arco eléctrico.

Hasta la fecha en Chile no hay experiencia de incineración por no concretarse ningún proyecto de esta índole. Por ejemplo, en octubre del 2019 se buscaba instalar una planta de incineración de basura en la Araucanía, el cual se convirtió en el proyecto con más observaciones ciudadanas en contra en la historia del Sistema de Evaluación Ambiental de Chile. Actualmente se encuentra suspendido el proceso de evaluación ambiental hasta diciembre de 2020 (AraucaniaDiario, 2020).

- **Horno de arco eléctrico**

El horno de arco eléctrico provee un medio relativamente simple para la fusión de metales. La operación del horno se divide en dos etapas denominadas fusión y afino. En la etapa de fusión el calor generado por el arco empieza a fundir el metal. Cuando la chatarra está totalmente fundida el acero líquido es sometido a un proceso de transformación físico química denominada afino, donde se eliminan las impurezas y se agregan ferro aleaciones para ajustar la composición química (Marulanda, Sepúlveda & Alvarez, 2012), obteniendo finalmente acero para ser utilizado con un fin determinado o comercializado como materia prima.

En Chile la empresa AZA, ubicada en Santiago, es el mayor reciclador de productos de acero. Dicha empresa utiliza un horno de arco eléctrico para fundir materiales ferrosos como la hojalata (comunicación telefónica, 10 de febrero, 2020).

❖ *Aluminio*

Dos técnicas de recuperación son: ciclo cerrado (closed-loop) y ciclo abierto (openloop), el ciclo cerrado consiste en fundir solo aquellos residuos que pueden transformarse en el producto original de forma directa (sin agregar nuevos materiales) y de los cuales se obtienen aleaciones forjadas, mientras que en el ciclo abierto se adicionan otros metales, previo a la fundición de los residuos, para ajustar la composición de la aleación y así obtener aleaciones de moldeo. El aluminio se clasifica por tipo de producto y se realiza su fundición de manera independiente para evitar la mezcla de aleaciones (Millán et al, 2015).

- **Hornos de fusión**

En nuestros días las unidades más comunes para la fusión de aluminio son el horno de reverbero (tanto fijo como rotatorio) y el horno de crisol, en donde el horno de reverbero es el más común para la fusión de grandes cantidades de metal.

Un horno de reverberación es generalmente rectangular, donde el calor es irradiado desde el techo y las paredes hacia el baño metálico. Por otro lado, para el horno rotatorio existen una infinidad de diseños para la aplicación industrial, dependiendo del objetivo, como del proceso llevado a cabo, por ejemplo, en Alemania es común el método de fusión en horno rotatorio con adición de sal y refinación adicional e inyección de gases inertes (Power, 2007). Finalmente, de manera sencilla un horno de crisol no es más que una recámara a la cual se le suministra energía, almacena calor y promueve la transferencia de este a un metal contenido en un recipiente denominado crisol, el cual permite fundir metales cuyo punto de fusión esté por debajo de los 1300 °C en su interior para luego ser vertido a un molde (Flores & Orellana, 2014).

En Chile varias empresas practican la fundición de aluminio, por ejemplo, Premat es una empresa dedicada al servicio de fundición de piezas de aluminio, fundada en 1987 y ubicada en Santiago. Dicha empresa funde el aluminio en un horno de crisol y para optimizar su proceso de trabajo usan moldes permanentes llamados coquilla para la fabricación de piezas (comunicación telefónica, 10 de febrero, 2020).

3.6.1.2. EyE de plástico

Dentro de la categoría plástico se encuentran las subcategorías: PET - PEAD - PVC - PEBD - PP - PS - Otros. En términos simples, son los plásticos denominados "termoplásticos", su característica es que a temperaturas relativamente altas se vuelve deformable o flexible, se derrite sobre su punto de fusión y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente, por lo tanto, pueden ser moldeados y remodelados mediante calor una y otra vez, por lo que su reciclado es relativamente sencillo (Castells & Gracia, 2012).

La mezcla de diferentes tipos de polímeros puede conducir a la desmejora de propiedades esperadas del material reciclado, debido, más específicamente, a la diferencia de temperaturas de fusión, por lo que es importante la labor primaria que permite seleccionar y agrupar manual o automáticamente los artículos desechados de acuerdo con su naturaleza y destino. Por lo mismo, con el fin de propiciar y dar más eficiencia al reciclaje se emplea el Código de Identificación de Plásticos dadas por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) las cuales fueron desarrolladas en el año 1988 y es un sistema utilizado internacionalmente en el sector industrial. Los diferentes tipos de plástico se identifican con un número del 1 al 7 ubicado en el interior del clásico signo de reciclado (Ver ilustración 9) (Nones, 2019).

Ilustración 8: Códigos de identificación plástico.

(Fuente: Betancourt, 2019)

- Polietileno Tereftalato (PET): Es un tipo de plástico muy usado para botellas de bebidas gaseosas y aguas y bandejas para comidas calentadas en microondas.

- Polietileno de Alta Densidad (PEAD): Se usa en envases de lavandina, detergentes y cosméticos, bidones, baldes y cajones plásticos. Asimismo, también se puede ver en envases de leche, zumos, yogurt y bolsas de basura.

- Policloruro de Vinilo (PVC): Se fabrican botellas para aceite de cocina, productos de limpieza y en la construcción.

- Polietileno de baja densidad (LDPE): Usado para bolsas para vegetales en supermercados, bolsas para pan, envolturas de alimentos y silos bolsa.

- Polipropileno (PP): Se fabrican envases para yogurt, botellas para champú, potes y recipientes para margarina.

- Poliestireno (PS): Espuma plástica utilizada en tazas para bebidas calientes, envase para comidas rápidas, cartones para huevos y bandejas para carnes.

- Otros: Industria de madera y la carpintería.

La industria de transformación de plástico ha avanzado, y sigue avanzando, creando cada vez más técnicas y métodos de transformación**,** por lo que se expondrá las que se consideraron más significativas para el estudio.

- **Moldeadores**

Una alternativa es el moldeado por extrusión el cual consiste en hacer pasar bajo la acción de la presión un material termoplástico a través de un orificio con forma más o menos compleja y continua, de manera tal que el material adquiera una sección transversal igual a la del orificio. En la extrusión de termoplásticos el proceso no es tan simple, ya que durante el mismo el polímero se funde dentro de un cilindro y posteriormente es enfriado. Este proceso de extrusión tiene por objetivo la producción de perfiles, tubos, películas plásticas, hojas plásticas, etc.

Por otra parte, el moldeado por inyección es un proceso en el que se funde la materia prima en una máquina y transcurrido un cierto tiempo, el plástico fundido en el molde va perdiendo su calor y volviéndose sólido, copiando las formas de las partes huecas del molde donde ha estado alojado.

Finalmente, otra opción es el moldeado por soplado, el cual se trata de un proceso discontinuo de producción de recipientes y artículos huecos, en donde una resina termoplástica es fundida e inyectada para ser transformada en una preforma hueca y luego llevada a un molde final en donde, por la introducción de aire caliente a presión en su interior, se expande hasta tomar la forma del molde, para luego ser enfriada y expulsada como un artículo terminado (Nones, 2019).

- **Triturado**

El triturado de plástico es un proceso básico en el reciclaje ya que permite reducir el volumen de los productos al material que los conforman en formato de escamas u hojuelas, facilitando el transporte y almacenamiento. Puede ser realizado a nivel industrial con trituradoras de gran tamaño, o a pequeña escala con trituradoras muy pequeñas. Si no se realizó la etapa de identificación y separación, se tendrá que proceder a una microselección de componentes que implica separar los polímeros en función de sus tipos, después de haber sido cortados y triturados en pequeños trozos, por lo que se recomienda realizarlo antes de efectuar el proceso de trituración (Nones, 2019).

- **Desarrollar elementos constructivos**

Se pueden desarrollar elementos constructivos elaborados con plástico reciclado PET, como muros perimetrales, ladrillos y aceras reforzadas con plástico.

Construir muros perimetrales es un procedimiento sencillo y fácil de hacer: se llenan con tierra las botellas debidamente compactadas, posteriormente son colocadas de forma horizontal y son atadas entre sí para formar una red, utilizando, además, un aglomerante entre hileras para nivelarlas, lo que da una mayor firmeza. Estas construcciones son verdaderas obras de arte que pueden durar muchos años, incluso más que una casa de ladrillo. Honduras, Taiwán y Brasil han construido casas con este método (Betancourt, 2019).

Por otra parte, para la obtención de ladrillos, los residuos plásticos se seleccionan, se trituran con un molino especial, y así se incorporan a mezclas cementicias (Cemento Portland), sin necesidad de un lavado previo (salvo en el caso que se utilicen residuos muy contaminados de basura), ni de retirar rótulos y tapas de los envases, utilizándose, en

promedio, veinte botellas para la obtención de un ladrillo. Los ladrillos PET tienen ventajas que nos pueden aportar un nivel alto de aislamiento térmico, que es cinco veces mayor que la de un ladrillo tradicional. Argentina, Colombia y México han incursionado en esta práctica (Betancourt, 2019).

En cuanto a Panamá, se realizó una investigación por parte de profesionales de diversas áreas para construir aceras reforzadas con plástico. Dicho estudio concluyó que es factible reutilizar plástico polipropileno (PP) para aportar resistencia a la mezcla de concreto para acera, ya que este ofrece mayor resistencia tanto en flexión como compresión, permitiendo al diseñador disminuir el espeso de la losa de acera (Aguilar, Fernandez, García, BenMelamed & Saavedra, 2019).

En Chile se han creado un anfiteatro, bancas en plazas, esculturas y hasta una casa en Olmué reutilizando botellas plásticas (Chile Desarrollo Sustentable, 2014).

- **Artículos decorativos**

También se pueden realizar artículos decorativos como lámparas, cortinas, jardines, esculturas, etc (Betancourt, 2019). En Chile es cada vez más común apreciar estos tipos de trabajos en exposiciones o centros artesanales.

3.6.1.3. EyE de Papel y Cartón

El papel y el cartón son productos elaborados a partir de la celulosa. El papel y el cartón son fácilmente reciclables (los mecanismos de acopio, selección, venta y reaprovechamiento funcionan desde hace muchos años); son biodegradables (excepto en determinadas condiciones extremas) y provienen de un recurso renovable (Careaga, 1993).

Por cada tonelada de papel reciclado se evita cortar entre 15 a 17 árboles medianos y se reduce hasta un 10% la cantidad de agua necesaria para la producción de papel, siempre y cuando la contaminación que presente el material usado sea baja. Por eso, es muy importante que el papel y el cartón no se mezclen con otros desechos y en este sentido la recogida selectiva es de gran utilidad (García, 2019). El proceso industrial es el más común, sin embargo, además de esta opción, existen muchos productos que pueden ser derivados del reciclado del papel o cartón, siendo uno de los más conocidos los cuadernos de apuntes.

- **Reciclado industrial**

Se estima que con 100 toneladas de papel viejo se pueden fabricar 54 toneladas de papel reciclado. El proceso del papel para su reciclaje parte desde su recogida, donde es trasladado a la planta para luego ser sometido a procesos de clasificación, destintado y blanqueo. El paso siguiente es elaborar la pasta, introduciendo el papel en unas máquinas denominadas pulper, en las cuales se lleva a cabo un proceso de triturado del papel en el que se incluye también agua. El siguiente paso es la incorporación de esta pasta de papel a la máquina de fabricar papel. Allí, mediante un proceso de afinamiento, prensado, secado y bobinado, se puede volver a fabricar papel para introducirlo en el proceso productivo de nuevo (Careaga, 1993).

Cada vez que una fibra es reciclada o reprocesada, una degradación de la estructura original ocurre, resultando una pérdida de las características claves. Ahora bien, dependiendo de la tecnología y del tipo de fibras, su reutilización puede ser tantas veces sea posible, caso que es visible en Europa, donde la misma fibra se recicla cinco a ocho veces, una de las

razones por las que son capaces de hacer esto es mantener sus programas de reciclaje de papel mucho más segregado, por lo que no tienen tantos residuos mezclados (Espinal, 2016).

Según el catálogo elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente (s.f) de empresas dedicadas al reciclaje al interior de la Región Metropolitana, existen 5 firmas dedicadas a esta labor.

- **Construcción en obras civiles**

Las pastas de celulosa no sólo constituyen la materia prima para elaborar papel y cartón, pues actualmente la industria de la construcción posee diversos materiales que son elaborados con gran porcentaje (aproximadamente un 92 %) de celulosa del tipo recuperada juntamente con otros productos que optimizan sus propiedades y versatilidad. Espinal (2016) explica que desde un punto de vista técnico y de ahorro energético la celulosa como tal es utilizada en las edificaciones como un excelente aislante térmico y acústico, teniendo como productos en el mercado paneles, celulosa proyectada y celulosa insuflada.

El proceso de la elaboración del aislante de celulosa parte con la recogida de la materia prima (papel viejo). Este material se recoge en grandes contenedores, que son llevados a las plantas de proceso, luego el material pasa por una unidad mezcladora esencial que lo retira por lotes y lo prepara para el corte en tiras. Un poderoso imán acumula las grapas y restos metálicos, entonces, la unidad cortadora hace una primera transformación del material, cortándolo en tiras.

- Celulosa proyectada: El proyectado de celulosa es una técnica excelente para utilizar el aislamiento térmico en muros. Su proceso de aplicación se realiza con material húmedo, utilizando tubos finos de chorro de agua que humedecen la celulosa proyectada.

- Celulosa insuflada: Este tipo no disocia mucho de la proyectada debido a que la materia prima es la misma. La diferencia radica en la técnica: el aislante de celulosa es inyectado en el espacio hueco, constituyendo un aislamiento libre de junta, bien estable y de ajuste perfecto.
- Paneles de celulosa: Estos poseen las mismas características y al igual que la inyectada posee un acabado limpio, aunque se pueden llegar a desprender partículas pequeñas, pero nada considerable.

Hace más de 40 años el aislante de celulosa es de uso común en la construcción habitacional y comercial de Estados Unidos, Canadá, Alemania, Suecia, Dinamarca, Finlandia y otros países del mundo. En la investigación realizada, se encontraron diversas obras que han sido ejecutadas en Chile, como mejoramiento térmico a hoteles, cabañas oficinas y casas de gran envergadura (Navarrete, 2014).

- **Reciclaje Empírico Artesanal**

En muchos países de Latinoamérica las personas fabrican objetos como máscaras de carnaval, piñatas, canastas entre otros. El papel maché es reconocido a nivel mundial y en muchos casos es utilizado como parte de un producto artesanal histórico, se trata de una técnica artesanal que se utiliza para elaboración de objetos a partir de una pasta o pulpa de papel triturado. Con el pasar de los años se fue perfeccionando la técnica para obtener un material flexible y bien moldeable, la cual consiste en moldear la pulpa de papel u hojas de papel con cola para luego endurecer mediante un proceso de secado caliente, con un acabado final de laca, barniz o pintura (Espinal, 2016).

3.6.1.4. EyE de Vidrio

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el envase de vidrio es 100 % reciclable, es decir, que, a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero. El vidrio puede ser reciclado ya sea como pedacería (cullet) o como botellas enteras. La principal dificultad para recolectar y reutilizar botellas enteras se encuentra en la falta de estandarización (Careaga, 1993).

- **Reciclaje industrial**

En cuanto al proceso de reciclado de vidrio cabe comentar que no existe diversidad tecnológica para su tratamiento. Esencialmente el primer paso en el proceso de reciclado de vidrio es la limpieza. Aunque el vidrio se encuentre mezclado en distintos colores, no influye para la producción de nuevos envases, ya que, al vidrio de color, se le trata con decolorante, aunque de todas formas, se recomienda que el vidrio sea separado en colores (transparente, ámbar y verde).

En primer lugar, se retira la mayor cantidad de elementos que acompañen al vidrio, la separación se realiza manualmente y/o con equipos específicos, luego el vidrio es lavado en una especie de "lavarropas", el cual le va quitando los vestigios de tierra o de grasa que pueda poseer. Una vez que está limpio, va pasando por distintos tamices y martillos, en los que se va moliendo hasta lograr la granulometría necesaria. El próximo paso es por un recipiente especial con imanes donde quedan los vestigios de metal. Una vez finalizado este proceso, se funde en un horno a 1.600°C en una proporción de 50% de vidrio reciclado y

50% de materia virgen para lograr, como resultado final, los nuevos envases de vidrio (Mata & Gálvez, 2014).

La planta embotelladora Coca-Cola (s.f), marca de presencia mundial, explica que, en el caso de los envases de vidrios retornables, el envase vacío debe devolverse a un punto de venta, donde se va a almacenar hasta que un encargado de la embotelladora pase a retirarlo y devolverlo a la planta para su posterior tratamiento de higienización.

El reciclaje de vidrio es una práctica común en países europeos y en Chile existen dos grandes empresas que pertenecen a este rubro: Cristalerías Chile y Toro.

- **Como mampuesto**

Fue en 1963 cuando Alfred Heineken, propietario de la célebre cervecería holandesa junto con el arquitecto John Habraken, ideó un envase capaz de funcionar como un ladrillo. Se trata de la Heineken "World Bottle", una pieza de vidrio creada para funcionar como una botella y una vez consumida la cerveza, podía ser usada como ladrillo para construir. A pesar de sus deficiencias, el concepto era revolucionario para la época, ya que fue la primera producción masiva diseñada desde el principio para tener un uso secundario como elemento de construcción. Quizás su legado más importante sea servir como inspiración para valorar estos materiales y dejar de considerarlos basura (Betancourt, 2019).

3.6.1.5. EyE de Cartón para líquidos (Tetra Pak)

La empresa Tetra Pak es una transnacional, que se fundó en el año 1952 en Suecia. El Tectán es un material aglomerado el cual es utilizado como materia prima para la fabricación de envases, por lo tanto, en realidad Tetra Pak es el nombre de la empresa y no

de los envases. El Tetra Brik o Tetra Pak como es más conocido, es un envase de cartón, plástico polietileno y aluminio, utilizado comúnmente para alimentos líquidos (Chung, 2003). La empresa Tetra Pak actualmente, aunque fomenta el reciclaje, no realiza el retiro, reciclaje ni valorización de los envases postconsumo (Tetra Pack, s.f).

- **Fabricación de muebles y para la construcción en general.**

Se utilizan como materia prima los envases de Tetra Brik, luego son transportados a las instalaciones donde los cartones triturados se lavan, se secan y se extienden en una capa del espesor deseado (formación de plancha). Después se ponen en una prensa y se calientan a unos 170º C, el calor funde el contenido de polietileno (PE) que une la fibra densamente comprimida y los fragmentos de aluminio en una matriz elástica. La matriz resultante se enfría después rápidamente, formando un duro aglomerado con una superficie brillante e impermeable. El proceso finaliza con la fabricación de la plancha, dándoles las dimensiones estándar o comerciales del producto final. El proceso utiliza sierras circulares con los discos de corte usados en el proceso de aserrado de madera. Del producto acabado se pueden fabricar muebles, utilizarlo en suelos o para el tejado de las casas (Chung, 2003). Los productos tienen las siguientes propiedades: resistente a la humedad, inmune a hongos e insectos, térmico, acústico, no es corrosivo y tiene una vida útil larga, entre otros (Reyes, 2007).

En Chile se utilizó el Tectán en el programa "Un Techo para Chile" del Hogar de Cristo para la construcción de mediaguas y techumbres (Chung, 2003).

- **Hidropulper y polialuminio**

En el “Hidropulper” se sumergen los envases de cartón en agua, y mediante un proceso de agitación se separan y recuperan las fibras de celulosa, por un lado, y el polietileno

y aluminio por otro. Las fibras de celulosa pasan al proceso de producción de cartón y papel, por lo que se pueden fabricar cajas de cartón corrugado con la fibra obtenida. El polietileno y aluminio provenientes del “Hidropulper” pasan a una peletizadora, la que convierte el polialuminio en pequeños “discos”. Luego estos discos o pellets se introducen en máquinas con moldes definidos que se calientan a altas temperaturas, dando origen a diversos objetos domésticos como baldes o maceteros, de material 100% reciclado (Tetra Pak, s.f).

La empresa Tetra Pak (s.f) nombra en su página las empresas que actualmente trabajan recolectando envases de cartón para bebidas y exportándolo hacia países donde el material es reciclado y altamente valorado.

