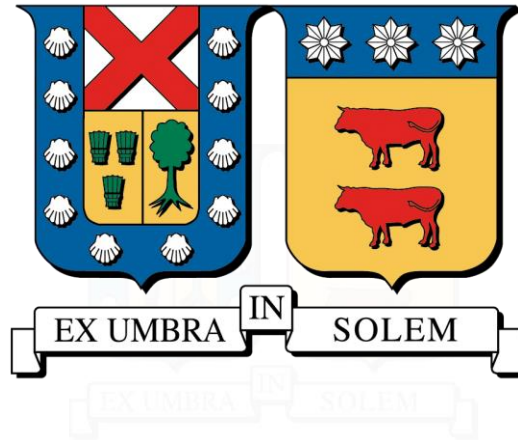


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
VIÑA DEL MAR - CHILE



**PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROGRAMA "SEPARACIÓN EN
EL ORIGEN" DE LA ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE VILLA
ALEMANA**

FELIPE GONZALO MORA SANTA MARÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES Y AMBIENTALES

PROFESOR GUÍA: SR. ENRIQUE CALDERÓN CARMONA.

ENERO 2024

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres, Lucía y Julio, quienes me han dado la vida y me enseñaron los valores que me forjaron como persona, también agradecer a mi hermano Sebastián, quién siempre me cuidó desde pequeño.

Agradezco a mi *Peñi* de toda la vida, Esteban, quién me ayudó en todo el proceso, incluso cuando ya me estaba dando por vencido.

Quiero agradecer a mis amigos del colegio, quienes siempre están presentes, aunque la vida nos lleve para otros rumbos.

Agradecer a mis compañeros de universidad, por siempre apañar en los desvelos y en el estudio.

También quiero agradecer a Nina, mi polola, quién me enseña mucho de la vida.

Además, quiero agradecer a mi familia, me han enseñado que siempre es bueno apoyarse entre nosotros.

Agradecer a la naturaleza que nos entrega tanto y lo sabemos apreciar tan poco.

Dedico este trabajo al lugar donde crecí, donde siempre me siento en casa.

Resumen Ejecutivo

KEYWORDS: Segregación en el origen, residuos domiciliarios, tratamiento de residuos, proyectos de reciclaje.

El presente trabajo de título consistió en establecer acciones estratégicas que aporten a la mejora del programa "Separación en el Origen", utilizando metodologías de análisis de factores internos y externos que afectan directamente en la eficiencia de los procesos de tratamiento de residuos domiciliarios.

Para determinar las acciones estratégicas se aplicó un análisis de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) al proceso operativo del Programa de "Separación en el Origen" (PSO), para luego atribuir una relación cuantitativa entre componentes externos e internos utilizando una escala Likert, la que determina el nivel de relación que se establece entre dos temas según una evaluación previa. Los niveles son del 1 al 5, correspondiendo a "Muy Baja Relación" y "Muy Alta Relación" respectivamente.

Al relacionar qué aspectos internos, Fortalezas y Debilidades, tienen mayor influencia en los aspectos externos, Oportunidades y Amenazas, se determinaron los objetivos estratégicos desde los cuales se desprendieron las estrategias que lograrían cumplir con cada objetivo propuesto.

Las estrategias se formalizaron en una carta Gantt, para luego aplicar una evaluación social del proyecto mediante una metodología del Sistema Nacional de Inversiones (SNI), quienes establecen los principios, metodologías, normas, instrucciones y procedimientos para iniciativas de inversión, con los objetivos de determinar la viabilidad económica de la propuesta y la posible adjudicación de fondos públicos para llevar a efecto.

Índice de Contenidos

Siglas y Simbología	1
Introducción	3
Objetivos	6
Fundamentación	7
Alcance	9
Metodología	11
Capítulo 1: Estado del arte	13
1 Antecedentes Generales	13
1.1 Gestión de Residuos en el mundo	14
1.2 Gestión de Residuos en Latinoamérica	20
1.3 Gestión de Residuos en Chile.....	26
1.4 Gestión de Residuos en la Región de Valparaíso	34
1.5 Gestión de Residuos de Villa Alemana	37
Capítulo 2: Marco teórico y legal	42
2 Marco Teórico.....	42
2.1 Residuos	42
2.2 Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.....	43
2.3 Alterativas tecnológicas para el tratamiento	46
2.4 Marco Legal	56
Capítulo 3: Diagnóstico	60

3	Programa “Separación en el Origen”	60
3.1	Retiro de residuos.....	60
3.2	Clasificación de los residuos	62
3.3	Tratamiento de los residuos separados	63
3.4	Distribución y venta	69
3.5	Diagrama de proceso.....	73
3.6	Resultados del Programa.....	73
3.7	Análisis F.O.D.A.....	76
3.8	Análisis con Escala Likert.....	81
3.9	Discusión.....	83
Capítulo 4: Propuesta de mejora programa “Separación en el Origen” de la IMVA		84
4	Propuesta.....	84
4.1	Alcance Propuesta.....	84
4.2	Objetivo general y estratégicos.....	84
4.3	Estrategias	85
4.4	Evaluación social del proyecto.....	89
Conclusiones y Recomendaciones		98
Anexos		100
1	Anexo 1	101
2	Anexo 2	102
3	Anexo 3	103
Bibliografía		104

Índice de Tablas

1.1	Población atendida por relleno sanitario en la Región Valparaíso	35
1.2	Toneladas y lugar de disposición de residuos de la comuna de Villa Alemana.....	40
1.3	Gasto anual en disposición de residuos de la comuna de Villa Alemana.....	40
3.1	Toneladas recuperadas a pesos por año.....	74
3.2	Toneladas valorizadas en dos años.....	75

Índice de Figuras

1.1	Residuos Generados por Regiones del Mundo	15
1.2	Residuos generados (izquierda) y recolectados (derecha) según nivel de ingresos.	16
1.3	Evolución de la Generación de Residuos por región en el mundo	17
1.4	Disminución en la disposición de basura a relleno sanitario por aumento de otras técnicas en la comunidad europea.....	19
1.5	Relación entre el nivel de ingresos y composición de residuos solidos urbanos en América Latina y el Caribe	21
1.6	Porcentaje de residuos dispuestos según destino	25
1.7	Generación de Residuos por origen en Chile	27
1.8	Recolección y disposición de residuos municipales periodo 2015-2017	28
1.9	Tipo de valorización de residuos a nivel nacional.....	31
1.10	Residuos Eliminados y Valorizados en Chile y en Países de la UE	32
1.11	Residuos generados en Chile según origen	33
1.12	Generación de residuos por categoría de origen y por región	34
1.13	Participación en la disposición final de RSM en la Región de Valparaíso	36
1.14	Disposición (izquierda) y Valorización (derecha) de RSM del Gran Valparaíso	37
1.15	Mapa de distribución de camiones recolectores en la comuna.....	39
2.1	Clasificación de Residuos en Chile.....	43
2.2	Jerarquía de la Gestión de Residuos.....	44
2.3	Clasificación de Residuos por composición y colores	47
2.4	Diagrama proceso de compostaje.....	49
2.5	Diagrama proceso de digestión anaeróbica.....	50
2.6	Diagrama proceso de incineración.....	51

2.7	Diagrama proceso de digestión anaeróbica.....	51
2.8	Diagrama proceso de gasificación.....	52
2.9	Diagrama proceso de pirólisis.....	53
2.10	Diagrama proceso de recolección biogás.....	53
2.11	Comparación de tecnología según tipo de proceso.....	54
2.12	Comparación de tecnología según tipo de proceso.....	55
2.13	Diagrama resumen marco legal.....	59
3.1	Retiro domiciliario y jaulas de acopio.....	61
3.2	Contenedores desplegados en la comuna por institución.....	62
3.3	Clasificación de residuos valorizables por el Programa “Separación en el Origen”.....	63
3.4	Layout dependencias PSO.....	64
3.5	Chipeadora, camas de compost y arneo final.....	65
3.6	Corte de orgánicos, lombriz californiana y camas de vermicompostaje.....	65
3.7	Diagrama de Tratamiento de Residuos Orgánicos.....	66
3.8	Área de recepción y descarga.....	66
3.9	Área de clasificación.....	67
3.10	Compactadora de plásticos y cartón.....	68
3.11	Almacenamiento a la espera de retiro.....	69
3.12	Cuadro resumen distribución de material valorizable.....	71
3.13	Tarifas por kilo de compra de residuos según clasificación.....	72
3.14	Diagrama de Proceso “Separación en el Origen”.....	73
3.15	Recolección de residuos sólidos domiciliarios periodo 2016-2021.....	74
4.1	Cuadro resumen de objetivos estratégicos y sus estrategias.....	88
4.2	Tipos de iniciativas de inversión según etapa de gestión de residuos.....	89
4.3	Costos de Operación y Mantenimiento Semestrales.....	90
4.4	Consolidado identificación de costos.....	91
4.5	Cálculo de indicadores económicos en base a análisis de costos y beneficios.....	95
4.6	Criterios Valor Actual Neto.....	96
4.7	Criterios Tasa Interna de Retorno.....	96