3.6.1.6. Tratamiento de los Residuos Orgánicos

El compostaje y el vermicompostaje son técnicas que permiten la valorización de residuos orgánicos. A nivel mundial sólo el 5,5% de los residuos se compostan y en Chile sólo el 0,4%, cifras bajas a pesar de que tanto las municipalidades, privados y las personas en sus hogares pueden optar por el compostaje dado que es un procedimiento sencillo pero que aporta diversos beneficios (Reciclo Orgánicos, 2019). A continuación, se explica a modo general en qué consisten dichas actividades que buscan desincentivar el uso de la tierra de hoja y que se presentan como una alternativa a la quema agrícola, para luego analizar las diferentes escalas en las que pueden operar.

- **Compostaje**

Compostar es un proceso biológico que ocurre en presencia de oxígeno y transforma los residuos orgánicos en un abono para las plantas, denominado compost. El compost es un

producto natural, visualmente como la tierra, de color café a negro, rico en nutrientes para el jardín, plantas o huertos. Para obtener un compost de buena calidad es necesario incorporar material café y verde (ver tabla 5) previamente separados por un contenedor. Es recomendable trozar los restos de residuos de 3 a 5 centímetros antes de incorporarlos en la pila de compost[3] o compostera.

MATERIAL CAFÉ	MATERIAL VERDE	RESIDUOS NO COMPOSTABLES
Son aquellos que están compuestos por una alta proporción de carbono, como por ejemplo: restos secos de podas, paja, aserrín, cartón y papel, hojas secas, cáscaras de huevo e hilos naturales.	Son aquellos que tienen una mayor composición de nitrógeno y agua, como por ejemplo: restos de frutas y verduras, residuos del mantenimiento de jardines y desechos de animales herbívoros (guano).	Carne y huesos, productos lácteos, colillas de cigarro, tejidos sintéticos, materiales no orgánicos en general (plástico, vidrios, metales, gomas).

Tabla 5: Materiales para el compostaje

(Fuente: Reciclo Orgánicos, 2019)

El primer paso es colocar un lecho de unos 10 cm de material café, y a partir de esa capa, comenzar a agregar residuos domésticos (material verde), luego poner la mezcla de productos “verdes” y “cafés” en razón de 1:1 respectivamente, una parte de verde por una de café. Se debe procurar nunca llenar la compostera con residuos hasta los bordes, sino que se recomienda hacerlo hasta 2/3 de su capacidad. Respecto de la ubicación, se recomienda hacerlo, en lo posible, en contacto con la tierra, donde reciba poco sol, esté bajo un poco de sombra y a salvo de lluvia (Reciclo Orgánicos, 2019).

[3] Depósito o espacio en el que se encuentran las materias en compostación.

El compost se forma por la acción de millones de organismos y microorganismos denominados descomponedores como, por ejemplo, algunos hongos y bacterias. Estos degradan la materia orgánica en presencia de oxígeno hasta convertirla en abono. Reciclo Orgánicos (2019), programa impulsado por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, y el Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá, identifica que el proceso de compostaje consiste en un ciclo de 3 fases o etapas de degradación de la biomasa con diferentes condiciones de ventilación, temperatura y pH, manteniendo condiciones de humedad sobre un 85%, para así poder acelerar la degradación de la biomasa vegetal.

- Fase de latencia y crecimiento

Cuando se agrupan los residuos orgánicos (material verde y café) en una compostera o pila de compost, llegan microorganismos que se alimentan de estos residuos. Estas bacterias viven en temperaturas de hasta 45ºC. Debido a la actividad bacteriana, la temperatura aumenta progresivamente. Los organismos liberan ácidos, lo que provoca una disminución del pH en el medio. En esta fase, los materiales disminuyen su volumen y pierden su aspecto original, el proceso puede durar entre 15 a 30 días.

- Fase termófila

El aumento de temperatura provoca la proliferación de bacterias y hongos presentes en los residuos, que viven en temperaturas de 45ºC a 75ºC. La elevada temperatura provoca la esterilización del medio, eliminando patógenos, larvas y semillas. Debido a que la disponibilidad de alimento va siendo cada vez menor, la actividad bacteriana también disminuye y, por tanto, la temperatura también lo hace. Esta etapa se desarrolla en

aproximadamente 3 meses. Se recomienda voltear los residuos al menos una vez por semana para la adecuada aireación

- Fase de maduración

Esta etapa comienza cuando la materia orgánica está prácticamente descompuesta y la temperatura sigue descendiendo. Al terminar la maduración, las pilas de compostaje o composteras reducen su volumen aproximadamente a un 80%, es decir, la materia orgánica inicial se ha transformado en un producto donde ya no se reconocen los materiales orgánicos que se habían aportado al comenzar. Para que la maduración se complete es necesario esperar al menos un mes.

El compost producido puede ser utilizado como mejorador de algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como son: estructura, drenaje, aireación, retención de agua y nutrientes, prevención de la erosión, entre otros. (Reciclo Orgánicos, 2019).

- **Vermicompostaje**

El vermicompostaje o lombricultura es una biotécnica que consiste en utilizar la lombriz roja californiana (Eisenia foetida) para la degradación de los residuos orgánicos y la producción de humus. Esta lombriz se alimenta de residuos orgánicos, y por medio del proceso de digestión, los transforma en un fertilizante orgánico, conocido como humus, el cual es rico en nutrientes como nitrógeno, potasio y fósforo. El humus otorga múltiples beneficios al suelo, mejorando su estructura, aumentando su aireación y la actividad microbiológica (Fuente: Reciclo Orgánicos, 2019).

Para el vermicompostaje, la lombriz requiere un nicho adecuado llamado “cama de lombriz”, en donde debe tener restos vegetales constantemente, por lo que se recomienda que, previo a la incorporación de las lombrices, ya existan restos orgánicos compostados o en proceso de compostaje, como las cáscaras de huevo, cítricos y cáscaras duras. La vermicompostera debe contener al menos dos bandejas y dado que el proceso de compostaje es más rápido gracias al trabajo de las lombrices, se puede obtener humus líquido y sólido luego de 3-4 meses. Finalmente, es importante considerar que las lombrices requieren de cuidados especiales, como ausencia de luz, humedad y temperatura adecuada, aireación y un pH óptimo, por lo que es necesario estar constantemente supervisando (Fuente: Reciclo Orgánicos, 2019).

- **Compostaje/ Vermicompostaje domiciliario**

En lo que respecta a compostaje, hoy en día existen en el mercado composteras de distintos materiales, tamaños y precios, también está la opción de fabricar una por cuenta propia utilizando pallets, contenedores o ladrillos, los materiales necesarios para compostar en casa son: contenedor de orgánicos, tijera de jardinería, pala para mover, guantes de jardinería y Malla Raschel. Por otro lado, para construir una vermicompostera se puede utilizar un recipiente que mantenga la humedad, temperatura y no permita el paso de la luz, en cuanto a los materiales sólo se diferencia con el compostaje en la adquisición de las lombrices (Fuente: Reciclo Orgánicos, 2019).

- **Planta de compostaje**

La Planta de compostaje es un establecimiento en el que se efectúa el proceso de compostaje. Su ubicación, diseño y operación están sujetos al cumplimiento de condiciones

sanitarias y ambientales básicas establecidas por las autoridades sectoriales y locales competentes. De manera estándar una planta de compostaje debe contar con la siguiente infraestructura (ImplementaSur, 2019):

- Área de descarga: Se almacenan los residuos orgánicos.
- Área Triturado: Se realiza el proceso de transformación de los residuos orgánicos.
- Área de compostaje: Se realiza el proceso de degradación del material orgánico vegetal, en esta área se dispone y acumula en forma de pila la biomasa vegetal triturada y mezclada de forma homogénea con una granulometría de 3 - 4 pulgadas. Estas pilas son cubiertas con una membrana o malla.
- Área producto terminado: Es la superficie determinada para acopiar el material compostado en su etapa de maduración.
- Área de clasificado: Se mide si el compost obtenido cumple con la granulometría.
- Contenedores modulares: Habilitados para servicios básicos, con duchas y baños.
- Estanque receptor de líquidos percolados: Permitirá recibir el lixiviado[4] generado.

El sistema de pilas volteadas es el más simple y universal, las cuales se recomienda sean de 2 metros de altura y no superen los 20 metros de longitud. Para oxigenar se voltea, ya sea con una pala de tractor o con una máquina volteadora especial, lo que permite lograr la aireación necesaria y una mezcla completa del material, facilitando que toda la masa en elaboración pueda alcanzar las temperaturas requeridas (ImplementaSur, 2019). Por

[4] Resultado de la degradación de la materia orgánica, es un fertilizante líquido orgánico.

consiguiente, el equipamiento y maquinaria indispensable para llevar a cabo la operación en una planta de compostaje son las siguientes:

- Cargador frontal
- Trituradora y/o Chipeadora
- Camión Ampliroll o Camión Tolva
- Termómetro
- Trommel

3.6.2. Aspectos legales

3.6.2.1. Autorización Sanitaria de Transporte de Residuos

Consiste en un documento otorgado por la Autoridad Sanitaria, Seremi de Salud, mediante el cual se autoriza la realización de la actividad. Este trámite lo deben realizar las empresas o personas naturales que requieran la obtención de Autorización Sanitaria para el transporte de residuos industriales sólidos, peligrosos y no peligrosos. En esta quedan excluidos los triciclos a tracción humana y triciclos eléctricos, ya que no requieren patente vehicular de acuerdo con la legislación actual (AB Chile, 2017).

3.6.2.2. Requerimientos de uso de suelo

Los requerimientos de uso de suelo están definidos en el D.S. 47/1992 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (MINVU). Los Instrumentos de Planificación Territorial definen los usos de suelo de cada zona, indicando dónde pueden ser instalados los rellenos sanitarios, estando dentro de esta categoría las estaciones exclusivas de transferencia de residuos, y aunque la ley no lo señale de forma explícita, una planta de compostaje y una

instalación de tratamiento mecánico y biológico también están sujetos a esta normativa (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, 2016).

3.6.2.3. Requerimientos ambientales

El titular del proyecto o actividad que se somete al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) lo hace presentando una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Salvo que dicho proyecto genere o presente alguno de los efectos, características o circunstancias contemplados en el artículo 11 de la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, caso en el cual deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) (D.S. N°40, 2012).

El Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA) establece las disposiciones por las cuales se regirá el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y la Participación de la Comunidad, de conformidad con los preceptos de la Ley Nº19.300. Los contenidos mínimos de un EIA y una DIA están estipulados en el artículo 18 y 19 respectivamente del RSEIA (D.S. N°40, 2012).

3.6.2.4. Requerimientos Sanitarios

El Ministerio de Salud entrega las autorizaciones de proyecto y de funcionamiento a las instalaciones que realizan la recepción y el tratamiento de residuos y para la posterior fiscalización (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, 2016).

Al otorgar esta autorización, el Servicio Nacional de Salud determinará las condiciones sanitarias y de seguridad que deben cumplirse para evitar molestias o riesgos para la salud de la comunidad o del personal que trabaje en estas faenas y/o en la operación

de esta. Este trámite debe ser realizado en la Secretaria Regional Ministerial de Salud según le corresponda. (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, 2016).

3.6.2.5. NCh 2880 Norma Chilena de Compost

Adicionalmente, para promover la gestión adecuada de los residuos orgánicos y fomentar la industria nacional del compost, el Instituto Nacional de Normalización ha preparado la NCh 2880 (2005). Compost – Clasificación y requisitos. Dicha norma busca evitar la introducción de plagas que puedan venir incorporadas en el producto, estableciendo las clasificaciones y requisitos de calidad del compost producido a partir de residuos orgánicos y de otros materiales orgánicos generados por la actividad humana, tales como los agroindustriales, agrícola etc.

Esta norma se aplica al compost producido en plantas de compostaje establecidas, siempre y cuando el producto se pretenda comercializar bajo el nombre de compost o sus sinónimos.

3.6.2.6. NCh 3376 Residuos Sólidos Municipales

La norma NCh 3376 (2015) aprobada por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización especifica los requisitos generales de diseño y operación de instalaciones destinadas a la recepción y almacenamiento de residuos sólidos municipales. Esta norma aplica sólo a los siguientes tipos de instalaciones: puntos verdes, puntos limpios, centros de acopio de residuos. No aplica a residuos orgánicos ni al trasporte de residuos sólidos municipales.

3.6.3. Alternativas de fondos concursables para reciclaje

Posterior a la promulgación de la ley N°20.920 se han creado diversos fondos concursables que buscan apoyar e incentivar a la comunidad para que conozcan las problemáticas de los residuos, para luego comprometerse con las soluciones. A continuación, se detallan algunos fondos de financiamiento dirigidos a Municipalidades u organizaciones sin fines de lucro que presenten proyectos de esta índole.

- **Fondo para el Reciclaje / Promoviendo la economía circular en municipios a través del reciclaje.**

Está destinado a financiar proyectos, programas y acciones para prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, que sean ejecutados por Municipalidades o Asociaciones de Municipalidades. En particular, este llamado busca financiar proyectos piloto de separación en origen con infraestructura para el manejo de residuos de envases y embalajes y de residuos orgánicos, que contemplen sensibilización ciudadana y/o promoción del conocimiento técnico municipal y de recicladores de base (Ley N°20.920, 2016).

La postulación se realiza únicamente a través del sitio web fondos.gob.cl y el financiamiento es por un total de $117.500.000, los cuales consideran a su vez, un proyecto de inversión de $90.000.000 para infraestructura y un proyecto de sensibilización y/o capacitación de $27.500.000. Las iniciativas deben contemplar un aporte de cofinanciamiento de al menos el 10% ($11.750.000) y éstos podrán ser pecuniarios y/o no pecuniarios (Ministerio Secretaría General de Gobierno, s.f).

- **Fondo de Protección Ambiental (FPA)**

Están orientados a financiar iniciativas demostrativas que contribuyan a mejorar la calidad ambiental del territorio, sensibilizando a la ciudadanía a través de la valoración del entorno y la educación ambiental. Existen dos fondos concursables: Iniciativas Sustentables Ciudadanas e Iniciativas para establecimientos Educacionales, ambos concursos financian $4.000.000 para Punto Verde, Educación Ambiental o Compostaje (Ministerio Secretaría General de Gobierno, s.f).

3.7. Gestión de residuos municipales

Para elaborar una adecuada gestión integral de RSM, resulta fundamental identificar y conocer a cabalidad el problema central; esto es posible tras conocer las causas que lo originan y los efectos que genera, pues solo así es posible plantear diferentes soluciones. Del abanico de soluciones presentadas se debe seleccionar la opción que sea capaz de cumplir con los objetivos y resultados que se esperan del proyecto, pero también se ajusten a la normativa y estrategias de desarrollo. Este plan debe ser participativo, por ello, preparar un buen programa de educación y participación del público permite mejorar la gestión al facilitar la aceptación por parte de la comunidad (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2016).

Uno de los primeros aspectos que se debe abordar son las políticas generales de gestión, a partir de las cuales se determinará la forma de prestación del servicio, es decir, si va a ser un servicio municipal directo o un ente municipal autónomo. Ambas alternativas pueden ser con operación directa de los servicios o mediante la contratación de empresas privadas. El servicio directo generalmente es aconsejable para pequeños municipios. Luego,

ya sea cualquier tipo de plan de gestión de residuos sólidos, la educación y participación del público juegan un rol significativo, tanto antes como durante la implementación del plan, por lo que es importante trabajar en conjunto con la comunidad. De igual importancia es conocer acerca de las cantidades de residuos sólidos generados, para definir la separación de ellos con el objetivo de facilitar el reciclaje, y determinar la recogida para tratamiento y/o disposición a convenir según sea el objetivo. Para finalizar, se debe tener claridad del tratamiento al cual se someterán los residuos recolectados o el uso que se les otorgará (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2016).

En relación con los proyectos de valorización, son desarrollados en consideración de un proceso de gestión por el que pasan todos los residuos, el cual es definido por el Ministerio de Desarrollo Social (2013) en 3 etapas principales, que culmina en la valorización o eliminación de éstos según corresponda (ver ilustración 9).

Ilustración 9: Proceso de gestión de los residuos

(Fuente: Ministerio de Desarrollo Social, 2013)

1) Recolección: Corresponde a la operación de recoger residuos, incluido su acopio inicial, con el objeto de transportarlos a una instalación intermedia, de valorización o de eliminación. Se puede optar por las siguientes clasificaciones:

a) Recolección no diferenciada: Se realiza sin distinguir por tipo de residuo. Este tipo de recolección mixta exige algún tipo de clasificación posterior para el aprovechamiento de los materiales valorizables.

b) Recolección diferenciada o selectiva: Consiste en la acumulación de residuos en contenedores individuales o colectivos distinguiendo por los componentes principales de éstos. Dentro de esta categoría encontramos la utilización de puntos verdes fijos o móviles y puntos limpios.

- Punto verde: Es una instalación de tamaño reducido, que cuenta con contenedores en lugares con acceso, para la entrega de residuos separados por parte de la ciudadanía. No se realiza pre-tratamiento.
- Punto limpio: Es una instalación de mayor tamaño, que cuenta con un espacio físico para contenedores, donde se reciben y acumulan selectivamente residuos entregados por los ciudadanos. En este tipo de lugares se puede realizar pre-tratamiento, además de contar con espacio para educación ambiental.

2) Transporte: Es el traslado de los residuos recolectados hasta una instalación de valorización o de eliminación según corresponda**.** Se debe diseñar una logística que permita cubrir las necesidades.

3) Tratamiento: En esta etapa se define si el residuo será eliminado o valorizado. Las instalaciones asociadas a los proyectos de valorización pueden clasificarse como instalaciones de: reutilización, reciclaje, valorización, intermedias.

- Instalaciones de reutilización: Instalaciones donde se lleva a cabo la reutilización. No se desarrollan proyectos de reutilización de residuos que requieran el uso de infraestructura.
- Instalaciones de reciclaje: Instalaciones donde se tratan los residuos reciclables. Pueden desarrollarse proyectos de construcción, mejoramiento o ampliación de las mismas. Dentro de esta clasificación se encuentra las plantas de compostaje.
- Instalaciones de valorización energética: Instalaciones donde se tratan los residuos valorizables energéticamente. Pueden desarrollarse proyectos de construcción, mejoramiento o ampliación de las mismas. Dentro de esta clasificación se encuentra la planta de incineración
- Instalaciones intermedias: Instalaciones donde los residuos son acumulados temporalmente, y posteriormente transbordados a camiones de mayor capacidad para ser transportados al lugar donde serán tratados (relleno sanitario, instalación de reciclaje o instalación de valorización energética según corresponda). Dentro de esta clasificación se encuentran las plantas de transferencia y los centros de acopio.
    - Planta de transferencia: Es una instalación donde se lleva a cabo el transbordo de residuos, desde los vehículos recolectores a vehículos de carga en gran tonelaje, para transportarlos hasta los sitios de destino final.
    - Centro de acopio: Es una instalación intermedia, de tamaño medio, de almacenamiento temporal de los residuos donde se reciben y

acumulan residuos en forma selectiva, provenientes directamente de los hogares o de puntos verdes y punto limpios, con o sin pre-tratamiento, para su posterior valorización.

De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Social (2013) los residuos pueden ser llevados a una instalación intermedia con dos finalidades.

1) Aumentar la densidad de los residuos, haciendo más eficiente la capacidad de transporte de los vehículos de transferencia.

2) Aprovechar la operación de traslado para hacer selección de residuos, extrayendo aquellos con potencial de valorización.

Por otro lado, los tipos de procesamientos más utilizados en este tipo de instalaciones son:

- Compactación: Usando compactadores estacionarios por equipos montados en el vehículo de transferencia, se compactan los residuos.
- Trituración: Se utilizan molinos especiales que reducen el volumen de los residuos, facilitan su transporte y hacen más fácil la disposición de residuos en los rellenos sanitarios.
- Enfardamiento: Los residuos son compactados en bloques y se colocan cintas para mantenerlos en estructuras de fácil transporte. Se utilizan vehículos con carrocería de tipo plataforma.
- Selección de materiales: Se separan los materiales que no pueden ser aprovechados de los residuos con potencial de valorización.

El economista Nicolás Valenzuela (2019) indica en un artículo que, a principios de 2018, 189 de los 345 municipios habían implementado un servicio de reciclaje, lo que representa el 54.8% y tan solo 16 de ellos tienen 10 años o más, es decir, la mayoría de los municipios que reciclan en Chile lo hacen recientemente. Los dos municipios que hasta 2017 tenían las tasas de recolección municipal separada para reciclaje y compostaje más altas del país, fueron Vitacura y Providencia, sin embargo, ambas tenían tasas por debajo del 9%.

En definitiva, dado que al respecto no existe una normativa general, cada municipio elige su manera de llevar el reciclaje, ya sea con puntos verdes fijos o móviles, con mecanismos de separación de la basura en su origen o con otro tipo de programa, pero cualquiera fuera el caso, debe alinearse con la jerarquía que el Ministerio de Medio Ambiente establece en términos del manejo de los residuos a nivel nacional (prevención-valorización-eliminación) (Ministerio de Desarrollo Social, 2013).

3.7.1. Identificación de beneficios

En lo que sigue, el Ministerio de Desarrollo Social (2013) identifica una serie de beneficios asociados a la valorización de residuos.

a) <u>Por menor disposición en rellenos sanitarios.</u>

La existencia de proyectos de valorización permite que menos toneladas de residuos sean eliminadas. Esto representa un ahorro directo para las Municipalidades que deben financiar la disposición de residuos en rellenos sanitarios, no sólo en términos del precio por tonelada dispuesta, sino también por menor requerimiento de trabajadores y camiones para transportar los residuos hacia los rellenos.

b) Por venta de residuos valorizados y/o por ahorro de costos en procesos internos.

El fin último de un proyecto de valoración es hacer un mejor uso de los residuos que de otro modo serían eliminados. Este uso debe tener un valor económico, por lo que es de vital importancia que los proyectos definan con claridad cómo este valor es capturado. Puede ser mediante:

- Venta de residuos valorizados: Los municipios y las asociaciones de municipalidades están facultadas para vender los residuos que valoricen.
- Ahorro de costos en procesos internos: En el caso de que una municipalidad no pudiese vender los residuos valorizados, podrán, sin embargo, idear usos alternativos para éstos en sus procesos internos que, si bien no representarán una transacción económica directa con el mercado, permitirán valorar los residuos según su costo/oportunidad. Así, por ejemplo, una municipalidad podrá utilizar sus residuos orgánicos valorizados como abono en parques comunales, cultivos u otros.

c) Por ahorro en emisiones de GEI

Los ahorros en emisiones de gases efecto invernadero (GEI) se generan en distintas etapas del proceso de gestión del residuo.

d) Por menores tasas de morbilidad

Los beneficios en salud están directamente relacionados con la menor necesidad de disponer de los residuos en rellenos, considerando que en éstos emanan una serie de contaminantes tóxicos que pueden provocar problemas en la salud de las personas.

e) Por mayor información y conciencia ambiental.

Los proyectos de valorización tienen un componente fuerte de participación de las personas. Se genera así un aprendizaje respecto a qué residuos son o no valorizables.

f) Por menor explotación de recursos naturales.

Está relacionado con los ahorros generados en la producción de bienes con materia prima virgen respecto a materia prima reciclada.

4. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para llevar a cabo la presente investigación combina herramientas otorgadas en el documento "Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales" y la "Guía para la formulación y evaluación socioeconómica de proyectos del fondo para el reciclaje 2020", ambos desarrollados por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia durante los años 2013 y 2019 respectivamente. Actualmente dichos documentos oficiales se encuentran vigentes en el Sistema Nacional de Inversiones (SNI).

4.1. Diagnóstico de la situación actual

El diagnóstico reúne la mayor cantidad de información disponible, analizando todas las variables que permiten identificar, describir, explicar y dimensionar el problema u oportunidad detectada, caracterizando así la situación actual a la que se quiere dar solución. Por ende, es esencial el análisis de los ámbitos que se describen a continuación:

4.1.1. Identificación del área de estudio

Antecedentes relevantes que permitan una correcta descripción del área de estudio, entendida como aquella zona geográfica que da contexto al problema. Aspectos relevantes son:

- Tipo de zona (urbana/rural).
- Extensión de la superficie.
- Institucionalidad y administración sectorial y/o local.
- Conectividad dentro de la comuna.

- Cuantificación de la población.
- Definir la población objetivo. Los criterios de focalización a utilizar son:
    - Localidad de mayor concentración de habitantes.
    - Pertenecer al área urbana.
    - Accesibilidad vehicular.

Para cuantificar la población, lo primero es obtener la Tasa de Crecimiento histórica de la población utilizando los datos disponibles del Censo 2017 y 2002 y aplicarlos a la *ecuación 1*, lo segundo es reemplazar dicho resultado en la *ecuación 2* para obtener finalmente la estimación de la población actual.

$$TC = 100 * \left(\sqrt[n]{\frac{Pobl.\,Censo\ Vigente}{Pobl.\,Censo\ Anterior}} - 1) \right)$$

$$Ecuación\ 1$$

$$P_t = P_0 * \left(1 + \frac{TC}{100}\right)^t$$

$$Ecuación\ 2$$

Donde:

$\boldsymbol{TC}$ es la Tasa de Crecimiento anual;

$\boldsymbol{P_t}$ es la población proyectada al año t;

$\boldsymbol{P_0}$ es la población año base;

n es el número de años entre los dos últimos censos;

t es el número de años a proyectar.

Se considera la hipótesis de que la Tasa de Crecimiento obtenida mediante la fórmula expresada con anterioridad se mantiene constante en el tiempo, por lo cual, no se considera

dentro de las proyecciones la población flotante que podría ingresar por motivos laborales o de turismo.

4.1.2. Manejo actual de los residuos en Los Vilos

Consiste en identificar la actual gestión de residuos sólidos municipal, los actores involucrados en ella y una descripción general del actual sitio de eliminación.

4.1.3. Demanda actual y proyectada

El análisis de demanda actual indicará la población potencial beneficiaria del proyecto. Así, deberá realizarse un estudio de demanda que incluya los siguientes análisis:

1) Determinación de la cantidad actual de residuos generados.

De no contar con un estudio previo que señale la producción per cápita de residuos (PPC) del área de interés, se empleará una estimación a partir de registros de toneladas depositadas en el Vertedero Municipal, obteniendo un promedio mensual. Dicho método requiere recolectar información histórica de volúmenes o toneladas depositadas en el relleno sanitario actualmente utilizado. El criterio de validez y confiabilidad para dicha información será:

- Acreditado por la Municipalidad de Los Vilos o por la empresa encargada de la administración y operación del Vertedero Municipal.
- Datos actualizados.

Por otro lado, se utilizará la hipótesis de que la generación de residuos no está sujeto a un comportamiento estacional, lo cual permite obtener un promedio simple.

Finalmente, para obtener la producción per cápita de residuos se debe reemplazar los datos obtenidos en la *ecuación 3.*

$$\text{PPC}\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} / \, persona\right) = \frac{\text{TAD}\left(\frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) * 1.000\left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}}\right)}{\text{P (personas)} * 365\left(\frac{\text{días}}{\text{año}}\right)}$$

$$Ecuación\ 3$$

Donde:

PPC es la producción per cápita de residuos

TAD es el total de toneladas anuales dispuestas en el Vertedero Municipal;

P es la población total atendida por el servicio de recolección y disposición final.

2) <u>Proyección de la cantidad de residuos generados.</u>

A partir de los datos obtenidos en el paso anterior, debe proyectarse la generación de residuos en el horizonte de evaluación del proyecto. Para ello, se debe proyectar de forma paralela el crecimiento esperado de la población empleando la *ecuación 2* y la Producción Per Cápita de residuos (PPC) según la tasa de crecimiento en la generación de residuos por estrato socioeconómico de acuerdo con la tabla 6.

Estrato socioeconómico (ES)	Generación (kg/hab/día)	Rango tasa de crecimiento medio anual	Tasa de crecimiento media anual sugerida (g)
Nivel Alto (A)	1,38	0-1%	0,5%
Nivel Medio (M)	1,05	1-2,5%	1,8%
Nivel Bajo (B)	0,88	2,5-4,5%	3,5%

Tabla 6: Tasa de crecimiento generación per cápita.

(Fuente: Ministerio de Desarrollo Social y familia, 2013)

Así, para efectos de proyectar la generación de residuos en el tiempo, se deberá aplicar la tasa de crecimiento de la PPC en concordancia con la estratificación socioeconómica que mejor represente a la comuna utilizando la siguiente ecuación:

$$\mathrm{PPC_t} = \mathrm{PPC_{t-1}}(1 + g)$$

Ecuación 4

Donde:

$\boldsymbol{PPC_t}$ es la producción per cápita de residuos correspondiente al año t;

g es la tasa de crecimiento media anual sugerida.

Luego de obtener la proyección de la población y del PPC, el total de toneladas de residuos generadas por año (TAD) se obtiene de la siguiente manera:

$$\mathrm{TAD_t} = [\mathrm{PPC_t} * f * \mathrm{P_t}] * \frac{365}{1000}$$

Ecuación 5

Donde:

$\boldsymbol{TAD_t}$ es el total de toneladas de residuos generadas en el año t;

$\boldsymbol{PPC_t}$ es la producción per cápita de residuos en el año t;

f es la proporción de la población en el año base;

$\boldsymbol{P_t}$ la población total atendida por el servicio de recolección y disposición final en al año t.

3) <u>Determinación de la cantidad actual de residuos valorizables</u>

En esta etapa debe desarrollarse la estimación a partir de un estudio de caracterización de la comuna de Los Vilos. Dicho estudio debe estar lo más actualizado posible y, si este no es vigente, los datos deberán ser justificados claramente explicando la metodología utilizada

para realizar dicha actualización. El criterio de validez y confiabilidad a emplear para considerar el estudio de caracterización admisible es el siguiente:

- Respaldado por el Gobierno de Chile.
- Máximo cinco años de antigüedad.
- Indicar la descomposición porcentual de los residuos sólidos y asimilables.

Se trabajará bajo la hipótesis de que la descomposición porcentual de los residuos se mantiene constante en el tiempo para así estimar las toneladas de residuos por tipo que se generan en la comuna mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\mathrm{TAD}_t^j = k_j * \mathrm{TAD}_t$$

Ecuación 6

Donde:

$\mathbf{TAD_t^j}$ es el total de toneladas generadas en el año t por tipo de residuo j;

$\mathbf{k_j}$ es la fracción del residuo tipo j en una tonelada de residuos mixtos;

$\mathbf{TAD_t}$ es el total de toneladas de residuos generadas en el año t.

4) <u>Proyección de la cantidad de residuos valorizables</u>

A partir del dato de caracterización de residuos obtenido en el paso anterior, aplicar la *ecuación 6* manteniendo constante la composición de los residuos y considerar únicamente la proyección de la cantidad de residuos generados, obteniendo finalmente el total de toneladas proyectadas por tipo de residuo.

4.1.4. Oferta actual y proyectada

El análisis de oferta corresponde a la determinación de la cantidad del bien o servicio que es entregado en el área de influencia. En este caso, la oferta es caracterizada en función de la infraestructura para la valorización de residuos disponible. Debe incluir todos los proyectos y programas de valorización aprobados para la ejecución futura y/o en ejecución por la Municipalidad, privados y cualquier otro agente económico en el área de interés, de modo que se defina un nivel de residuos tratados (TAT) en cada momento del tiempo *t*, por tipo de residuo *j*. Los elementos que al menos debe describir, si corresponde, son:

- Contratos vigentes con empresas valorizadoras o recicladores de base, detallando su frecuencia y horario de recolección.
- Infraestructura de valorización.
- Otras instalaciones de recepción y almacenamiento de residuos.
- Cobertura de servicios de valorización en el área de influencia.

De existir servicios que permitan la valorización de residuos, se estimará el porcentaje de recuperación de estos y se trabajara bajo la hipótesis de que dichas proporciones se mantienen constante en el tiempo. De este modo se obtendrá la proyección de las toneladas tratadas del residuo en cuestión al multiplicar dicho porcentaje durante todo el horizonte de evaluación, considerando la proyección de la generación del residuo al cual corresponde.

4.1.5. Déficit actual y proyectado

Se determina sobre la base de la comparación de la demanda (actual y proyectada) y la oferta (actual y proyectada) en el área de influencia. Debe determinarse un nivel de déficit estimado por tipo de residuo caracterizado, empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Déficit}_t^j = \text{TAD}_t^j - \text{TAT}_t^j$$

Ecuación 7

Donde:

$\boldsymbol{D\acute{e}ficit_t^j}$ es el déficit de toneladas no tratadas en el año t por tipo de residuo j;

$\boldsymbol{TAD_t^j}$ es el total de toneladas generadas en el año t por tipo de residuo j;

$\boldsymbol{TAT_t^j}$ es el total de toneladas tratadas en el año t por tipo de residuo j.

4.1.6. Aplicación a la población objetivo

Una vez determinado el déficit (sin tratamiento), por tipo de residuo a nivel comunal, estas cifras deben ser aplicadas a la población que se ha definido como "objetivo" de esta iniciativa de inversión, para ello es necesario contar con la población objetivo del año 2020 y su proyección.

De acuerdo con el déficit comunal previamente calculado, se proyecta el déficit por año y tipo de residuo de la población objetivo, resultado que será la base para la formulación del proyecto de valorización. La ecuación por emplear es:

$$\text{Déficit población objetivo}_t^j = \left(\frac{\text{Déficit}_t^j}{\text{Población Comuna}_t}\right) * \text{ Población Objetivo}_t$$

Ecuación 8

Donde:

j es el tipo de residuo;

t es el año en cuestión.

4.2. Levantamiento de información

Una vez definido a qué tipo de residuo se le quiere dar solución dado su nivel de déficit, se indagará cuáles son los sistemas de valorización más empleados por parte de los municipios chilenos para tratar dicho residuo de interés, luego se realizará una selección de ellos y se procederá a investigar las decisiones adoptadas en cuanto a la recolección, trasporte y tratamiento, detallando los actores involucrados en ella, tamaño y capacidad de la infraestructura y finalmente la fuente de financiamiento adjudicada para su construcción. Los criterios utilizados en este ítem son los siguientes:

- Criterio de validez y confiabilidad para considerar admisible la información:
    - Proviene de fuentes confiables respaldadas por el Gobierno de Chile o instituciones ligadas a él.
    - Máximo tres años de antigüedad.
- Criterio de selección para obtención de información por comunicación directa:
    - Trabajador municipal.
    - Cargo ligado al reciclaje.
    - Conocimiento técnico, operativo y financiero del sistema de valoración de residuos municipal.

4.3. Propuesta de solución

Se planteará un proyecto de valorización en función del residuo que presentó un mayor déficit en la población objetivo, logrando una completa descripción de cada uno de los componentes del sistema de gestión. La propuesta de solución debe considerar los

siguientes elementos: localización y tamaño del proyecto, ingeniería del proyecto, requerimientos legales y financiamiento.

4.3.1. Localización y tamaño del proyecto

Se identificarán las alternativas de terreno donde es factible construir el proyecto de valorización y se seleccionará la que represente un mayor beneficio. El criterio de decisión estará relacionado con los siguientes elementos (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2019):

- Proximidad de la instalación de valoración a los centros de emisión.
- Proximidad a viviendas y/o comercio que pudiesen ser afectados por la actividad.
- Conectividad.
- Requisitos de la normativa vigente (plan regulador comunal).
- Tamaño del terreno.

Una vez definida la localización del proyecto se procederá a determinar el tamaño de la infraestructura según la cantidad de residuos a los que se desea dar tratamiento, decisión que será tomada con base en la información recopilada en el punto 4.2.

4.3.2. Ingeniería del proyecto

Se procede a detallar el equipamiento y maquinaria necesarias para llevar a cabo las operaciones, así como también la mano de obra requerida. La determinación de los elementos mencionados se llevará a cabo considerando los hallazgos obtenidos del levantamiento de información y aplicando el criterio de activos fijos y mano de obra, el cual considera las siguientes características:

- El activo fijo es indispensable para la operación de la actividad.
- Acelera el proceso productivo.
- Capacidad de carga.
- Jornada laboral.

Adicionalmente, se realizará una descripción detallada de cada uno de los siguientes procesos:

1. Etapa de recolección.
2. Etapa de trasporte.
3. Etapa de tratamiento.

En la etapa de tratamiento se describirá el proceso productivo que se llevará al interior de la infraestructura y la distribución de las diferentes áreas involucradas, para ello se utilizará el criterio del proceso de producción, el cual consiste en estudiar el flujo del proceso productivo de las instalaciones nacionales que valorizan el residuo de interés, la información debe ser:

- Fuente confiable, idealmente datos entregados directamente desde el o los municipios.

Finalmente se confeccionará un flujograma que ilustre cada proceso que se realizará en la etapa de tratamiento.

4.3.3. Requerimientos legales

En esta etapa se identificarán los aspectos legales requeridos para la aprobación y operación del proyecto de valorización planteado, los actores involucrados y el

procedimiento para la obtención de ellos. Dichos aspectos legales serán extraídos de la legislación chilena actualizada e información disponible en las páginas web de las instituciones ligadas.

4.3.4. Financiamiento

Finalmente, en esta etapa se reconocen cuáles son las fuentes de financiamiento viables para llevar a cabo la alternativa de solución planteada y detallar el proceso de postulación asociado, así como también las entidades involucradas en cada alternativa. Se utilizará el criterio experiencia de terceros, el cual buscara mediante la información recolectada en el ítem "levantamiento de información" distinguir una tendencia en cuanto a las fuentes de financiamiento utilizadas por las municipalidades estudiadas y de este modo analizar si es aplicable para el proyecto en particular. Una vez identificada las opciones viables se detallará el modo de obtención utilizando fuentes confiables de información respaldadas por el Gobierno de Chile.

Se prosigue bajo la hipótesis de que se obtiene el financiamiento necesario para llevar a cabo el proyecto.

4.4. Evaluación del proyecto

El objeto es identificar, medir y valorar todos los costos y beneficios asociados a la construcción de la instalación de valorización. En la medida que el bienestar social sea mayor al que se hubiera alcanzado sin el proyecto, se podrá concluir que la iniciativa planteada es rentable socialmente (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2013). El enfoque por utilizar es de costo-beneficio.

4.4.1. Cuantificación y valorización de beneficio

No todos los beneficios son cuantificables y valorizables, por lo que en esta sección sólo se describirá solo el beneficio por venta de residuos valorizables y/o por ahorro de costos en procesos internos, generando hipótesis y criterios que respalden el análisis.

Se realizará una estimación de las toneladas recuperadas según la cantidad de residuos que se espera tratar en la instalación de valoración, considerando tres escenarios. Así, se emplea la siguiente fórmula:

$$\mathrm{IR_t} = \mathrm{P_x^y} * \mathrm{TAT_t^j}$$

Ecuación 9

Donde:

$\mathbf{IR_t}$ son los ingresos por venta de residuos en el año t;

$\mathbf{P_x^y}$ es el precio de venta (sin IVA) por tonelada de producto x generado con la tecnología y;

$\mathbf{TAT_t^j}$ es el total de toneladas tratadas en el año t por tipo de residuo j.

4.4.2. Identificación y cuantificación de los costos

Se deberá tener en cuenta la cuantificación física de los insumos requeridos como inversión inicial del proyecto, además de operación y mantenimiento de éste. Asimismo, los costos sin el Impuesto al Valor Agregado (sin IVA) del proyecto deben ser ajustados para representar el verdadero costo que el proyecto de valorización tiene para la sociedad, corrigiendo los precios de mercado (privados) a precios sociales (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2013).

a) Inversión

En términos generales, se pueden considerar como parte de la iniciativa del proyecto de valorización los siguientes ítems de costo (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2013):

- Terreno
- Obras civiles
- Equipamiento
- Consultoría (incluye capacitación, educación ambiental y sensibilización a la ciudadanía, partidas que suelen representar hasta un 5-7% del monto total de inversión del proyecto).

b) Operación y mantenimiento

Los costos que surgen por este tipo de proyectos están principalmente asociados a la operación rutinaria y costos incurridos para evitar el deterioro de la maquinaria e infraestructura.

Cabe destacar que durante el desarrollo de este ítem se expondrán hipótesis y criterios que respalden los costos.

4.5. Flujo de beneficios netos

El beneficio total neto del proyecto se define como la diferencia de los beneficios con respecto a los costos, para cada año de análisis del proyecto. Para efectuar dicho cálculo se realizarán supuestos en cuanto al porcentaje de aumento anual de los costos. Por otro lado,

se utilizará el método de depreciación lineal para obtener el valor residual de los activos al término del horizonte de evaluación.

4.5.1. Análisis de rentabilidad

El análisis de rentabilidad permite estimar los indicadores que servirán de guía para la toma de decisión.

a) Indicadores de rentabilidad

Los principales indicadores de rentabilidad están dados por el valor actual de los beneficios y la tasa interna de retorno. El Valor Actual Neto Social (VANS) del proyecto considera una tasa de descuento de un 6% y estará dado por:

$$\mathrm{VANS} = \sum_{t=1}^{T} \frac{\mathrm{BTN_t}}{(1+r)^t} + \frac{\mathrm{VR}}{(1+r)^T} - \mathrm{I_0}$$

Ecuación 10

Donde:

VANS es el valor actual neto social del proyecto;

$\mathbf{I_0}$ es la inversión inicial;

$\mathbf{BTN_t}$ son los beneficios totales netos en el año t;

r es la tasa social de descuento;

T es el horizonte de evaluación total del proyecto;

VR es el valor residual del proyecto al final de su vida útil.