Siglas y Simbología

A continuación, se encuentran las siglas y simbologías utilizadas en el presente trabajo:

- **CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- **CSR:** Combustible Sólido Recuperado.
- **COP:** Contaminantes Orgánicos Persistentes.
- **CONAF:** Corporación Nacional Forestal.
- **DAM:** Dirección Ambiental Municipal.
- **FODA:** Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero.
- **IMVA:** Ilustre Municipalidad de Villa Alemana.
- **INN:** Instituto Nacional de Normalización.
- **LER:** Lista Europea de Residuos.
- **LOCM:** Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades.
- **MMA:** Ministerio del Medio Ambiente.
- **NCH:** Norma Chilena.
- **OCDE:** Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos.
- **ONU:** Organización de las Naciones Unidas.
- **PSO:** Programa Separación en el Origen.
- **PTAS:** Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

-
- **RETC:** Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.
 - **RDF:** Combustible Derivado de Residuos. (*en español*).
 - **RI:** Recuperadores Informales.
 - **RSU:** Residuos Sólidos Urbanos.
 - **RP:** Residuos Peligrosos.
 - **RSM:** Residuos Sólidos Municipales.
 - **RNPM:** Residuos No Peligrosos Municipales.
 - **RNPI:** Residuos No Peligrosos de Origen Industrial.
 - **SNI:** Servicio Nacional de Inversiones.
 - **SCAM:** Sistema de Certificación Ambiental Municipal.
 - **SMA:** Superintendencia del Medio Ambiente.
 - **SEA:** Servicio de Evaluación Ambiental.
 - **SUBDERE:** Subsecretaría de Desarrollo Regional.
 - **SINADER:** Sistema Nacional de Declaración de Residuos.
 - **TMB:** Tratamiento Mecánico Biológico.
 - **TIR:** Tasa Interna de Retorno.
 - **VAN:** Valor Actual Neto.

Introducción

En los últimos decenios del siglo XX y principios del siglo XXI la problemática ambiental relacionada con la contaminación del medio, dificultades de recursos naturales y energéticos se ha manifestado como una crisis de civilización, poniendo en duda la racionalidad económica y tecnológica que predomina. La principal causa de la problemática ambiental se asigna al proceso histórico en el cual nace la ciencia moderna y la revolución industrial, ya que se considera que en ese punto comenzó un ritmo acelerado del uso y explotación de la naturaleza (Dubos, 2023).

En 1984 se reunió por primera vez la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo donde se planteó la probabilidad de obtener un crecimiento económico basado en políticas de sostenibilidad y uso eficiente de recursos naturales, originándose el concepto de desarrollo sustentable, la cual busca promover el equilibrio entre los seres humanos y la naturaleza. Para lograr tal armonía, el desarrollo sustentable comprende cuatro elementos: crecimiento económico, balance ambiental, equidad/responsabilidad y eficiencia de las instituciones públicas (Estenssoro, 2020).

Las municipalidades son instituciones públicas del Estado con la más larga trayectoria en Chile, reconocidas como las más confiables de la administración pública y en que la ciudadanía las considera más cercanas, por lo que, sumado a las amplias atribuciones que poseen y multiplicidad de funciones, hacen de éstas, un órgano absolutamente indispensable para el Estado, ya que contempla directamente los requisitos de los habitantes y al satisfacerlos con la gestión municipal, colaboran en mejorar el escenario del gobierno en general (Le-Feuvre et al., 2020).

Las funciones que ejercen las municipalidades han ido evolucionando conforme a la situación política del país, es así como durante la dictadura cívico militar, los municipios desempeñaban funciones de prestador de servicios básicos, referidos a la salud primaria, educación y programas sociales. Luego, con el inicio del periodo democrático en 1990, las municipalidades asumen nuevas competencias, facultades y disposiciones que antes estaban reservadas a niveles del Estado más central ([Cabrerera, 2022](#)).