El otro indicador de rentabilidad habitualmente utilizado es la Tasa Interna de Retorno Social (TIRS), la que mide la rentabilidad promedio que tiene un determinado proyecto, suponiendo que los flujos se reinvierten en el mismo proyecto y a una tasa constante.

$$0 = \sum_{t=1}^{T} \frac{BTN_t}{(1+\rho)^t} + \frac{VR}{(1+\rho)^T} - I_0$$

Ecuación 11

Donde:

ρ es la tasa interna social de retorno.

4.5.2. Horizonte de evaluación

El horizonte de evaluación corresponde a los años de vida útil del proyecto y es, en general, menor o igual a la vida útil económica de las obras de infraestructura. En la mayoría de las obras de infraestructura urbana es común utilizar un período de 20 años, aunque en el caso de los proyectos de valorización esto será particular a la instalación y tecnología de que se trate (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2013).

4.5.3. Análisis de riesgo

Dado que hay variables cuyo valor no puede predecirse con exactitud, sino que existe una cierta incertidumbre en su estimación, se aplicará un análisis de escenarios, definiendo un escenario optimista, promedio y pesimista (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2013).

4.5.4. Toma de decisión proyecto

Para decidir si recomendar o no el proyecto de valorización de residuos municipal planteado para la comuna de Los Vilos, se considerarán los siguientes criterios:

- En más de un escenario el VANS y el TIRS indiquen que es favorable la ejecución del proyecto.
- Reduzca más del 5% de las toneladas depositadas en el sitio de disposición final destinado a los residuos de la comuna.
- Impulsa la conciencia y educación ambiental de los habitantes.
- Genera oportunidad de trabajo.
- Genera otros beneficios sociales no cuantificables.

5. RESULTADOS

5.1. Diagnóstico de la situación actual

5.1.1. Identificación del área de estudio

La Región de Coquimbo cuenta con 3 provincias y 15 comunas, y su capital regional es la ciudad de La Serena. La Provincia de Choapa se compone por las comunas de Canela, Los Vilos, Salamanca e Illapel, siendo esta última la capital de dicha provincia. La comuna de Los Vilos, por otro lado, la constituyen las localidades urbanas de Pichidangui y Los Vilos y las localidades rurales de Las Vacas, Caimanes, Tilama, Los Cóndores, Guangualí, Quilimarí y Chigualoco (ver ilustración 10).

Ilustración 10: División político-administrativa.

(Fuente: Plan de Desarrollo Comunal, 2017)

La comuna de Los Vilos tiene una superficie de 1.823,8 km², lo que constituye el 4,49% de la región y el 0,24% del país, ubicándose en la costa sur de la región de Coquimbo y constituyendo la puerta de entrada al Norte Chico. Sus límites administrativos son: por el

norte, las comunas de Canela e Illapel; al este, con la comuna de Salamanca; por el sur, con la V Región de Valparaíso; y al suroeste, con el Océano Pacífico. Su vía de acceso principal es la Carretera 5-Norte que atraviesa la comuna de sur a norte conectándola con las comunas de Canela al norte y La Ligua al sur, mientras que la vía D-37E le conecta por el norte con la comuna de Illapel y al sur con la comuna de Petorca. También se comunica con Illapel a través de la cuesta de Cavilolén en la ruta D-85 (Plan de Desarrollo Comunal, 2017).

La administración de la IV Región corresponde al Gobierno Regional de Coquimbo, compuesto por el Intendente como órgano ejecutivo y el Consejo Regional, como órgano resolutivo, nominativo y fiscalizador de aquél. Las funciones de administración son apoyadas por las Secretarías Regionales Ministeriales, órganos desconcentrados de los Ministerios, subordinados en el ámbito regional al Intendente, que desde marzo de 2018 es la Sra. Lucía Pinto Ramírez. Subordinado al Intendente, a nivel provincial el Gobierno corresponde al Gobernador de Choapa, que en la actualidad es el Sr. Juan Pablo Gálvez Lillo (Gobierno Regional de Coquimbo, s.f).

La administración comunal corresponde a la Municipalidad de Los Vilos, presidida en el período 2016-2020 por el alcalde Manuel Marcarian Julio como autoridad superior y el Concejo Municipal donde participan la Sra. Berta Martínez González, el Sr. Christian Gross Hidalgo, el Sr. Héctor Molina Fuenzalida, la Sra. Iris Hidalgo Arancibia, el Sr. Julio Rojos Astorga y el Sr. Juan Hisi Espinoza (Gobierno Regional de Coquimbo, s.f).

Dentro de las diversas actividades productivas desarrolladas en la comuna de Los Vilos encontramos el comercio local, agricultura, pesca artesanal, cultivo de locos y el turismo, siendo esta última la de mayor progreso gracias al interés por parte del municipio

de atraer a los turistas, publicitando las hermosas playas y ofertas gastronómicas que ofrece la zona. A modo de ejemplo, en el 2011 había 962 empresas, de las cuales 945 eran micro-empresas o pequeñas empresas, siendo las principales actividades el comercio al por mayor y menor, hoteles/cabañas, restaurant/cocinerías y trasporte o almacenamiento. Actualmente, en Punta Chungo, ubicada a 5 km al norte de Los Vilos, se localiza la planta de filtración de concentrado de cobre de la Minera Los Pelambres y el terminal marítimo para la exportación de este producto, siendo esta empresa una fuente de empleo importante dentro de la comuna. Además, el reciente proyecto puesto en marcha durante el 2019 que contempla instalar una planta desalinizadora de osmosis inversa también en Puerto Punta Chungo, estima que en su peak de construcción requerirá contratar a 3.000 personas, siendo un panorama favorable para el desarrollo territorial (Plan de Desarrollo Comunal, 2017).

El último Censo 2017 evidencia que el total de habitantes en la comuna de Los Vilos durante dicho año era 21.382, del cual 11.062 correspondía a hombres y 10.321 a mujeres. La Tasa de Crecimiento poblacional representa el ritmo de aumento promedio anual de la población en un periodo de tiempo determinado, que, en el caso de esta comuna, aplicando la *ecuación 1,* es del 1,36%, por lo que se estima mediante la *ecuación 2* que en el presente año 2020 se trataría de 22.268 individuos. Por otro lado, el rango etario que toma mayor fuerza son las personas de entre 25 a 34 años, representando el 15,4% del total (Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, 2017).

Sin embargo, la población objetivo a la cual apuntará el proyecto de valorización de residuos municipales es a los habitantes de la ciudad de Los Vilos, la cual, según el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (2019) y aplicando la tasa de crecimiento para traerla al

valor actual, se trataría de 14.506 habitantes, es decir, aproximadamente a un 65,1% de la población total de la comuna.

5.1.2. Manejo actual de los residuos en Los Vilos

La Ilustre Municipalidad de Los Vilos, RUT N°69.041.500-3, representada legalmente por su Alcalde Titular, don Manuel Marcarian Julio, dispuso el llamado a licitación pública del contrato de concesión del "Servicio Público de Recolección y Transporte de Residuos Sólidos Domiciliarios y Públicos y Administración y Operación del Vertedero Municipal, en la Comuna de Los Vilos", en el Portal Web de Mercado Público el 22 de agosto del 2018, ID 3698-13-LR18, adjuntando a la ficha las Bases Administrativas de Licitación, Términos de Referencia, Acta de Evaluación, Decreto Adjudicación, Certificado de Disponibilidad Presupuestaria, y otros Anexos pertinentes. El cierre de la propuesta pública fue el 28 de septiembre del mismo año, designándose funcionarios para integrar la comisión de apertura y evaluadora de la licitación, quienes revisaron los antecedentes en soporte físico y electrónico, constataron el cumplimiento de los requisitos exigidos y dejaron constancia de cada uno de los oferentes. Finalmente, el Concejo Municipal de la comuna de Los Vilos acordó por unanimidad, el 31 de octubre del 2018, aprobar la adjudicación y contratación de los servicios de la empresa "Centro de Gestión Ambiental y Servicios Crecer SpA", RUT N°76.473.150-6, siendo Rosa Lina Neira Paredes su representante legal (Municipalidad de Los Vilos, 2018).

La licitación ofertada tenía una vigencia de cuatro años, contados desde la fecha de entrega formal de los servicios, es decir, la empresa podrá operar en la comuna hasta el año 2022. El contrato de concesión convenido y firmado por parte de ambas identidades detalla

las responsabilidades y obligaciones del contratista, siendo la empresa Crecer SpA quien, para acreditar el cumplimiento de todas y cada una de ellas, hace entrega de un informe de gestión mensual para dar curso al pago. La Municipalidad de Los Vilos paga mensualmente un total de $59.724.475 (IVA incluido) a la empresa por los servicios concesionados conforme al siguiente detalle expuesto en la tabla 7 (Decreto Alcaldicio N°3374, 2018).

RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS AL LUGAR DE DISPOSICIÓN FINAL	RECOLECCIÓN RESIDUOS	$26.808.510	**$44.771.685**
	LIMPIEZA, BARRIDO Y ASEO DE CALLES	$12.985.165	
	RECOLECCIÓN RESIDUOS NO CONVENCIONALES	$4.978.010	
ADMINISTRACIÓN Y OPERACIÓN DE VERTEDERO MUNICIPAL	HABILITACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y OPERACIÓN	$14.952.790	**$14.952.790**
TOTAL			**$59.724.475**

Tabla 7: Valores mensuales.

(Fuente: Decreto Alcaldicio N°3374, 2018)

Por tanto, el municipio optó por concesionar la gestión de residuos de la comuna, tercerizando las etapas de recolección y trasporte de residuos sólidos domiciliarios a su sitio de eliminación, además de la administración y la operación del vertedero municipal.

La empresa Crecer SpA, para llevar a cabo el servicio de recolección y trasporte de residuos, ha integrado a su personal operativo 13 auxiliares, 11 barredores, 4 conductores, 1 supervisor, 1 mecánico, 1 encargado de informaciones, 1 encargado de obra, 1 asesor técnico ambiental y 1 administrativo. En cuanto maquinaria y equipo, ha asignado 3 camiones

recolectores de carga trasera Ford Cargo, 1 camión multipropósito tipo tolva JAC Runner, 1 camión plano marca JAC y 2 contenedores metálicos de 10 m³ (Centro de Gestión Ambiental y Servicios Crecer SpA, 2020).

La página web de la Municipalidad de Los Vilos ofrece el mapa de recolección de residuos que realiza Crecer SpA, el cual se centra solamente en la ciudad de Los Vilos (ver ilustración 11) debido a que es la principal zona urbana de la comuna y donde se concentra la mayor parte de la población. La recolección en Los Vilos se divide en dos grandes grupos (morado y celeste) los cuales a su vez se dividen en sectores definidos por sus nombres. La recolección y trasporte de los residuos en la zona morada se lleva a cabo los días lunes, miércoles y viernes, operando desde las 8:30 hasta las 14:30 horas, mientras que en la zona celeste, el servicio se realiza los días martes, jueves y sábado en el mismo horario.

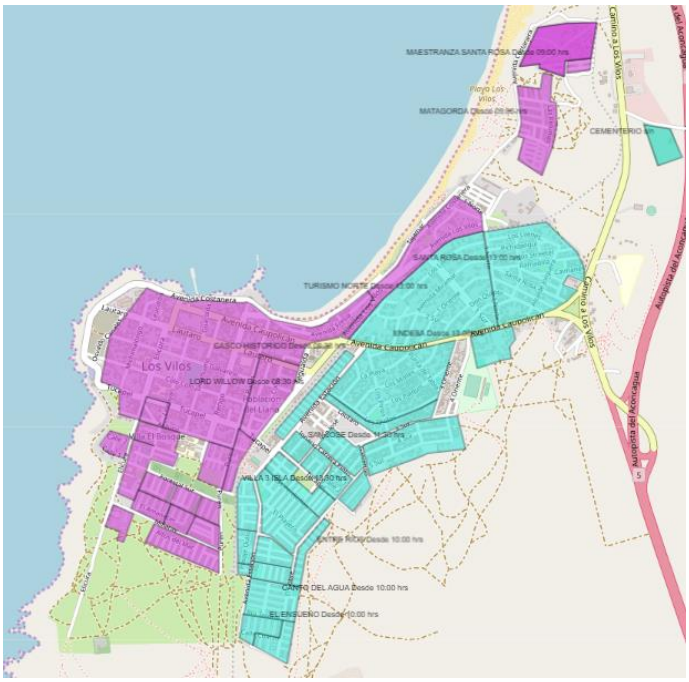

Ilustración 11: Mapa recolección residuos-Los Vilos.

(Fuente: Portal Web Municipalidad de Los Vilos)

En paralelo al servicio señalado, la empresa Crecer SpA, para efectuar la operación y administración del vertedero municipal, incorporó 2 auxiliares, 3 operadores, 1 prevencionista de riesgos, 1 asesor técnico ambiental y 1 administrativo. En cuanto a equipamiento destina 1 camión tolva Ford Cargo, 5 contenedores de 20 pies, 1 excavadora y retroexcavadora John Deere (Centro de Gestión Ambiental y Servicios Crecer SpA, 2020).

El Vertedero Municipal es el sitio de disposición final de los residuos domiciliarios de la comuna, el cual se encuentra ubicado al interior del denominado Fundo Caracas, con una superficie aproximada de 2,5 hectáreas, ubicado aproximadamente a 7 Km de la Ruta 5 Norte, por camino antiguo a Illapel (ver ilustración 12).

Ilustración 12: Mapa Vertedero Municipal.

(Fuente: Elaboración propia)

El contrato de arrendamiento del retazo de terreno para ser utilizado como Vertedero Municipal, fue pactado por instrumento público de fecha 26 de enero de 2012, entre el Municipio y Agrícola El Visganal S.A., representada por Eduardo Collantes Méndez. El plazo de vigencia del arrendamiento renovado se pactó por 10 años, es decir, hasta el 2022 y el canon mensual que se convino es la suma equivalente a 43,13 UF más IVA (Decreto Alcaldicio N°2079, 2012). Por último, en agosto de 2019 se realizó una proyección de la capacidad del vertedero, la cual se estima 5,2 años, esto es, hasta el 2024.

5.1.3. Demanda actual y proyectada

1) Determinación de la cantidad actual de residuos generados.

Considerando los meses de operación de la empresa "Centro de Gestión Ambiental y Servicios Crecer SpA", en promedio, son depositados mensualmente 2.608 m³ de residuos en el Vertedero Municipal, los cuales, mediante una compactación final de 0,6 ton/m³, se traducen a 1.565 toneladas (Centro de Gestión Ambiental y Servicios Crecer SpA, 2020). El detalle de cada mes se encuentra en la tabla 8.

A partir de la información histórica de toneladas depositadas en el Vertedero Municipal y la población comunal total atendida por el servicio, la cual se considera el 100% de ella, se resuelve la *ecuación 3* obteniendo la Producción Per Cápita de residuos (PPC) correspondiente a la comuna de Los Vilos.

$$\text{PPC}\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\ /\ persona\right) = \frac{18.779{,}5\left(\frac{\text{ton}}{\text{año}}\right) * 1.000\left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}}\right)}{\text{P}\ (22.268) * 365\left(\frac{\text{días}}{\text{año}}\right)}$$

$$\mathbf{PPC = 2{,}31}\left(\frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{día}}\ /\ \boldsymbol{persona}\right)$$

Año	Mes	Vertedero Municipal	
		m³ mes	Toneladas
2019	Enero	2.222,5	1.333,5
2019	Febrero	2.881,0	1.728,6
2019	Marzo	2.291,0	1.374,6
2019	Abril	2.405,0	1.443,0
2019	Mayo	2.693,0	1.615,8
2019	Junio	3.039,0	1.823,4
2019	Julio	3.054,0	1.832,4
2019	Agosto	2.734,0	1.640,4
2019	Septiembre	2.543,0	1.525,8
2019	Octubre	2.632,5	1.579,5
2019	Noviembre	2.425,0	1.455,3
2019	Diciembre	2.848,5	1.709,1
2020	Enero	2.387,0	1.432,2
2020	Febrero	2.904,5	1.742,7
2020	Marzo	2.063,5	1.238,1

Tabla 8: Ingreso mensual residuos Vertedero Municipal.

(Fuente: Centro de Gestión Ambiental y Servicios Crecer SpA, 2020)

2) Proyección de la cantidad de residuos generados.

Los resultados se exponen en la tabla 9, evidenciando el total de toneladas anuales generadas (TAD).

Año	Proyección Población	PPC $\left(kg/\frac{persona}{día}\right)$	TAD $\left(\frac{Ton}{Anual}\right)$
2020	22.268	2,31	18.779,5
2021	22.572	2,32	19.130,6
2022	22.879	2,33	19.488,3
2023	23.191	2,35	19.852,6
2024	23.507	2,36	20.223,8
2025	23.827	2,37	20.601,9
2026	24.152	2,38	20.987,1
2027	24.481	2,39	21.379,5
2028	24.815	2,40	21.779,2
2029	25.153	2,42	22.186,4
2030	25.496	2,43	22.601,2
2031	25.843	2,44	23.023,7
2032	26.195	2,45	23.454,2
2033	26.552	2,47	23.892,7
2034	26.914	2,48	24.339,4
2035	27.281	2,49	24.794,4
2036	27.653	2,50	25.258,0
2037	28.030	2,51	25.730,2
2038	28.412	2,53	26.211,2
2039	28.799	2,54	26.701,3
2040	29.191	2,55	27.200,5

Tabla 9: Proyección de generación residuos por año.

(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados de la tabla expuesta se obtuvo de la siguiente manera: para efectos de proyectar la generación de residuos en el tiempo, se aplica en la *ecuación 4*, la tasa de crecimiento media anual que para el presente caso se sugiere sea de un 0,5% (ver tabla 6), dado que el PPC obtenido en el cálculo anterior lo posiciona en el Nivel Alto, y en paralelo, se proyecta la población comunal mediante la *ecuación 2* utilizando una Tasa de Crecimiento anual de 1,36%. Una vez obtenida la proyección del PPC y de la población en un horizonte de 20 años, se emplea la *ecuación 5*.

3) Determinación de la cantidad actual de residuos valorizables

La Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (2018), realizó un estudio denominado "Diagnóstico nacional y regional sobre generación y eliminación de residuos sólidos domiciliarios y asimilables", donde caracteriza la Región de Coquimbo analizando cada Provincia y sus respectivas comunas. En dicho estudio se concluyó que la composición porcentual de los residuos generados en la comuna de Los Vilos corresponde a:

- 58% materia orgánica;
- 14% plástico;
- 12% papel y cartón;
- 12% otros residuos[5];
- 3% vidrio;
- 1% metales.

[5] Residuos en menor cantidad, entre los cuales se considera madera, textiles, gomas, cartón para bebidas (tetrapack), higiénicos y peligrosos

A partir del estudio de caracterización de residuos señalado previamente y aplicando la *ecuación 6*, se ha determinado que la composición de éstos, considerando las toneladas estimadas para el año 2020, es la señalada en la tabla 10.

Tipo de residuo	Fracción	TAD (2020) $\left(\frac{Ton}{Anual}\right)$
Materia orgánica	58%	10.892,1
Plástico	14%	2.629,1
Otros residuos	12%	2.253,5
Papel y cartón	12%	2.253,5
Vidrio	3%	563,4
Metales	1%	187,8
Total	100%	18.779,5

Tabla 10: Composición actual de los residuos.

(Fuente: Elaboración propia)

4) <u>Proyección de la cantidad de residuos valorizables</u>

Suponiendo que la composición de los residuos no cambia a través de los años, se estiman las toneladas de residuos por tipo aplicando nuevamente la *ecuación 6*, manteniendo constante la descomposición porcentual obtenida por el estudio de caracterización y considerando la proyección de los residuos generados, los cuales fueron obtenidos previamente (tabla 9). Los resultados se encuentran en la tabla 11.

Año	TAD	Toneladas por tipo de residuo					
		Materia orgánica 58%	Plástico 14%	Otros residuos 12%	Papel y cartón 12%	Vidrio 3%	Metales 1%
2020	18.779,5	10.892,1	2.629,1	2.253,5	2.253,5	563,4	187,8
2021	19.130,6	11.095,8	2.678,3	2.295,7	2.295,7	573,9	191,3
2022	19.488,3	11.303,2	2.728,4	2.338,6	2.338,6	584,6	194,9
2023	19.852,6	11.514,5	2.779,4	2.382,3	2.382,3	595,6	198,5
2024	20.223,8	11.729,8	2.831,3	2.426,9	2.426,9	606,7	202,2
2025	20.601,9	11.949,1	2.884,3	2.472,2	2.472,2	618,1	206,0
2026	20.987,1	12.172,5	2.938,2	2.518,5	2.518,5	629,6	209,9
2027	21.379,5	12.400,1	2.993,1	2.565,5	2.565,5	641,4	213,8
2028	21.779,2	12.631,9	3.049,1	2.613,5	2.613,5	653,4	217,8
2029	22.186,4	12.868,1	3.106,1	2.662,4	2.662,4	665,6	221,9
2030	22.601,2	13.108,7	3.164,2	2.712,1	2.712,1	678,0	226,0
2031	23.023,7	13.353,7	3.223,3	2.762,8	2.762,8	690,7	230,2
2032	23.454,2	13.603,4	3.283,6	2.814,5	2.814,5	703,6	234,5
2033	23.892,7	13.857,7	3.345,0	2.867,1	2.867,1	716,8	238,9
2034	24.339,4	14.116,8	3.407,5	2.920,7	2.920,7	730,2	243,4
2035	24.794,4	14.380,8	3.471,2	2.975,3	2.975,3	743,8	247,9
2036	25.258,0	14.649,6	3.536,1	3.031,0	3.031,0	757,7	252,6
2037	25.730,2	14.923,5	3.602,2	3.087,6	3.087,6	771,9	257,3
2038	26.211,2	15.202,5	3.669,6	3.145,3	3.145,3	786,3	262,1
2039	26.701,3	15.486,7	3.738,2	3.204,2	3.204,2	801,0	267,0
2040	27.200,5	15.776,3	3.808,1	3.264,1	3.264,1	816,0	272,0

Tabla 11: Composición y cantidad de residuos proyectado.

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.4. Oferta actual y proyectada

Viviana León, profesional de la oficina de Medioambiente de la Municipalidad de Los Vilos, señala (comunicación personal, 17 de marzo, 2020) que actualmente en la comuna de Los Vilos se tiene conocimiento de la valorización de botellas PET por parte de Wladimir Rojas Olivares y Patricio Becerra, locatarios de Caimanes y Pichidangui respectivamente, quienes son reconocidos por la Municipalidad de Los Vilos como recicladores de base de la comuna a pesar de no contar con los certificados que los acrediten como tal. Wladimir Rojas comenzó a operar en este rubro a principios del 2020, abarcando Los Vilos y Caimanes y asociándose con Patricio Becerra a quien le vende el residuo recaudado, y quien realiza las gestiones necesarias para trasladar el plástico a las fábricas de reciclaje ubicadas en Santiago. Hasta la fecha se han instalado un total de 11 jaulas PET en Los Vilos para el reciclaje de botellas, ubicadas estratégicamente en las zonas de mayor afluencia de personas, las cuales se visualizan en el mapa de la ilustración 13. Cabe destacar que tanto en la Caleta San Pedro y en la Plaza L se encuentran a disposición 2 unidades de ellas.

Wladimir declara (comunicación telefónica, 06 de abril, 2020) que retira el contenido de las jaulas una vez a la semana, generalmente los jueves, y las traslada en un camión cerrado hasta su centro de acopio ubicado en Caimanes, donde procede a comprimir los residuos hasta formar fardos de aproximadamente 15 kilos que facilitan su traslado a Pichidangui, donde serán recepcionadas, trituradas y desplazadas a Santiago. Estima que mensualmente se recolectan 1,2 toneladas de botellas PET entre la recopilación proveniente de Caimanes, Pichidangui y Los Vilos, siendo este último donde se produce el mayor acopio.

Ilustración 13: Mapa jaulas PET.

(Fuente: Departamento de Medio Ambiente, 2020)

Por otra parte, Viviana León declara (comunicación personal, 17 de marzo, 2020) que la Ley REP solicita a la municipalidad trabajar con los recicladores de base y prestarles el apoyo correspondiente, exigiendo para la comuna de Los Vilos un mínimo de 5 de ellos, existiendo actualmente una carencia de personas que se desempeñen en el oficio de manera activa. La Municipalidad de Los Vilos, en conjunto con los dos recicladores de base de la comuna, se encuentran realizando los trámites para obtener el certificado que los acredite como tal y cumplan con las exigencias impuestas por la Ley REP.

En la comuna de Los Vilos no se tiene conocimiento de empresas establecidas que se dediquen a la valorización de residuos, la más cercana es la empresa de reciclaje Ecología Siglo XXI, ubicada en la ciudad y comuna de Illapel, Cuarta Región, aproximadamente a 1 hora desde Los Vilos. Dicha empresa recicladora, se inició informalmente como una idea de proyecto, para formar la primera recuperadora de materiales reciclables en la Provincia del Choapa en el año 2005, actualmente cumpliendo con todas las normativas legales. La empresa se orienta a prestar sus servicios a las grandes empresas y mineras de la Región de Coquimbo, manteniendo una alianza desde el 2007 con Minera Los Pelambres (Rojo, 2017).

Por último, con miras hacia el futuro, la oficina de Medio Ambiente del municipio revela (comunicación personal, 17 de marzo, 2020) que se acercó un joven al establecimiento para consultar por los permisos y requisitos para instalar un centro de acopio de plástico PET en Los Vilos. Sin embargo, aún es muy pronto para tener certeza si el proyecto se llevará a cabo y si será aprobado para su futura ejecución.

Con los antecedentes recopilados, se concluye que, en la comuna de Los Vilos, mediante los recicladores de base vigentes, se permite la recuperación de aproximadamente 54,8% de residuos correspondiente a plástico. La tabla 12 refleja la oferta actual y proyectada hasta el 2040 para dicho tipo de residuo, respetando la hipótesis de que la tasa de recuperación de mantiene fijo durante todo el horizonte de evaluación.

Año	Toneladas Plástico
2020	1.440,0
2021	1.466,9
2022	1.494,3

2023	1.522,3
2024	1.550,7
2025	1.579,7
2026	1.609,3
2027	1.639,4
2028	1.670,0
2029	1.701,2
2030	1.733,0
2031	1.765,4
2032	1.798,4
2033	1.832,1
2034	1.866,3
2035	1.901,2
2036	1.936,8
2037	1.973,0
2038	2.009,9
2039	2.047,4
2040	2.085,7

Tabla 12: Total de toneladas tratadas y proyectadas.

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.5. Déficit actual y proyectado

Con base en la demanda (actual y proyectada) y la oferta (actual y proyectada) en el área de influencia, se emplea la *ecuación 7*, estimando el nivel de déficit comunal por tipo de residuo (ver tabla 13).

Año	Toneladas por tipo de residuo no tratada comuna					
	Materia orgánica	Plástico	Otros residuos	Papel y cartón	Vidrio	Metales
2020	10.892,1	1.189,1	2.253,5	2.253,5	563,4	187,8
2021	11.095,8	1.211,4	2.295,7	2.295,7	573,9	191,3
2022	11.303,2	1.234,0	2.338,6	2.338,6	584,6	194,9
2023	11.514,5	1.257,1	2.382,3	2.382,3	595,6	198,5
2024	11.729,8	1.280,6	2.426,9	2.426,9	606,7	202,2
2025	11.949,1	1.304,5	2.472,2	2.472,2	618,1	206,0
2026	12.172,5	1.328,9	2.518,5	2.518,5	629,6	209,9
2027	12.400,1	1.353,8	2.565,5	2.565,5	641,4	213,8
2028	12.631,9	1.379,1	2.613,5	2.613,5	653,4	217,8
2029	12.868,1	1.404,9	2.662,4	2.662,4	665,6	221,9
2030	13.108,7	1.431,1	2.712,1	2.712,1	678,0	226,0
2031	13.353,7	1.457,9	2.762,8	2.762,8	690,7	230,2
2032	13.603,4	1.485,1	2.814,5	2.814,5	703,6	234,5
2033	13.857,7	1.512,9	2.867,1	2.867,1	716,8	238,9
2034	14.116,8	1.541,2	2.920,7	2.920,7	730,2	243,4
2035	14.380,8	1.570,0	2.975,3	2.975,3	743,8	247,9
2036	14.649,6	1.599,4	3.031,0	3.031,0	757,7	252,6
2037	14.923,5	1.629,3	3.087,6	3.087,6	771,9	257,3
2038	15.202,5	1.659,7	3.145,3	3.145,3	786,3	262,1
2039	15.486,7	1.690,7	3.204,2	3.204,2	801,0	267,0
2040	15.776,3	1.722,4	3.264,1	3.264,1	816,0	272,0

Tabla 13: Déficit actual y proyectado comuna.

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.6. Aplicación a la población objetivo

Se proyecta el déficit por año y tipo de residuo de la población objetivo (ver tabla 14).

Año	Población Comuna	Población Objetivo	Toneladas por tipo de residuo					
			Materia orgánica	Plástico	Otros residuos	Papel y cartón	Vidrio	Metales
2020	22.268	14.506	7.095,5	774,6	1.468,0	1.468,0	367,0	122,3
2021	22.572	14.704	7.228,2	789,1	1.495,5	1.495,5	373,9	124,6
2022	22.879	14.904	7.363,3	803,9	1.523,4	1.523,4	380,9	127,0
2023	23.191	15.107	7.501,0	818,9	1.551,9	1.551,9	388,0	129,3
2024	23.507	15.313	7.641,2	834,2	1.580,9	1.580,9	395,2	131,7
2025	23.827	15.522	7.784,1	849,8	1.610,5	1.610,5	402,6	134,2
2026	24.152	15.734	7.929,6	865,7	1.640,6	1.640,6	410,2	136,7
2027	24.481	15.948	8.077,9	881,9	1.671,3	1.671,3	417,8	139,3
2028	24.815	16.165	8.228,9	898,4	1.702,5	1.702,5	425,6	141,9
2029	25.153	16.386	8.382,7	915,2	1.734,4	1.734,4	433,6	144,5
2030	25.496	16.609	8.539,5	932,3	1.766,8	1.766,8	441,7	147,2
2031	25.843	16.835	8.699,1	949,7	1.799,8	1.799,8	450,0	150,0
2032	26.195	17.065	8.861,7	967,5	1.833,5	1.833,5	458,4	152,8
2033	26.552	17.297	9.027,4	985,6	1.867,7	1.867,7	466,9	155,6
2034	26.914	17.533	9.196,2	1.004,0	1.902,7	1.902,7	475,7	158,6
2035	27.281	17.772	9.368,1	1.022,8	1.938,2	1.938,2	484,6	161,5
2036	27.653	18.014	9.543,3	1.041,9	1.974,5	1.974,5	493,6	164,5
2037	28.030	18.260	9.721,7	1.061,4	2.011,4	2.011,4	502,8	167,6
2038	28.412	18.508	9.903,5	1.081,2	2.049,0	2.049,0	512,2	170,7
2039	28.799	18.761	10.088,6	1.101,4	2.087,3	2.087,3	521,8	173,9
2040	29.191	19.016	10.277,2	1.122,0	2.126,3	2.126,3	531,6	177,2

Tabla 14: Déficit residuos población objetivo.

(Fuente: Elaboración propia)

He de recordar que la población objetivo corresponde a los habitantes de la ciudad de Los Vilos. Los resultados vistos en la tabla 14 se obtienen de acuerdo con el déficit comunal previamente calculado (tabla 13) y aplicando la *ecuación 8*.

En conclusión, el déficit más importante se encuentra en los residuos orgánicos, por lo cual el foco estará puesto en la valorización de él, abarcando toda la etapa de la gestión del residuo, es decir, recolección – trasporte – tratamiento. Siguiendo esta línea, se utilizó el criterio de dos expertos para estimar el porcentaje de material compostable presente en los residuos de materia orgánica. Para la selección de los expertos se exigió que tuvieran las siguientes características:

- Ser trabajador municipal.
- Estar a cargo de un programa de reciclaje.
- Poseer más de dos años en el cargo actual.
- Experiencia laboral con material compostable o procesos de compostaje.

Finalmente, se consultó a Caterine Aranda Llanos, encargada del programa "Limpio y Seco" de la Ilustre Municipalidad de Casablanca (comunicación telefónica, 15 de abril, 2020) y Gian Rivano Delzo, encargado del programa "Talca Recicla" impulsado por la Ilustre Municipalidad de Talca (comunicación telefónica, 16 de abril, 2020), ambos concordaron que el material compostable puede variar entre un 65% a 75% del total de residuos orgánicos generados, de lo cual, se plantea la hipótesis de que un 70% del total equivale al material compostable. Considerando que dicho promedio se mantiene constante en el tiempo, y aplicado a las proyecciones generadas correspondientes a la población objetivo, se traduce a lo expresado en la tabla 15.

Año	Residuo orgánico compostable
2020	4.966,9
2021	5.059,7
2022	5.154,3
2023	5.250,7
2024	5.348,9
2025	5.448,9
2026	5.550,7
2027	5.654,5
2028	5.760,2
2029	5.867,9
2030	5.977,6
2031	6.089,4
2032	6.203,2
2033	6.319,2
2034	6.437,3
2035	6.557,7
2036	6.680,3
2037	6.805,2
2038	6.932,4
2039	7.062,0
2040	7.194,1

Tabla 15: Proyección de residuo orgánico compostable.

(Fuente: Elaboración propia)

5.2. Levantamiento de información

La consultora ImplementaSur (2019) se adjudicó la licitación ID 608897-104-LE18 la cual consistía en realizar el servicio de asesoría de ciencias medioambientales a la Subsecretaría del Medio Ambiente de Chile, orientado a recopilar y analizar información sobre el manejo de residuos orgánicos municipales a nivel nacional e internacional. El informe denominado "Asesoría sobre el manejo de residuos orgánicos generados a nivel municipal en Chile" presenta un resumen de fuentes de generación de residuos orgánicos y sistema de tratamiento utilizado por las municipalidades, en el marco de la implementación de proyectos de valorización por parte de los municipios (ver tabla 16).

Comuna/ Municipalidad	Origen				Sistema de tratamiento
	Instituciones públicas	Ferias libres o mercados	Domiciliario	Áreas Verdes y arbolado urbano	
Calera de Tango	✓		✓		Vermicomposteras.
Curanilahue	✓	✓	✓		Composteras domiciliarias.
La Pintana		✓	✓	✓	Planta de compostaje y lombricultura.
Maipú			✓		Composteras domiciliarias.
Rapa Nui			✓		Composteras domiciliarias.
San Antonio		✓	✓	✓	Planta de compostaje.
Santa Juana	✓	✓	✓	✓	Planta de compostaje.
Talcahuano		✓		✓	Planta de compostaje.
Viña del Mar		✓	✓	✓	Planta de compostaje.

Tabla 16: Principales fuentes de generación de residuos orgánicos y tratamiento utilizado.

(Fuente: ImplementaSur, 2019)

La tabla 16 evidencia que en Chile son acotados los municipios que cuentan con sistema de tratamiento orientado a dicho residuo, siendo el más frecuente la construcción de una planta de compostaje municipal utilizando la recolección diferenciada de residuos orgánicos. En cuanto a las composteras o vermicomposteras domiciliarias, éstas son entregadas a las familias previa inscripción voluntaria, posteriormente su entrega va acompañada de un programa de capacitación y seguimiento, mediante el cual se les brinda asesoría técnica y acompañamiento a las familias beneficiadas con el objeto de maximizar el uso del equipamiento entregado.

En el marco del estudio, además, se analizó el equipamiento y maquinaria disponible por parte de los municipios que cuentan con plantas de compostaje. A continuación, se consolida la información levantada en la tabla 17.

Comuna/ Municipalidad	Losa	Galpón para almacenamiento de maquinaria	Piscina de almacenamiento para escurrimiento de líquido	Cargador frontal	Triturador-mezclador	Chipeadora	Trómel
Viña del Mar				✓		✓	✓
San Antonio				✓		✓	✓
La Pintana				✓		✓	✓
Santa Juana	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Talcahuano		✓		✓		✓	✓

Tabla 17: Equipamiento y maquinaria disponible en las plantas de compostaje.

(Fuente: ImplementaSur, 2019)

Con base en la información expuesta, se procedió a indagar las principales características de cada etapa de la gestión de residuos en las comunas especificadas en la tabla 16, sumando a las municipalidades de Casablanca y Talca, las cuales están realizando la construcción de sus plantas de compostaje. A continuación, en la tabla 18, se detalla la ficha técnica de los municipios seleccionados comparándolos con los de la comuna de Los Vilos.

Comuna/Municipalidad	Población total	Población urbana	Población rural	Superficie comunal (km²)	Región
Los Vilos	21.382	17.094	4.288	1.823,8	IV
Viña del Mar	334.248	334.248	0	120,6	V
San Antonio	91.350	86.569	4.781	398,5	V
La Pintana	177.335	177.335	0	30,5	Metropolitana
Santa Juana	13.749	9.594	4.155	779,2	VIII
Talcahuano	151.749	150.320	1.429	93,2	VIII
Casablanca	26.867	18.002	8.865	954,6	V
Talca	220.357	210.91	9.441	232,0	VII

Tabla 18: Ficha técnica comunas seleccionadas

(Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, 2019)

A partir de la tabla 18, se puede apreciar que de los 7 municipios que valorizan sus residuos orgánicos, Casablanca y Santa Juana poseen características similares a la comuna de Los Vilos en cuanto a la población total en el territorio. Finalmente, a partir del informe "Asesoría sobre el manejo de residuos orgánicos generados a nivel municipal en Chile" y consultas telefónicas con los municipios seleccionados, se obtuvo información relativa a la

recolección y transporte de los residuos orgánicos y las características principales de la planta de compostaje. A continuación, en las tablas 19 y 20, se consolida la información levantada.

Principales características del servicio de recolección y transporte de recolección selectiva				
Comuna	Operador	Frecuencia de recolección semanal	Duración del contrato	Modo de pago
Viña del Mar	Mixto	4 veces	6	Fijo mensual
San Antonio	Privado	5 veces	6	Fijo mensual
La Pintana	Privado	3 veces	4	Fijo mensual
Santa Juana	Mixto	2 veces	1	Fijo mensual
Talcahuano	Privada	3 veces	8	Fijo mensual
Casablanca	Municipal	2 veces	No aplica	No aplica
Talca	Mixto	6 veces	6 años	Fijo mensual

Tabla 19: Principales características del servicio de recolección y transporte de RSM.

(Fuente: Elaboración propia)

Principales características de la planta de compostaje						
Comuna	Estado	Administración	Superficie destinada a la operación	Estimación anual de residuos orgánicos tratados o esperados	Rendimiento (Compost generado)	Financiamiento
Viña del Mar	Operativa	Municipal	Se realiza en el parque Sausalito	1.630 toneladas	9,82%	Gobierno Regional
San Antonio	Operativa	Municipal	2.086 m²	576 toneladas	2,26%	SUBDERE y fondos municipales
La Pintana	Operativa	Municipal	5.000 m²	7.300 toneladas	25%	SUBDERE y Gobierno Regional
Santa Juana	Operativa	Municipal	2.566 m²	432 toneladas	48%	SUBDERE y Gobierno Regional

Talcahuano	Operativa	Municipal	1.911 m²	262 toneladas	30%	SUBDERE y Programa “Reciclo Orgánico
Casablanca	En construcción	Municipal	23.200 m²	2.574 toneladas	No aplica	Gobierno Regional y fondos municipales
Talca	En construcción	Municipal	2.070 m²	6.000 toneladas	No aplica	SUBDERE, Gobierno Regional, fondos municipales y programa “Reciclo Orgánico”

Tabla 20: Principales características de la planta de compostaje.

(Fuente: Elaboración propia)

De la tabla 20 se puede calcular que, en promedio, las plantas de compostaje que se encuentran operativas tienen una capacidad de procesamiento de 510,1 toneladas anuales por 1.000 m². Dicho hallazgo se convierte en una nueva hipótesis.

5.3. Propuesta de solución

Se plantea un proyecto de valorización de residuos orgánicos dirigido a la población objetivo, el cual consiste en la construcción de una planta de compostaje.

5.3.1. Localización y tamaño del proyecto

El Plan Regulador de la comuna de Los Vilos data del año 1985 y hasta la fecha no ha sufrido modificaciones, de ahí que, en el territorio urbano, no exista una zona de uso suelo que permita la construcción de una planta de compostaje (Municipalidad de Los Vilos, 2019), sin embargo, la Municipalidad de Los Vilos dispone de un terreno municipal en el sector denominado “INIA”. Dicho terreno está emplazado en una zona no urbana y fuera del plan regulador, aproximadamente a 4 kilómetros de la ciudad. El terreno municipal tiene una superficie de 73,57 hectáreas, se encuentra dividido en dos lotes (B y B-1) y hasta la fecha

se ha destinado parte del terreno para la construcción de 1 cementerio, 1 corral de autos, 1 canil de perros y 2 comodatos.