La descentralización permite que los municipios comiencen a asumir nuevas responsabilidades relacionados al cuidado del medio ambiente, que hasta hace algunos años, las entendían como algo adicional a sus funciones normales y tenían poca significación, ya que se suponía que a tal nivel de organización pública, poco se podía aportar en dicha materia. Hoy en día se cae en la cuenta de que los municipios son los que tienen un contacto directo con la geografía y el medio ambiente del territorio, por lo que, un mal manejo de los servicios municipales, repercuten profundamente en la calidad de vida de los habitantes ([López-Mateo et al., 2020](#)).

La gestión ambiental se presenta como un instrumento participativo para la resolución de problemáticas de los servicios municipales, ya que se combinan herramientas administrativas, tecnológicas, jurídicas y económicas. Uno de los componentes que comprende la gestión ambiental es la gestión de los residuos sólidos urbanos, que se define como el conjunto de actividades que tienen el objetivo de dar a los residuos producidos por una zona determinada el destino más adecuado posible, desde un punto de vista económico y ambiental ([Luque et al., 2022](#)).

La política ambiental chilena es el mecanismo para la acción pública que establece responsabilidades a los municipios para que estos lleven a la práctica en sus territorios una gestión de residuos sólidos urbanos en los diferentes ámbitos que le competen, siendo función de las municipalidades el brindar un servicio de retiro y tratamiento de residuos que la ciudad genera. La gestión de residuos sólidos urbanos que convencionalmente realizan las municipalidades en Chile se centran en el retiro semanal de estos para posteriormente ser dispuestos en un relleno sanitario autorizado, siendo esta una técnica obsoleta para el cuidado del medio ambiente. ([Gumucio et al., 2021](#))

De manera que exista una eficiente operación en el ejercicio de las funciones ambientales que les competen a los municipios, se deben mejorar los sistemas de manejo de residuos no convencionales relacionados con la segregación en el origen, recolección, transporte y el tratamiento de valorización que se le da al residuo. La Ilustre Municipalidad de Villa Alemana, ha estado implementando un Programa de “Separación en el Origen” liderado por la Dirección Ambiental Municipal, el cual comprende el retiro, transporte y tratamiento de residuos que los vecinos de la comuna clasifican en sus hogares. Este trabajo de título percibirá los métodos que utilizan para el tratamiento de los residuos que recolectan del Programa y empleará un diagnóstico para identificar y proponer mejoras en los procesos que lleva a cabo.

Objetivos

Objetivo General

- Elaborar en base a análisis del tipo cualitativo una propuesta de mejora para el programa de “Separación en el Origen” para la Ilustre Municipalidad de Villa Alemana.

Objetivos Específicos

- Establecer el estado del arte y marco teórico de la gestión de residuos urbanos llevada a cabo en el mundo para conocimiento de las diversas técnicas de tratamiento.
- Diagnosticar el programa “Separación en el Origen” implementado por la municipalidad de Villa Alemana
- Diseñar una propuesta estratégica de mejora para el programa “Separación en el Origen”.

Fundamentación

El volumen de residuos sólidos urbanos, que son generados por las actividades propias de las ciudades, es relativamente pequeño comparado con otras fuentes de generación de residuos, pero la importancia de la gestión de estos se puede justificar por el gran aumento de volumen que ha ocasionado el crecimiento demográfico y los hábitos de consumo, considerándose como un aspecto esencial el abordar un tratamiento y/o eliminación de residuos sólidos urbanos con enfoque ambiental ([Sánchez-Muñoz et al., 2019](#)).

La carencia de un servicio adecuado de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de RSU genera aglomeraciones descontroladas de basura que se divisan en las ciudades, campos, bandejones centrales de carreteras y lugares de esparcimiento, suscitando, aparte de un problema ambiental, un problema sociocultural. En primer lugar, se generan riesgos sanitarios, o sea, aumenta la probabilidad de contraer enfermedades a través del contacto con los desechos y con agentes portadores de enfermedades (roedores e insectos). En segundo lugar, los basureros incontrolados producen impactos negativos, ya que los líquidos lixiviados pueden contaminar cuerpos de agua importantes. Y por último la aglomeración de desechos no biodegradables producen alteraciones de las zonas colindantes, perjudicando los procesos de autogeneración natural de la flora ([Ross Pineda, 2019](#)).

Un residuo sólido es todo aquel que surge de actividades humanas y animales que se desechan como inútiles o no queridos, las cuales, en mayor parte, son reutilizables o reciclables, por lo que dentro del amplio espectro de temas que guardan relación con una problemática de tanta actualidad como es la protección del medio ambiente, el tratamiento de los residuos ocupa un

lugar principal en la gestión ambiental (Tchobanoglous y Burton, 1991).