Paulina Vilches, arquitecta del departamento de SECPLAN (comunicación telefónica, 23 de abril, 2020) hace alusión a que, actualmente, la municipalidad de Los Vilos se encuentra actualizando el Plan Regulador, el cual busca integrar el sector "INIA" habilitando el uso de suelo para actividad industrial. Por consiguiente, se propone construir la planta de compostaje en el lote B-1, frente al corral de autos distinguido por la letra C en la ilustración 14, al cual se puede acceder tomando la antigua ruta 5 norte y luego ingresar tomando el camino de servidumbre que posee un ancho de 5 metros, el cual atraviesa el terreno municipal.

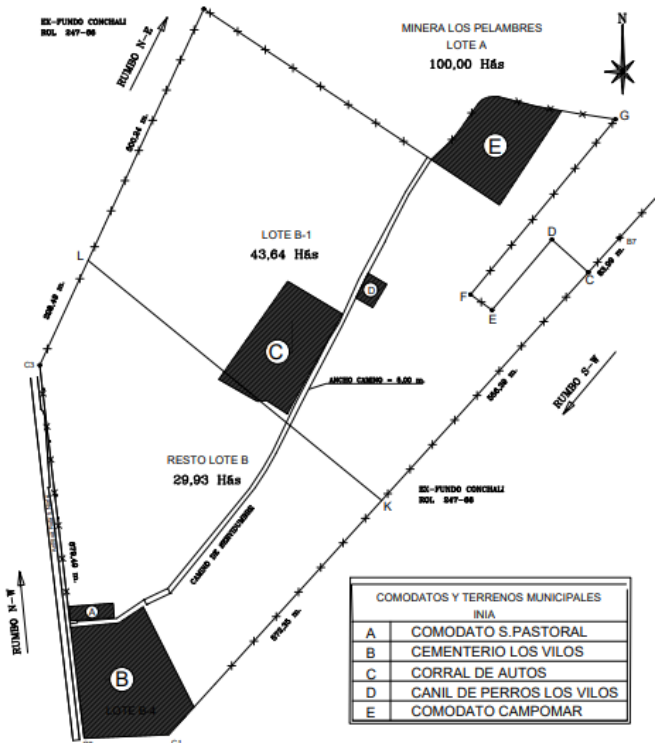

Ilustración 14: Terreno municipal INIA.

(Fuente: Departamento SECPLAN – Municipalidad de Los Vilos)

Dado que la comuna de Casablanca es similar a la comuna de Los Vilos en cuanto a número de habitantes, se toma de referente la cantidad de toneladas anuales de residuos orgánicos que ellos esperan compostar luego de que su planta de compostaje termine la etapa de construcción. Por consiguiente, la planta de compostaje propuesta estará diseñada para procesar como máximo 2.049 toneladas anuales de materia orgánica, siendo la superficie total del predio donde se emplazará el proyecto de 5.000 m². Sin embargo, para la ejecución del proyecto, sólo se emplearán 4.013 m², considerando una vida útil de 20 años.

5.3.2. Ingeniería del proyecto

Como materia prima para el proceso de compostaje se utilizará materia orgánica que provendrá de la fracción de orgánicos o materia vegetal que estará presente en los residuos sólidos urbanos (RSU) que se generan en la ciudad de Los Vilos, la cual será segregada en origen; asimismo, las que provengan de ferias libres y/o establecimientos comerciales de características similares y restos de poda que se llevarán a cabo principalmente en plazas y jardines existentes en la ciudad. Por esto último, los residuos a compostar serán recolectados de manera diferenciada en contenedores habilitados en distintas zonas de la ciudad, y para lo cual se instruirá y capacitará tanto a la comunidad como al personal que realizará la recolección, para que puedan identificar, en términos generales, los materiales susceptibles a compostar.

Dado lo anterior, se dispondrán 9 contenedores color café de 1100 litros para el depósito de residuos vegetales en distintos puntos estratégicos, los cuales se detallan en la tabla 21. Dicha decisión se determinó considerando la cantidad actual de jaulas PET, accesibilidad del camión recolector y afluencia de los habitantes en la ciudad de Los Vilos.

Avenida Caupolicán	1 unidad
Avenida Costanera	2 unidades
Avenida Estación	1 unidad
Calle Galvarino	2 unidades
Lincoyán	1 unidad
Plaza L	1 unidad
1 Norte	1 unidad

Tabla 21: Ubicación contenedores residuos orgánicos.

(Fuente: Elaboración propia)

La etapa de trasporte será de completa responsabilidad municipal, quien trasladará los residuos recolectados hasta la planta de compostaje. Para dicha operación se utilizará un camión exclusivo para el retiro de residuos vegetales, el cual contará con una caja basculante y será operado por un conductor y un auxiliar. El camión retirará la basura 3 veces por semana: lunes, miércoles y viernes. Esta elección de sustenta en principalmente dos motivos. Primero, para cumplir la meta de toneladas de material compostable y, segundo, por la operación de la feria libre en la localidad.

Al momento de ingresar el camión a la planta, primero se realizará una inspección visual del material que trasportaron. Los residuos orgánicos vegetales no pueden estar contaminados con materiales no compostables, por lo cual se recepcionarán sólo cargas en óptimas condiciones para ser procesadas; por el contrario, se rechazarán las cargas con presencia de residuos no compostables e inorgánicos, siendo éstas despachadas al vertedero municipal.

La administración y operación de la planta será municipal, y se llevará a cabo con 1 administrativo, 4 operarios y 1 guardia. La tecnología que se usará para el compostaje se basará en pilas abiertas con aireación por volteo y la infraestructura de la planta de compostaje municipal considerará la implementación de un sistema de recuperación de lixiviados a través de canaletas ubicadas en los bordes de las pilas, dirigidas hacia un estanque. Este líquido resultante es recuperado y reincorporado en el proceso de humectación de las pilas de compost durante las diferentes etapas del compostaje. Por otra parte, la construcción considera una superficie sin cubierta y otras con cubierta de estructura metálica tipo galpón. A continuación, se definen las diferentes áreas de proceso.

a) Área de Descarga

Se encontrará ubicada al interior del galpón y, dependiendo de la materia prima a descargar desde el camión, la recepción de ésta se realizará en la zona de acopio de podas y ramas o en la zona de mezcla de materia prima.

b) Área Triturado

Las podas y ramas que llegarán a la zona de acopio serán trituradas utilizando una máquina chipeadora para reducir su tamaño. El área de triturado se encontrará a un costado del área de descarga.

c) Mezclado de materia prima

Se homogenizarán los materiales que serán incorporados en la formación de las pilas de compostaje. Luego, el material chipeado y mezclado se trasladará a la zona de compostaje.

d) Área de compostaje

Se formarán pilas que se compondrán de capas considerando, en forma secuencial, primero una capa base de material chipeado seco, luego material húmedo y así sucesivamente hasta obtener un alto máximo de 2 metros, un ancho de 4 metros y una longitud de 20 metros. Los volteos se llevarán a cabo mediante un cargador frontal, además, se controlarán y registrarán los parámetros de temperatura y humedad mediante un termómetro.

e) Área producto terminado

Superficie destinada para acopiar el material compostado en su etapa de maduración el cual se llevará a cabo al interior del galpón, de manera que el compost quede protegido de las condiciones climáticas.

c) Área de clasificado

El tamizado del compost se realizará una vez que el compost esté maduro y se utilizará una Criba de Tambor para garantizar la granulometría requerida para su uso, mientras que el material restante que no cumpla con la norma será devuelto para ser compostado nuevamente. El compost producido será utilizado como abono en áreas verdes y jardines de la comuna de Los Vilos.

Para finalizar, de forma de ilustrar el proceso productivo que se realizará en la planta de compostaje municipal desde la recepción de la materia hasta su despacho, se elaboró el siguiente flujograma:

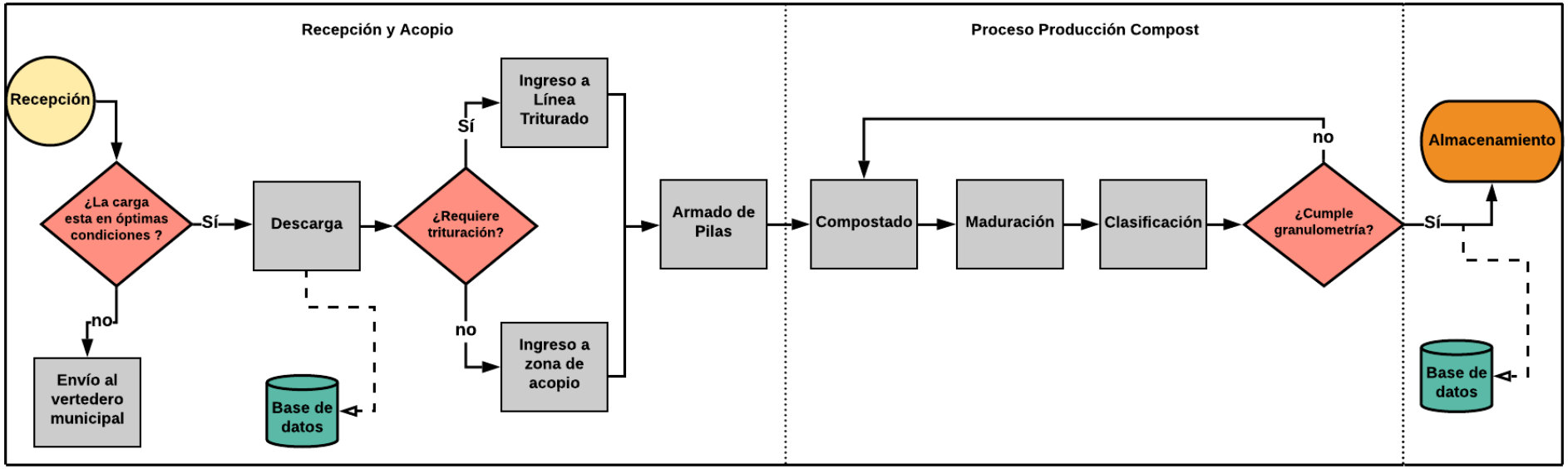

Ilustración 15: Flujograma del Proceso Productivo en Planta de Compostaje.

(Fuente: Elaboración propia)

5.3.3. Requerimientos legales

1) Normativa ambiental aplicable al proyecto

Conforme a la letra o.5) del artículo 3º del Decreto Supremo N°40/2012, "Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental", el proyecto deberá someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), debido a que constituye una actividad susceptible de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases. El instrumento de evaluación que se debe aplicar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). La tabla 22 indica los contenidos mínimos de una DIA, la cual se ingresa al portal web del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en el módulo "Trámites en Línea".

Descripción del proyecto.
Determinación y justificación del área de influencia (AI) y su descripción general.
Antecedentes que justifiquen la inexistencia de ECC art. 11 Ley 19.300.
Plan de prevención de contingencias y Plan de emergencias, cuando corresponda.
Plan de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable: normativa y permisos ambientales sectoriales.
Descripción de compromisos ambientales voluntarios, si se contemplan.

Tabla 22: Contenidos mínimos de una DIA.

(Fuente: Servicio de Evaluación Ambiental, 2020)

Dadas las características y naturaleza del proyecto no se generarían efluentes, emisiones o residuos que presenten riesgo para la salud de la población, ya que estos residuos serán tratados mediante una Planta de Compostaje de residuos vegetales, la cual cumplirá con la normativa ambiental vigente, por lo que no le resulta aplicable al artículo 11 de la Ley N°19.300. La tabla 23 indica las normativas ambientales aplicables al proyecto.

Normativa aplicable	Componente ambiental regulado
D.S. N°146/97 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.	Establece norma de emisión de ruidos molestos generados por Fuentes Fijas. Entrega los niveles máximos permitidos de emisión sonora generados por fuentes fijas para la comunidad.
D.S. Nº594/99 Mod. 201/2001 del Ministerio de Salud.	Establece reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.
D.S. Nº144/61 del Ministerio de Salud.	Establece normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza.
D.S. N°75/87 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.	Regula el transporte de desperdicios o materiales que produzcan polvo u otros materiales ya sean sólidos o líquidos que puedan escurrirse o caer al suelo
NCh 2880 Norma Chilena de Compost.	Requisitos analíticos del compost y de las materias primas para compostaje.

Tabla 23: Normativa ambiental aplicable al proyecto.

(Fuente: Elaboración propia)

El proceso de evaluación culmina con una resolución que califica ambientalmente el proyecto evaluado, aprobándolo o rechazándolo (RCA[6]).

2) Autorización de uso de suelo

Dado que la planta de compostaje se emplazará en el terreno municipal ubicado aproximadamente a 4 kilómetros de la ciudad y el cual la municipalidad de Los Vilos busca integrar a la nueva actualización del Plan Regulador Comunal para habilitarlo al uso industrial, no sería necesario realizar el trámite de Cambio de Uso Suelo. Sin embargo, se

[6] Resoluciones de Calificación Ambiental

debe considerar que la Zona I, la cual permite este tipo de construcción, estipula ciertos requerimientos, los cuales se detallan en la tabla 24.

Superficie predial mínima	700 m²
Frente predial mínimo	12 m
Porcentaje máximo de ocupación de suelo	50%
Distanciamientos mínimos a los Medianeros	3 m
Altura máxima de edificación	Libre

Tabla 24: Requerimiento usos de las industrias y bodegas molestas.

(Fuente: Municipalidad de Los Vilos, 2020)

Para la aprobación de la construcción de la planta de compostaje en dicho terreno se debe concurrir a la Dirección de Obras Municipales y presentar el plano de ubicación con base en las coordenadas georreferenciadas y copia de la Escritura o Certificado de dominio Vigente.

3) Saneamiento Básico

Dado que el terreno no cuenta con alcantarillado ni tendido eléctrico, se realizarán las conexiones necesarias para contar con agua potable, electricidad y alcantarillado, por otra parte, la planta contempla la construcción de un área administrativa, un sector para cambio de ropa y otro para servicios higiénicos, todo de acuerdo con lo establecido en el DS 594/99 del Ministerio de Salud, “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo”. El trámite se debe realizar en la Seremi de Salud Región de Coquimbo adjuntando la siguiente documentación, entre otros, expuestos en la tabla 25, la cual estará sujeta a aprobación:

Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto evaluado ambientalmente a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).
Certificado de uso de suelo, informaciones previas o zonificación otorgado por la Municipalidad correspondiente.
Certificado de Dotación Agua Potable y Alcantarillado
Instalaciones sanitarias, servicios higiénicos, duchas, guardarropía, comedor.
Plano de la planta de compostaje.

Tabla 25: Documentación "Código Sanitario".

(Fuente: Seremi de Salud Región de Coquimbo, 2020)

4) Solicitud de autorización de vehículos de trasporte de residuos domiciliarios y asimilables.

El trámite se debe realizar en la Seremi de Salud Región de Coquimbo en donde se debe hacer entrega de una Memoria Técnica en la cual se especifique los siguientes aspectos:

Identificación el vehículo, con la marca, modelo, color, año, placa patente y capacidad.
Número de personas a trabajar en la actividad.
Medidas de prevención adoptadas por la empresa respecto del manejo, recolección y transporte de residuos.
Indicar el lugar de aparcamiento del vehículo.
Incluir programa de saneamiento del vehículo.

Tabla 26: Documentos Memoria Técnica.

(Fuente: Seremi de Salud Región de Coquimbo, 2020)

5.3.4. Financiamiento

Para financiar el proyecto de valorización de residuos orgánicos compostables, se postulará al Programa Mejoramiento de Barrios (PMB) liderado por la Subsecretaría de

Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) y la Circular 33 dirigida al Gobierno Regional de Coquimbo (GORE) (ver ilustración 16). En tanto, el financiamiento que no logre ser cubierto tendrá que ser costeado por recursos del Fondo Municipal.

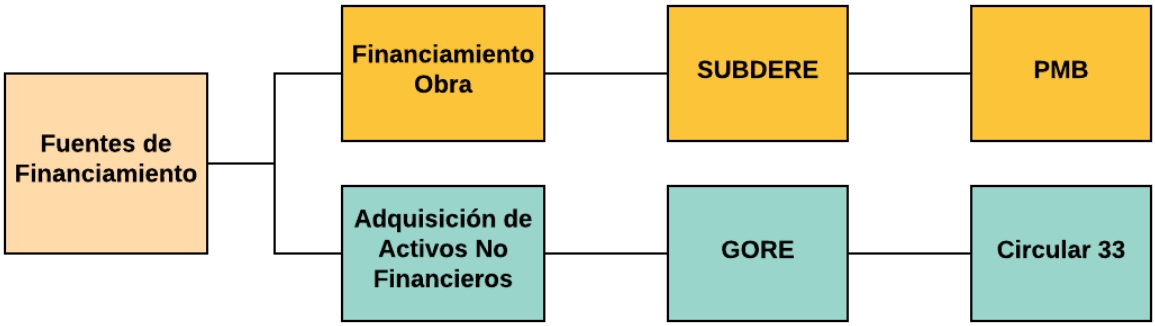

Ilustración 16: Fuentes de Financiamiento.

(Fuente: Elaboración propia)

- PMB

Al momento de realizar la postulación se debe identificar el subprograma del proyecto y tipología de acción a través del cual se está solicitando el financiamiento, que en dicho caso se trataría de un PMB, Residuos Sólidos (RS) – Obra. La presentación del proyecto debe ser ingresada a Subdere en Línea por el municipio, para lo cual debe acceder al módulo "Presentación de Proyectos" y adjuntar todos los antecedentes y documentación requerida, entre ellas, el informe técnico que fundamente las razones de la solicitud, Carta Gantt del proyecto a financiar, presupuesto detallado y firmado, certificado de propiedad del terreno, entre otros (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2019).

Una vez ingresado el proyecto, la Unidad Regional Subdere de Coquimbo, revisa los antecedentes presentados por el municipio y una vez analizados los documentos, de ser

aprobados, envía los antecedentes vía sistema a la Unidad Nacional PMB, luego dicha unidad será la responsable de la evaluación del proyecto. La aprobación de recursos asociados al proyecto se informa al municipio mediante la Resolución de trasferencia de recursos, lo que se realiza a través de Subdere en Línea. Una vez subida la Resolución al sistema totalmente tramitada, pasará al estado "Aprobado" (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2019).

Una vez aprobados los recursos que financiarían el proyecto postulado, el municipio pasará a ser ejecutor y quedará sujeto a las siguientes funciones (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2019):

- Licitar, Adjudicar, Contratar.
- Enviar un informe mensual de los recursos trasferidos.
- Llevar el control financiero y contable.
- Supervisar el cumplimiento de los contratos.

Por último, es responsabilidad del ejecutor solicitar el cierre del proyecto en el módulo habilitado en Subdere en Línea para tales efectos.

- Circular 33, Adquisición de activos no financieros

El proceso de admisibilidad se efectuará en la División de Análisis y Control de Gestión, área de inversiones, donde se verifican los antecedentes que forman parte de la iniciativa de inversión ingresada en la carpeta digital del Banco Integrado de Proyecto (BIP) y/o archivo papel, para su evaluación. El proceso de admisibilidad contempla la revisión de la siguiente documentación (Gobierno Regional Coquimbo, 2020):

- Oficio conductor del municipio que presente el proyecto dirigido al Gobierno Regional.
- Ficha IDI a moneda del año presupuestario, incorporando a la descripción la cantidad de activos que están solicitando, el uso que se le dará al activo en la comuna y la vida útil que este posee.
- Perfil del proyecto dependiendo de la tipología correspondiente, en tal caso vehículos y máquinas y equipos.
- Ficha Resumen, la cual contiene los puntos anteriores y entre otros documentos, un cuadro comparativo de cotizaciones.

Todos los antecedentes deberán ser ingresados a través de una carpeta o archivador con la correcta compaginación para facilitar su revisión y en hoja tamaño oficio. El Gobierno Regional, posterior al proceso de evaluación, enviará un informe con el resultado al municipio. Por otro lado, con las iniciativas que dispongan de Informe Favorable, el Gobierno Regional preparará una cartera para ser presentada al Consejo Regional (CORE), para aprobar su financiamiento con el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), posteriormente las iniciativas aprobadas por el CORE se identifican presupuestariamente y nombrará la Unidad Técnica para su ejecución (Gobierno Regional Coquimbo, 2020).

5.4. Evaluación del proyecto

La evaluación del proyecto se realizará bajo la hipótesis que se desarrolla en un ambiente normal. El enfoque por utilizar es de costo-beneficio.

5.4.1. Cuantificación y valorización de beneficio

Para obtener el beneficio por ahorro de costos en procesos internos se consideran 3 escenarios, uno optimista, uno promedio y uno pesimista, los cuales están dados por la información recabada en el ítem 5.2 en cuanto a los rendimientos obtenidos por 5 plantas de compostaje que actualmente operan en diversas comunas de Chile. Se define bajo hipótesis que el rendimiento de cada escenario es: 48%, 23%, 2.3% respectivamente. Simultáneamente se consideró la hipótesis de que el primer año de puesta en marcha la planta de compostaje tratará 1.863 toneladas de residuo orgánico compostable con un aumento del 0.5% anual. De este modo para el año 2040 bajo la hipótesis mencionada se espera tratar 2.048 toneladas de residuos orgánicos compostables, es decir, aproximadamente 99.9% de la capacidad de la planta de compostaje, la cual en caso de ser requerido se puede expandir en los 986 m² de terreno que se consideraron de holgura al definir el tamaño del terreno.

Para definir el precio por tonelada de compost en pos de obtener el ahorro que representan para el municipio, se utilizó el criterio de cotización el cual establece que el precio de mercado será admisible solo si es obtenido mediante:

- Licitación pública disponible en el portal de Mercado Público.
- Cotización dirigida al municipio.
- Corresponde al año 2020.

Finalmente, considerando la licitación, ID**:** 3784-15-L120, llevada a cabo en el portal de Mercado Público (2020) en la cual se adjudicó tres sacos de compost de 23 kilos a $18.000 (sin IVA), se define que una tonelada de compost se transa a $264.000 (sin IVA). Dicho valor dentro de la hipótesis se considerará constante en el tiempo, valga la redundancia, durante

todo el horizonte de evaluación. La tabla 27 contiene las toneladas de compost generados en los tres escenarios aplicando la *ecuación 9.*

año	Toneladas tratadas	Escenario Rendimiento (ton)			Ahorro Costo ($)		
		Optimista	Promedio	Pesimista	Optimista	Promedio	Pesimista
2021	1.863	894,4	428,9	42,1	236.113.574	113.216.459	11.117.014
2022	1.873	898,8	431,0	42,3	237.294.142	113.782.541	11.172.599
2023	1.882	903,3	433,1	42,5	238.480.613	114.351.454	11.228.462
2024	1.891	907,9	435,3	42,7	239.673.016	114.923.211	11.284.605
2025	1.901	912,4	437,5	43,0	240.871.381	115.497.827	11.341.028
2026	1.910	917,0	439,7	43,2	242.075.738	116.075.316	11.397.733
2027	1.920	921,5	441,9	43,4	243.286.117	116.655.693	11.454.721
2028	1.929	926,1	444,1	43,6	244.502.547	117.238.971	11.511.995
2029	1.939	930,8	446,3	43,8	245.725.060	117.825.166	11.569.555
2030	1.949	935,4	448,5	44,0	246.953.685	118.414.292	11.627.403
2031	1.959	940,1	450,8	44,3	248.188.454	119.006.364	11.685.540
2032	1.968	944,8	453,0	44,5	249.429.396	119.601.395	11.743.967
2033	1.978	949,5	455,3	44,7	250.676.543	120.199.402	11.802.687
2034	1.988	954,3	457,6	44,9	251.929.926	120.800.399	11.861.701
2035	1.998	959,1	459,9	45,2	253.189.575	121.404.401	11.921.009
2036	2.008	963,8	462,2	45,4	254.455.523	122.011.423	11.980.614
2037	2.018	968,7	464,5	45,6	255.727.801	122.621.481	12.040.517
2038	2.028	973,5	466,8	45,8	257.006.440	123.234.588	12.100.720
2039	2.038	978,4	469,1	46,1	258.291.472	123.850.761	12.161.223
2040	2.048	983,3	471,5	46,3	259.582.929	124.470.015	12.222.030

Tabla 27: Escenarios producción de compost y ahorro generado.

(Fuente: Elaboración propia)

5.4.2. Identificación y cuantificación de los costos

La identificación y cuantificación de los costos se realizó basado en el criterio de cotización el cual establece que los precios de mercado utilizado deben ser extraídos de licitaciones públicas o estudios realizados por otros municipios para los mismos fines, en ambos casos los valores utilizados no deben superar cuatro años de antigüedad. Dado lo anterior, se utilizó el presupuesto desarrollado por la Municipalidad de Talca para la presentación de la Planta de Compostaje Municipal, la cual se encuentra en etapa de construcción (Municipalidad de Talca, 2020) e indagaciones realizadas en la plataforma de Mercado Público.

El terreno en donde se emplazará la planta de compostaje esta avaluado por el Sistema de Impuestos Internos (SII) en $7.886.280. El avalúo indicado ha sido determinado por el SII según el proceso de tasación fiscal para el cálculo de impuesto territorial, de acuerdo con la legislación vigente, y por tanto no corresponde a una tasación comercial de la propiedad (Servicio de Impuestos Internos, 2020). Por otro lado, el costo del proyecto de valorización es corregido a Precios Sociales vigentes, los cuales se encuentran disponibles en el Sistema Nacional de Inversiones para su respectivo ajuste (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2020). Adicionalmente, se emplea la tabla de vida útil fijada por el SII, para bienes físicos del activo inmovilizado (Servicio de Impuestos Internos, 2003).

La tabla 28 indica los costos de inversión asociados al proyecto a precio de mercado sin considerar el impuesto al valor agregado y su vida útil asociada, además, en el caso particular de la sección “Equipamiento” se detalla el modelo cotizado.

		Precio de Mercado ($)	Vida útil (año)
Terreno	5.000 m²	7.886.280	
Obras Civiles	Saneamiento sanitario	9.000.000	10
	Preparación del terreno	44.361.345	
	Construcción Infraestructura	198.109.244	20
Equipamiento	Minicargador frontal - SR220 CASE	28.600.000	15
	Criba de Tambor - Might II SCREEN MACHINE	59.800.000	15
	Chipeadora - Gardenwood DWC22 CHANGCHAI	6.816.400	15
	Termómetro - IAHI935002 HANNA instruments	121.722	7
	Camión Tolva - 1723 año 2017 FORD CARGO	43.500.000	9
	9 contenedores de basura - color café 1100 lts ESE	2.110.086	6
	Computador de escritorio - All in one HP	368.529	6
	Escritorio - Medidas 80x80x75cm	146.576	7
	Silla escritorio - Homy	50.700	7
Consultoría	Incluye capacitación, educación ambiental y sensibilización a la ciudadanía.	19.649.230	

Tabla 28: Costos de inversión.

(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a la operación y mantenimiento, los costos que surgen por este tipo de proyectos son los usuales, principalmente asociados a mantenciones periódicas y rutinarias además de los costos de operación. En cuanto al personal, estos serán contratados mediante

honorarios, contrato que se renueva cada 6 meses; al administrador se le pagará un honorario de $900.000; a los operadores, $700.000; al guardia, $400.000; al chofer, $600.000 y al auxiliar, $450.000 (valor bruto). Por otro lado, el precio del combustible se considera a $878 por litro. Cabe mencionar que el guardia debe acreditar el curso de Guardia de Seguridad OS10 y el chofer poseer licencia de conducir A4. El detalle de los costos anuales sin considerar IVA se encuentra en la tabla 29.

		Precio de Mercado ($)
Gastos en personal	1 administrativo	10.800.000
	4 operadores planta de compostaje	33.600.000
	1 guardia	4.800.000
	1 chofer	7.200.000
	1 auxiliar	5.400.000
Gastos operacionales	Energía eléctrica	1.800.000
	Agua	1.200.000
	Internet	360.000
	Teléfono	360.000
	Combustible	12.000.000
	Malla Raschel – 4.2 x 100 mts	256.000
Mantención y reparaciones	Servicio de aseo y mantención planta	4.800.000
	Insumos de aseo	2.400.000
	Insumos y materiales de oficina	600.000
	Mantención camión	1.480.080
	Mantención de maquinarias	3.000.000

Tabla 29: Costos anuales de operación y mantenimiento.

(Fuente: Elaboración propia)

Por último, para realizar una correcta evaluación social de los proyectos se requiere valorizar los costos, utilizando precios sociales. El objetivo de la estimación de los precios sociales es disponer de valores que reflejen el verdadero beneficio o costo para la sociedad de utilizar unidades adicionales de recursos durante la ejecución y operación de un proyecto de inversión. Para realizar dicha conversión se siguió la metodología disponible en el Sistema Nacional de Inversiones (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2020) y considerando los siguientes supuestos:

- Tasa arancelaria promedio = 6%
- Construcción= 60% material y 40% mano de obra.
- Equipamiento= 70% material y 30% mano de obra.
- Consultoría= 50% material y 50% mano de obra.
- Mantención planta de compostaje= 5 horas cada dos semanas.
- Mantención camión= 3 horas semanales.
- Mantención maquinarias= 6 horas semanal.
- Trayecto camión recolector= 25 kilómetros por turno.
- Tipo de camión= 2 ejes.
- Cambio de neumático por norma= 50.000 kilómetros
- Combustible total para la operación= 1.139 litros mensuales.

La tabla 30 presenta los resultados obtenidos una vez aplicada la corrección a precios sociales vigentes para el año 2020 (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2020).

	Precio social ($)
Inversión	
Terreno	7.886.280
Obras Civiles	218.883.796
Equipamiento	105.117.585
Consultoría	19.256.245
Operación y mantenimiento	
Gastos en personal	44.940.000
Gastos operacionales	10.057.815
Mantención y reparaciones	11.791.452

Tabla 30: Costos a Precios Sociales.

(Fuente: Elaboración propia)

5.5. Flujo de beneficios netos

Los supuestos utilizados para la confección del flujo de beneficios netos del proyecto de valorización son los siguientes:

- El gasto en personal tendrá un incremento de 1% anual
- Los gastos operacionales tendrán un incremento de 0.5% anual.
- Los gastos en mantención y reparaciones tendrán un incremento de 0.8% anual.

5.5.1. Análisis de rentabilidad

El análisis de rentabilidad permite estimar los indicadores que servirán de guía para la toma de decisión y recomendación de ejecución del proyecto, su reformulación o su rechazo. La tabla 31 indica el Valor Actual Neto Social (VANS) y la Tasa Interna de Retorno Social (TIRS) para cada escenario previsto, para los cuales se encuentra el detalle de los

beneficios netos del proyecto de valorización, considerando el horizonte de evaluación de 20 años, en las tablas 32 (optimista), 33 (promedio) y 34 (pesimista).

	VANS	TIRS
Escenario optimista	$1.604.928.355	48%
Escenario promedio	$140.244.250	11%
Escenario pesimista	-$1.076.573.845	-
Tasa de descuento de un 6%		

Tabla 31: VANS y TIRS según escenario.

(Fuente: Elaboración propia)

Tanto en el escenario optimista como en el promedio se obtuvo un VANS positivo, lo que indica que es conveniente la ejecución del proyecto, con una rentabilidad promedio de 48% y 11% respectivamente, siendo en ambos casos la TIRS mayor que el coste de oportunidad (6%). En el caso del escenario pesimista el VANS es negativo, por lo que indicaría que la inversión no es rentable. No obstante, al tomar la decisión sobre la ejecución del proyecto, deben considerarse todos los beneficios que no pudieron ser debidamente cuantificados y valorados.

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Inversión										
Terreno	7.886.280									
Obras civiles	218.883.796									
Equipamiento	105.117.585						2.060.483	267.688		26.093.515
Consultoría	19.256.245									
Valor residual										
Total Inversión	351.143.907						2.060.483	267.688		26.093.515
Beneficios										
Ahorro compost		236.113.574	237.294.142	238.480.613	239.673.016	240.871.381	242.075.738	243.286.117	244.502.547	245.725.060
Total Beneficios		236.113.574	237.294.142	238.480.613	239.673.016	240.871.381	242.075.738	243.286.117	244.502.547	245.725.060
Costos										
Gastos en personal		44.940.000	45.389.400	45.843.294	46.301.727	46.764.744	47.232.392	47.704.716	48.181.763	48.663.580
Insumo operación		10.057.815	10.108.104	10.158.645	10.209.438	10.260.485	10.311.787	10.363.346	10.415.163	10.467.239
Mantención y reparaciones		11.791.452	11.885.784	11.980.870	12.076.717	12.173.331	12.270.717	12.368.883	12.467.834	12.567.577
Total Costos		66.789.267	67.383.288	67.982.809	68.587.882	69.198.560	69.814.896	70.436.945	71.064.760	71.698.396
Beneficios netos	**-351,143,907**	**169.324.307**	**169.910.854**	**170.497.804**	**171.085.134**	**171.672.821**	**170.200.359**	**172.581.484**	**173.437.787**	**147.933.149**

	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Inversión											
Terreno											
Obras civiles											
Equipamiento			2.060.483		267.688	76.695.899			28.153.998		
Consultoría											
Valor residual											-72.837.452
Total Inversión			2.060.483		267.688	76.695.899			28.153.998		-72.837.452
Beneficios											
Ahorro compost	246.953.685	248.188.454	249.429.396	250.676.543	251.929.926	253.189.575	254.455.523	255.727.801	257.006.440	258.291.472	259.582.929
Total Beneficios	246.953.685	248.188.454	249.429.396	250.676.543	251.929.926	253.189.575	254.455.523	255.727.801	257.006.440	258.291.472	259.582.929
Costos											
Gastos en personal	49.150.216	49.641.718	50.138.135	50.639.517	51.145.912	51.657.371	52.173.945	52.695.684	53.222.641	53.754.868	54.292.416
Insumo operación	10.519.575	10.572.173	10.625.034	10.678.159	10.731.550	10.785.208	10.839.134	10.893.329	10.947.796	11.002.535	11.057.548
Mantención y reparaciones	12.668.117	12.769.462	12.871.618	12.974.591	13.078.388	13.183.015	13.288.479	13.394.787	13.501.945	13.609.961	13.718.840
Total Costos	72.337.909	72.983.354	73.634.787	74.292.267	74.955.850	75.625.594	76.301.557	76.983.800	77.672.382	78.367.363	79.068.804
Beneficios netos	**174.615.777**	**175,205.100**	**173.734.126**	**176.384.276**	**176.706.388**	**100.868.083**	**178.153.966**	**178.744.000**	**151.180.060**	**179.924.109**	**253.351.577**

Tabla 32: Beneficios netos del proyecto - escenario optimista.

(Fuente: elaboración propia)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Inversión										
Terreno	7.886.280									
Obras civiles	218.883.796									
Equipamiento	105.117.585						2.060.483	267.688		26.093.515
Consultoría	19.256.245									
Valor residual										
Total Inversión	351.143.907						2.060.483	267.688		26.093.515
Beneficios										
Ahorro compost		113.216.459	113.782.541	114.351.454	114.923.211	115.497.827	116.075.316	116.655.693	117.238.971	117.825.166
Total Beneficios		113.216.459	113.782.541	114.351.454	114.923.211	115.497.827	116.075.316	116.655.693	117.238.971	117.825.166
Costos										
Gastos en personal		44.940.000	45.389.400	45.843.294	46.301.727	46.764.744	47.232.392	47.704.716	48.181.763	48.663.580
Insumo operación		10.057.815	10.108.104	10.158.645	10.209.438	10.260.485	10.311.787	10.363.346	10.415.163	10.467.239
Mantención y reparaciones		11.791.452	11.885.784	11.980.870	12.076.717	12.173.331	12.270.717	12.368.883	12.467.834	12.567.577
Total Costos		66.789.267	67.383.288	67.982.809	68.587.882	69.198.560	69.814.896	70.436.945	71.064.760	71.698.396
Beneficios netos	**-351.143.907**	**46.427.192**	**46.399.253**	**46.368.645**	**46.335.329**	**46.299.267**	**44.199.937**	**45.951.060**	**46.174.211**	**20.033.255**

	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Inversión											
Terreno											
Obras civiles											
Equipamiento			2.060.483		267.688	76.695.899			28.153.998		
Consultoría											
Valor residual											-72.837.452
Total Inversión			2.060.483		267.688	76.695.899			28.153.998		-72.837.452
Beneficios											
Ahorro compost	118.414.292	119.006.364	119.601.395	120.199.402	120.800.399	121.404.401	122.011.423	122.621.481	123.234.588	123.850.761	124.470.015
Total Beneficios	118.414.292	119.006.364	119.601.395	120.199.402	120.800.399	121.404.401	122.011.423	122.621.481	123.234.588	123.850.761	124.470.015
Costos											
Gastos en personal	49.150.216	49.641.718	50.138.135	50.639.517	51.145.912	51.657.371	52.173.945	52.695.684	53.222.641	53.754.868	54.292.416
Insumo operación	10.519.575	10.572.173	10.625.034	10.678.159	10.731.550	10.785.208	10.839.134	10.893.329	10.947.796	11.002.535	11.057.548
Mantención y reparaciones	12.668.117	12.769.462	12.871.618	12.974.591	13.078.388	13.183.015	13.288.479	13.394.787	13.501.945	13.609.961	13.718.840
Total Costos	72.337.909	72.983.354	73.634.787	74.292.267	74.955.850	75.625.594	76.301.557	76.983.800	77.672.382	78.367.363	79.068.804
Beneficios netos	**46.076.383**	**46.023.010**	**43.906.125**	**45.907.135**	**45.576.862**	**-30.917.091**	**45.709.866**	**45.637.680**	**17.408.208**	**45.483.398**	**118.238.662**

Tabla 33: Beneficios netos del proyecto - escenario promedio.

(Fuente: Elaboración propia)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Inversión										
Terreno	7.886.280									
Obras civiles	218.883.796									
Equipamiento	105.117.585						2.060.483	267.688		26.093.515
Consultoría	19.256.245									
Valor residual										
Total Inversión	351.143.907						2.060.483	267.688		26.093.515
Beneficios										
Ahorro compost		11.117.014	11.172.599	11.228.462	11.284.605	11.341.028	11.397.733	11.454.721	11.511.995	11.569.555
Total Beneficios		11.117.014	11.172.599	11.228.462	11.284.605	11.341.028	11.397.733	11.454.721	11.511.995	11.569.555
Costos										
Gastos en personal		44.940.000	45.389.400	45.843.294	46.301.727	46.764.744	47.232.392	47.704.716	48.181.763	48.663.580
Insumo operación		10.057.815	10.108.104	10.158.645	10.209.438	10.260.485	10.311.787	10.363.346	10.415.163	10.467.239
Mantención y reparaciones		11.791.452	11.885.784	11.980.870	12.076.717	12.173.331	12.270.717	12.368.883	12.467.834	12.567.577
Total Costos		66.789.267	67.383.288	67.982.809	68.587.882	69.198.560	69.814.896	70.436.945	71.064.760	71.698.396
Beneficios netos	**-351.143.907**	**-55.672.253**	**-56.210.689**	**-56.754.346**	**-57.303.277**	**-57.857.532**	**-60.477.647**	**-59.249.912**	**-59.552.765**	**-86.222.356**

	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Inversión											
Terreno											
Obras civiles											
Equipamiento			2.060.483		267.688	76.695.899			28.153.998		
Consultoría											
Valor residual											-72.837.452
Total Inversión			2.060.483		267.688	76.695.899			28.153.998		-72.837.452
Beneficios											
Ahorro compost	11.627.403	11.685.540	11.743.967	11.802.687	11.861.701	11.921.009	11.980.614	12.040.517	12.100.720	12.161.223	12.222.030
Total Beneficios	11.627.403	11.685.540	11.743.967	11.802.687	11.861.701	11.921.009	11.980.614	12.040.517	12.100.720	12.161.223	12.222.030
Costos											
Gastos en personal	49.150.216	49.641.718	50.138.135	50.639.517	51.145.912	51.657.371	52.173.945	52.695.684	53.222.641	53.754.868	54.292.416
Insumo operación	10.519.575	10.572.173	10.625.034	10.678.159	10.731.550	10.785.208	10.839.134	10.893.329	10.947.796	11.002.535	11.057.548
Mantención y reparaciones	12.668.117	12.769.462	12.871.618	12.974.591	13.078.388	13.183.015	13.288.479	13.394.787	13.501.945	13.609.961	13.718.840
Total Costos	72.337.909	72.983.354	73.634.787	74.292.267	74.955.850	75.625.594	76.301.557	76.983.800	77.672.382	78.367.363	79.068.804
Beneficios netos	**-60.710.506**	**-61.297.814**	**-63.951.303**	**-62.489.580**	**-63.361.837**	**-140.400.483**	**-64.320.943**	**-64.943.283**	**-93.725.660**	**-66.206.140**	**5.990.677**

Tabla 34: Beneficios netos del proyecto - escenario pesimista.