Los beneficios que trae una debida gestión de residuos sólidos urbanos no solo están relacionados con la disminución de residuos que se depositan en los rellenos sanitarios y al cuidado del medio ambiente en general, sino que también existen beneficios de índole económico en donde un plan de gestión de residuos presenta una gran posibilidad de negocio relacionado a la reutilización y reciclaje, dando la oportunidad de ahorro y aprovechamiento de los presupuestos (Huamaní et al., 2020).

En Chile, aproximadamente el 50 % de los residuos que genera una persona diariamente corresponde a residuos orgánicos que acaban en rellenos sanitarios como tratamiento final, asumiendo que éstos se descomponen de forma natural, lo cual es bastante errado, ya que el proceso de degradación que sufren estos residuos es anaeróbica, produciendo Gases de Efecto Invernadero altamente contaminantes. La otra parte de residuos está compuesta por plásticos, papel, cartón, vidrio, entre otros, los cuales pueden generar diversos riesgos ambientales si el tratamiento dado es disponerlos en un relleno sanitario. La necesidad de la existencia de un tratamiento adecuado de los residuos que genera la comuna, nace del impacto que produce el botar a la basura cualquier tipo de residuos sin considerar que gran parte de estos tiene un valor que no está siendo aprovechado.²

Frente a esta necesidad es que la gestión ambiental de residuos sólidos urbanos es muy significativo, puesto que, su apropiada implementación se traduce en mejorar la calidad de vida para la población, mediante la educación con programas de compostaje y reciclaje, pudiéndose transformar en un principal indicador en la evaluación del funcionamiento de una municipalidad (Gómez et al., 2020).

²<https://mma.gob.cl/compostaje-una-tendencia-para-combatir-el-cambio-climatico-2/>

Alcance

El presente trabajo pretende diseñar una propuesta para mejorar estratégicamente el programa “Segregación en el Origen” como parte del plan de gestión de residuos sólidos urbanos de la comuna de Villa Alemana. Este programa es impulsado por la Dirección Ambiental Municipal, la cual atiende a la ciudad en temas ambientales generando instancias de educación, planes de gestión ambiental, mantener y mejorar en el Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM), entre otras funciones.

El SCAM es un sistema de certificación ambiental para municipios, el cual permite introducirse en la gestión ambiental que realizan, de manera que fortalezca la planificación del desarrollo comunal. Una de sus prácticas fundamentales es el trabajo que se desarrolla a nivel local, es decir, existe una acción directa en terreno, permitiendo incorporar y considerar a los ciudadanos en cada una de las decisiones y operaciones que se desarrollan en la comuna.

Villa Alemana cuenta con un territorio de 97 [Km²] y una población de 126.548 habitantes registrados según censo 2017 y con una proyección calculada por el INE al año 2020 de 140.000 habitantes aproximadamente. Posee una densidad entre 1.305 y 1.443 [Hab/Km²], siendo una de las más altas del país, lo cual evidencia un fuerte crecimiento poblacional, el que ha generado la ocupación de nuevos territorios y la construcción acelerada de viviendas, aumentando en paralelo la generación de residuos sólidos urbanos. En el año 2011 la ciudad generaba aproximadamente 52.047 [Ton/año] de residuos, los cuales experimentaron un crecimiento en los siguientes cuatro años de 22.783 [Ton/año], ascendiendo los residuos generados en 74.830 [Ton/año] en el año 2015.

Se espera que el diseño de esta propuesta, sea una antesala para que los residuos sólidos urbanos generados por la comuna tengan un apropiado tratamiento mediante técnicas de aprovechamiento que logren otorgar un valor comercial o uso alternativo. Además, se espera que los procesos que se llevan a cabo para el tratamiento de residuos sean coherentes a la legislación laboral actual con respecto a la obligación de resguardar la salud e integridad del personal encargado de la manipulación de residuos.

Las limitaciones para el alcance de los objetivos propuestos es que el presupuesto destinado a la operación del programa es ajustado para financiar la obtención de equipos o maquinaria nueva que aporte a los procesos, por lo que las actividades que se presenten dentro de la propuesta, irán tendientes a generar quehaceres que impacten ofreciendo acciones que mejoren de forma transversal las maniobras de tratamiento de residuos sólidos urbanos. La implementación de las propuestas que deriven a partir del diagnóstico y análisis de los procesos no está contemplado en este estudio, tampoco se considera la separación en objetivos tácticos y operacionales que se disgreguen de los objetivos estratégicos.