(Fuente: Elaboración propia)

6. CONCLUSIONES

En base a los hallazgos y resultados obtenidos en la evaluación del proyecto, se concluye que la ejecución de la planta de compostaje municipal conlleva un beneficio social, por lo cual se recomienda su aplicación.

Distintos países alrededor del mundo tienen sus ojos puestos en implementar políticas o planes de acción que potencien la valoración de sus residuos, debido el alto impacto ambiental que conllevan los procesos productivos lineales, quedando al descubierto los impactos negativos en nuestro ecosistema. En la actualidad, urge desacelerar la contaminación hoy presente y desincentivar las malas prácticas tanto del sector industrial como individual. Un claro ejemplo de ello es la aplicación de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), a la cual 36 naciones se han acogido, incluyendo Chile.

El Gobierno de Chile, durante los últimos años, ha creado diversos incentivos para familiarizar, educar, sensibilizar y concientizar a la población, mediante campañas y fondos concursables, para que tanto los municipios, ONG y otras entidades sin fines de lucro puedan postular y generar proyectos que beneficien a la comunidad. Por lo anterior, también se han desarrollado diversos estudios sobre la materia y realizado alianzas con otros países.

La comuna de Los Vilos actualmente se encuentra en un escenario desfavorable, dado que al Vertedero Municipal le quedan alrededor de 4 años de vida útil. Se proyecta que la generación de residuos aumente a una tasa de 0.5% anual, lo cual es alto considerando la cantidad de habitantes. Dado que no existen empresas recicladoras cercanas con las que el municipio pueda formar convenios o solicitar sus servicios, no se ha diseñado un programa de reciclaje o valorización. En consecuencia, de no generarse un cambio, se espera que para

el año 2040 más de 27.000 toneladas de residuos tendrán como destino final la eliminación. Al mismo tiempo, se aprecia un desinterés por parte de los pobladores por formar parte de los recicladores de base de la comuna debido a la lejanía de las plantas de valorización, las que en su mayor medida se encuentran en la Región Metropolitana.

Dado el diagnóstico de la situación actual que enfrenta la comuna de Los Vilos y considerando el estudio de caracterización de residuos, se determinó que una planta de compostaje generaría un mayor impacto en cuanto a la reducción de toneladas depositadas en el Vertedero Municipal, ya que los residuos orgánicos compostables representan aproximadamente un 26,4% del total. El compostaje es un proceso simple y que requiere de cuidados especiales, pero que genera múltiples beneficios, dado que el producto final entrega nutrientes para los cultivos y áreas verdes. Por consiguiente, la opción de construir una planta de compostaje se hace cada vez más popular entre los municipios. En Chile se tiene conocimiento hasta la fecha de cinco de ellas y dos en etapa de construcción, de donde se obtuvo que en promedio cada 1.000 m² se procesan 510,4 toneladas de residuos orgánicos, predominando la administración directa del municipio por sobre la tercerización y el sistema recolección diferenciada.

Las barreras que dificultan o impiden optar por esta solución es la disponibilidad de terreno, los aspectos legales y el financiamiento. Para el caso de la comuna, estos obstáculos fueron resueltos localizando la planta de compostaje a cuatro kilómetros de la ciudad de Los Vilos, acogiéndose a la legislación vigente e identificando todas las normas que debe cumplir la instalación y, por último, obteniendo financiamiento por parte del Gobierno Regional, postulando a los fondos otorgados por la Circular 33 y PMB. Sin embargo, un factor

importante, y que es determinante en el éxito del proyecto, es la participación ciudadana, por lo cual se destinarán recursos a sensibilizar la población.

Los procesos de recolección, trasporte y tratamiento serán gestionados y administrados por la Municipalidad de Los Vilos, habilitando 9 contenedores de basura orgánica compostable de 1.100 m^3 en distintos puntos estratégicos de la localidad. La recolección y traslado de los residuos se llevará a cabo 3 veces a la semana, operación realizada mediante un camión acondicionado para la operación. El objetivo es que el primer año de operación se traten 1.863 toneladas hasta alcanzar las 2.049 toneladas para el año 2040. Para que dicha meta sea factible, la planta de compostaje tendrá un tamaño de 5.000 m^2 considerando 986.4 m^2 de holgura y estará equipada con las maquinarias y herramientas imprescindibles para su operación, agilizando el proceso productivo. Se generarán 8 puestos de trabajos, cada uno responsable de una actividad, y se aplicarán mantenimientos preventivos semanales.

Finalmente, el compost generado representa un ahorro para el municipio y será utilizado para las áreas verdes de la comuna o usos alternativos. De los tres escenarios previstos, dos resultaron ser favorables. El optimista, con un VANS de $1.604.928.355 y TIRS del 48%, y el promedio, con un VANS de $140.244.250 y TIRS del 11%. Socialmente, la construcción de una planta de compostaje, y todo el sistema de gestión asociado, es favorable para la comunidad no solo por el hecho de que los indicadores de rentabilidad lo respalden, sino porque genera múltiples beneficios, como son crear oportunidades laborales, reducir las toneladas depositadas al Vertedero Municipal, prolongando su vida útil y reduciendo la contaminación, concientizar a los locatarios al hacerlos partícipes y, por último, porque da paso a nuevos incentivos u otros proyectos de valorización.

7. RECOMENDACIONES

- Se aconseja implementar el proyecto de valoración antes de la renovación del contrato con la empresa Crecer, la cual tendrá lugar el año 2022. De este modo se podrá negociar un nuevo valor por los servicios prestados al municipio dado que disminuirá la cantidad de toneladas recolectadas y trasportadas al Vertedero Municipal, reduciendo así los costos y destinando el ahorro al mejoramiento de la planta de compostaje o en campañas de sensibilización a la comunidad.
- Priorizar el compost generado a las zonas rurales que se encuentren más afectadas por la sequía y a los agricultores de la comuna.
- Implementar un programa de educación ambiental y reciclaje en todos los colegios de la comuna.
- Implementar un programa complementario destinado a entregar composteras domiciliarias a las zonas rurales y que considere la capacitación necesaria, para que las familias de sectores más vulnerables puedan reciclar y producir compost en sus hogares.
- Fomentar la incorporación de recicladores de base mediante campañas y facilitando su operación al interior de la comuna.

8. REFERENCIAS

AB Chile (2017). *Manual obtención de autorización sanitaria para trasporte de residuos*.

Aguilar, M., Fernandez, A., García, H., BenMelamed & Saavedra, C. (2019). "Reutilización de plástico como refuerzo para la construcción de aceras." *Revista de Iniciación Científica* 5 (2019): 28-34. Doi: https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.0.2366

AraucaniaDiario (2020). Plan regulador de Lautaro no permitiría instalación de planta incineradora de basura WTE Araucanía. Recuperado de: https://araucaniadiario.cl/contenido/3966/plan-regulador-de-lautaro-no-permitiria-instalacion-de-planta-incineradora-de-ba

BBC (2017). ¿Cuáles son los países de América Latina que generan más basura electrónica y por qué? Recuperado de: https://www.bbc.com/mundo/noticias-42353017

Betancourt, F. (2019). *Estudio de nuevas tecnologías de la construcción con bloques de materiales plásticos reciclados*. (Máster en arquitectura avanzada). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Berenguer, M., Trist, J., & Deas, D. (2006). El reciclaje, la industria del futuro. *Ciencia en su PC*, (3), 1027-2887. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181322792005

Cabildo, M., Claramunt, R., Cornago, M., Escolástico, C., Santos, S., Farrán, M., …, Castillo, D. (2008). *Reciclado y tratamiento de residuos*. Madrid: Editorial UNED.

Cable News Network (2017). Estos son los países de América Latina que más CO2 emiten. Recuperado de: https://cnnespanol.cnn.com/2017/06/08/estos-son-los-paises-de-america-latina-que-mas-co2-emiten/

Careaga, J. A. (1993). *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes* (4ta ed.). Instituto Nacional de Ecología.

Castells, X. E., & de Gracia, L. J. (2012). *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración: Reciclaje de residuos industriales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

CENEM (2017). Expo Latín Pack 2018 exhibirá las novedades para la industria de packaging. Recuperado de: https://www.cenem.cl/detalle-noticia.php?id=159

Centro de Gestión Ambiental y Servicios Crecer SpA (2020). Informe de gestión mensual: marzo 2020.

Coca-Cola (s.f). *Las nuevas "tres R": reducir, reciclar, retornables.*

Comisión Europea. (2015). Paquete sobre la economía circular: preguntas y respuestas.

CONAMA (2002). *Proyecto Minimización de Residuos provenientes de Envases y Embalajes. Guía técnica para la optimización y minimización de envases.*

CONAMA (2011). *Evaluación económicos, ambientales y sociales de la implementación de la REP en Chile.*

Chile Desarrollo Sustentable (2014). Eco ladrillos se alzan como material sustentable. Recuperado de: http://www.chiledesarrollosustentable.cl/noticias/noticia-pais/eco-ladrillos-se-alzan-como-material-sustentable-de-construccion/

Chung, A. (2003). TECTÁN. Reciclando Tetra Pack. *Industrial Data*, 83-85. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/816/81606110.pdf

Decreto Alcaldicio N°2079 (2012). *Apruebase la renovación del Contrato de Arrendamiento sobre un retazo de terreno, sitio en el denominado Fundo Caracas*. Recuperado de: https://www.munilosvilos.cl/webTransparente/decretos2012/decreto2079.pdf

Decreto Alcaldicio N°3374 (2018). *Adjudica concesión de servicio público*. Recuperado de: https://www.munilosvilos.cl/webTransparente/decretosalcaldicios2018/decretos3374.pdf

D.S. N°40. Diario Oficial de la República de Chile. Santiago de Chile, 06 de octubre de 2014.

D.S N°594. Diario Oficial de la República de Chile. Santiago de Chile, 15 de septiembre de 1999.

Espinal, L. (2016). *Análisis del papel y cartón procedentes del reciclaje para posible aplicación en edificaciones de República Dominicana.* (Máster Universitario en Estudios Avanzados en Arquitectura). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.

Estrategia Sustentable (2019). *Ley REP en Chile: desafíos de la industria y los consumidores.*

Flores, E., & Orellana, E. (2014). *Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas*. (Memoria para optar a título de Ingeniero Mecánico). Universidad del Salvador. San Salvador, El Salvador.

Gallardo, A., Bovea, M., Colomer, F., Carlos, M., & Prades, M. (2008). Estudio de los diferentes modelos de recogida selectiva de residuos urbanos implantados en poblaciones españolas mayores de 50.000 habitantes. Parte I: planteamiento del problema y generación de la encuesta. *Castellón*. Recuperado de: http://www.redisa.net/doc/artSim2008/gestion/A12.pdf

García, G. (2019). *Diseño de una prensa hidráulica para el reciclaje de papel y plástico.* (Tesis para optar a título de Ingeniero Mecánico). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Los Ríos, Ecuador.

Germanwatch (2019). *Índice de Riesgo Climático Global 2019.*

GESCAM (2017). *Antecedentes para la elaboración de análisis económicos de metas de recolección y valorización para los productos prioritarios neumáticos, baterías y aceites lubricantes, contenidos en la ley 20.920*. Recuperado de: https://rechile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/06/6.-Antecedentes-para-la-elaboracion-de-AGIES-sector-automotriz-GESCAM-2017.pdf

Gobierno Regional Coquimbo (s.f). *Autoridades.*

Gobierno Regional Coquimbo (2020). Guía de apoyo formulación iniciativas circular 33 adquisición de activos no financieros.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (2016). *Requisitos ambientales, sanitarios y de uso de suelo, aplicable al emplazamiento y operación de plantas de compostaje u otras tecnologías en la RMS.*

Infraestructura de Datos Espaciales (s.f). Disposición Final de Residuos en la Región de Coquimbo.

Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (2017). *Resultados Población Sexo y edad.* Recuperado de: http://www.censo2017.cl/descargue-aqui-resultados-de-comunas/

Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (2019). *División político administrativa y censal región de coquimbo.* Recuperado de: https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/poblaci%C3%B3n-y-vivienda-coquimbo.pdf

ImplementaSur (2019). *Asesoría sobre el manejo de residuos orgánicos generados a nivel municipal en Chile.*

Ley N°19300. Diario Oficial de la República de Chile. Santiago de Chile, 09 de marzo de 1994.

Ley N°20920. Diario Oficial de la República de Chile. Santiago de Chile, 01 de junio de 2016.

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

López, A., Peña, C., López, V., Lobo, M., & López, A. (2005). La recuperación de los envases de hojalata de los RSU en España: calidad de la chatarra. *Revista de metalurgia.*

Marulanda, J., Sepúlveda C., & Alvarez, M. (2012). Estimación de los Parámetros de un Modelo de un Horno de Arco Eléctrico Usando Máxima Verosimilitud. *TecnoLógicas*, (29), 69-89. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234330005

Mata, A., & Gálvez, C. (2014). *Reciclaje de vidrio.*

Mercado Público (2020). Licitación ID**:** 3784-15-L120

Michelini, G., Moraes, R. N., Cunha, R. N., Costa, J. M., & Ometto, A. R. (2017). From linear to circular economy: PSS conducting the transition. *Procedia CIRP, 64*(1),2-6. Doi: 10.1016/j.procir.2017.03.012.

Millán, F., Sánchez, D., & Olaya, J. (2015). Reciclaje de aluminio: oportunidades de desarrollo en Bogotá (Colombia). *Gestión y Ambiente*, *18*(2), 135-152. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/1694/169443282008.pdf

Ministerio de Desarrollo Social y familia (2013). *Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales.*

Ministerio de Desarrollo Social y familia (2019). *Guía para la formulación y evaluación socioeconómica de proyectos del fondo para reciclaje 2020.*

Ministerio de Desarrollo Social y Familia (2020). *Precios Sociales 2020.*

Ministerio del Medio Ambiente (s.f). *Sistema Sectorial Responsabilidad Extendida del Productor (REP) Categorías y Subcategorías.*

Ministerio del Medio Ambiente (s.f). *Catálogo de empresas de valorización de residuos Región Metropolitana de Santiago.*

Ministerio Secretaría General de Gobierno (s.f). *Fondos por categoría*.

Ministerio del Medio Ambiente (2012). *Evaluación de impacto económicos, ambientales y sociales de la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile.*

Ministerio del Medio Ambiente (2015). *Evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos de la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile aplicada a los aparatos eléctricos.*

Ministerio del Medio Ambiente (2015). Hoy, 36 países utilizan REP como instrumento de gestión de residuos. Recuperado de: https://mma.gob.cl/hoy-36-paises-utilizan-rep-como-instrumento-de-gestion-de-residuos/

Ministerio del Medio Ambiente (2016). *Guía de educación ambiental y residuos*.

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

Ministerio de Energía (2018). *Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana.*

Ministerio del Medio Ambiente (2019). *Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente.*

Municipalidad de Los Vilos (2018). Contrato de Concesión "Servicio de recolección y transporte de residuos sólidos domiciliarios y públicos y administración y operación de Vertedero Municipal". Recuperado de: http://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailsAcquisition.aspx?qs=uKcXYVebqTZQXFgKqKbmDw==

Municipalidad de Los Vilos (2019). *Plan Regulador Comunal Los Vilos.*

Municipalidad de Talca (2020). *Presentación Planta de Compostaje Municipal* [Diapositivas de PowerPoint].

Navarrete, J. (2014). *Aislación térmica en celulosa proyectada, estudio comparativo con otros Sistemas*. (Memoria para optar al Título Profesional Técnico en construcción). Universidad Técnica Federico Santa María. Concepción, Chile.

NCh 2880 (2015). Instituto Nacional de Normalización. Santiago de Chile, 27 de agosto de 2015.

NCh 3376 (2015). Instituto Nacional de normalización. Santiago de Chile, 24 de abril de 2015)

Nones, C. (2019). *Gestión y técnicas de reciclaje polimérico: Estudio del escenario actual, aplicaciones y nuevas tendencias*. (Máster en Construcción Avanzada en la Edificación). Universidad politécnica de Catalunya. Barcelona, España.

Organización Meteorológica Mundial (2019). La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanza un nuevo récord. Recuperado de: https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-concentraci%C3%B3n-de-gases-de-efecto-invernadero-en-la-atm%C3%B3sfera-alcanza

Our World in Data (2019). CO_2 and Greenhouse Gas Emissions. Recuperado de: https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions

Plan de Desarrollo Comunal (2017*). Caracterización diagnostico técnico comunal.*

Power, G. (2007). Materiales metálicos y reciclaje. *Ingeniería Industrial*, (025), 205-222. Doi: 10.26439/ing.ind2007.n025.620

Reciclo Orgánicos (2019). *Guía de compostaje domiciliario: Cómo combatir el cambio climático a través del reciclaje de orgánicos.*

Reyes, H. (2007). *Reciclaje de envases de Tetra Pak: su factibilidad técnica y económica.* (Tesis para optar el grado Académico de Ingeniero Industrial). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, *16*(2), 66-77. Recuperado de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110

Rodríguez, L., Giménez, A. (2014). *Evaluación de los Impactos Ambientales, Sociales y Económicos de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile aplicada a Pilas y Acumuladores*. Recuperado de: https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/Impacto-pilas-2014.pdf

Rojo, L., (2017). *Bases para implementación del sistema de gestión de emergencia ISO 22320 en empresa Ecología Siglo XXI*. (Memoria para optar al Título de Ingeniero en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales). Universidad Técnica Federico Santa María. Viña del Mar, Chile.

Rossem, C.V, Tojo, N., & Lindhqvist, T. (2006). *Extended Producer Responsibility: An examination of itsimpact on innovation and greening products.*

Ruiz, G. D. (2013). Cambio de paradigma en la noción de consumismo. *Revista Educación en Ingeniería, 8*(16), 70-76. Doi:10.26507/rei.v8n16.363

Salmerón Gallardo, Y. A., Cabrera_Cruz, R. B. E., Juarez Lopez, A. L., Sampedro Rosas, M. L., Rosas Acevedo, J. L., Rolon Garcia, J. C., & Valera Perez, M. A. (2017). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos: Huella de Carbono en Acapulco. *Revista Iberoamericana de Ciencias.* Recuperado de: http://www.reibci.org/publicados/2017/feb/2100108.pdf

Sanmartín, G., Zhigue, R., & Alaña, T. (2017). El reciclaje: Un nicho de innovación y emprendimiento con enfoque ambientalista. *Revista Universidad y Sociedad*, *9*(1), 36-40. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v9n1/rus05117.pdf

Seremi Metropolitana de Medio Ambiente (s.f). *Santiago Recicla*.

Seremi del Medio Ambiente de la Región Metropolitana (2018). Municipios son reconocidos por su exitoso manejo de los residuos en sus comunas. Recuperado de: http://santiagorecicla.mma.gob.cl/municipios-son-reconocidos-por-su-exitoso-manejo-de-los-residuos-en-sus-comunas/

Seremi de Salud de Coquimbo (2020). *Guía de Trámite Planta de Tratamiento de Basuras y Desperdicios (Planta de Compostaje).*

Seremi de Salud de Coquimbo (2020). *Guía de Trámite Vehículos de Transportes de Residuos Domiciliarios y Asimilares.*

Servicio de Evaluación Ambiental (s.f). *¿Qué es SEIA?*

Servicio de Evaluación Ambiental (2020). ¿Cuál es el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental?

Servicio de Impuesto Interno (2003). Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado.

Servicio de Impuesto Interno (2020). Cartografía digital SII mapas.

Suazo, B. (2017). *Economía Circular en Chile: Alcances, problemas y desafíos en la gestión de la ley REP*. (Tesis para optar al título de Ingeniero Comercial, Mención Administración). Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (2018). *Diagnóstico nacional y regional sobre generación y eliminación de residuos sólidos*. Recuperado de:

http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/4.6_region_coquimbo_agosto_2018.pdf

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (2019). *Guía operativa PMB 2019.*

Superintendencia del Medio Ambiente (s.f). *¿Qué es SMA?*

Treta Pak (s.f). *Reciclaje y recicladores en Chile.*

Tribunal Ambiental (s.f). *Funciones y Competencia*.

United Nations Global Compact (2016). *La ruta del reciclaje de baterías en Chile.*

Vargas, M. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*. Recuperado de: https://www.scielosp.org/pdf/resp/2005.v79n2/117-127/es

Valenzuela, N. (2019). Factors influencing municipal recycling in the Global South: The case of Chile. *Resources, Conservation and Recycling*, *150*, 104441. Doi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104441

WWF Chile (s.f). *Bases del fondo concursable "Reduce+" 2019 de WWF Chile.*