Metodología

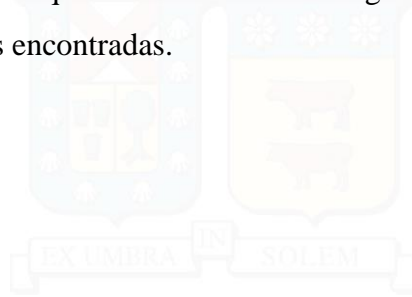
Para el cumplimiento de los objetivos específicos y por consiguiente del objetivo general, primeramente, se describirán los antecedentes que conforman el estado del arte mediante la recopilación de libros, revistas científicas, tesis de grado, documentos de organizaciones internacionales que contengan información relevante asociada a la gestión de residuos a nivel mundial y nacional, así como las responsabilidades que se tiene en materia de la gestión ambiental municipal. Dicha información será la base para comprender las distintas formas de hacer gestión de residuos en las ciudades, es decir, permitirá establecer criterios y puntos de vista del tratamiento de residuos sólidos urbanos que se realizan para luego homologar dichas técnicas considerando el contexto comunal, como también conocer las ventajas y oportunidades que traería una posible implementación.

Luego se conformará el marco teórico y legal, realizando en primera instancia una recopilación de información técnica con respecto a las tecnologías de la gestión de residuos con el objetivo de comprender las definiciones, procesos y actividades que existen para administrar los residuos sólidos urbanos. En segundo lugar se realizará una revisión de la normativa nacional que contengan apartados relacionados a la gestión de residuos sólidos municipales, tales como estándares de reciclaje, normas sanitarias comunales, funcionamiento de rellenos sanitarios, entre otros.

Posteriormente se describirá la gestión de residuos sólidos urbanos en que trabaja la comuna, cabe decir, el retiro de residuos mixtos que se realiza habitualmente, con disposición final en relleno sanitario y una visita a terreno a la operación del Programa “Separación en el Origen” donde se describirán los resultados que resultan de estas. En consecuencia, se considerará la

información descrita para desarrollar un diagnóstico mediante el diseño de un análisis F.O.D.A. de 5 fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas aplicado al Programa “Separación en el Origen”

Después de diseñar los elementos que compondrán la matriz F.O.D.A., se asignará una escala Likert (del 1 al 5) la cual indica la relación que tendrán entre los factores internos y externos identificados, lo que permitirá determinar aquellos objetivos y plantear estrategias que potenciarán los aspectos positivos que se obtuvieron del diagnóstico y a su vez que reduzcan el impacto de las aristas negativas encontradas.



Capítulo 1: Estado del arte

1. Antecedentes Generales

Este capítulo definirá el contexto en el cual se encasillará la propuesta de mejora del programa. Esto se realizará mediante la recopilación de antecedentes relacionados a la generación y gestión de residuos desde una óptica general a una perspectiva específica, presentando información a nivel internacional, nacional y regional. Posteriormente se procederá con antecedentes históricos del rol de las municipalidades en Chile y la recopilación de datos de la municipalidad de Villa Alemana asociado a la gestión de residuos a nivel comunal.

En la actualidad, la generación de residuos sólidos urbanos sigue aumentando en las poblaciones por el vertiginoso desarrollo económico y el aumento acelerado de los niveles de consumo, generando así una problemática asociada al poco control de la utilización de recursos naturales y, por consiguiente, la emisión de contaminantes que afectan directamente al medio ambiente. La contaminación producida por la acumulación de residuos sólidos está presente mayoritariamente en las metrópolis, evidenciándose una relación directa entre población y acumulación de residuos sólidos, como también, entre nivel de ingresos y generación de residuos, mostrando que la relación población-residuos sólidos está mediada por variables socioeconómicas y culturales (Villamar Aveiga, 2020).

1.1. Gestión de Residuos en el mundo

Actualmente los problemas relacionados con la gestión de residuos sólidos urbanos es un tema que la gente tiene cierta conciencia, pero la generación de desechos sigue aumentando a un ritmo acelerado debido al desarrollo rápido de países que, al ir creciendo, no han establecido sistemas adecuados para la correcta gestión de la variada composición de desechos que los ciudadanos producen. Según el último informe del Banco Mundial titulado *"What a Waste 2.0: A global Snapshot of Solid Waste Management to 2050"*, en el mundo se generan anualmente 2010 millones de toneladas de desechos sólidos municipales de los cuales un 33 % no se gestionan, implicando un riesgo para el medio ambiente.

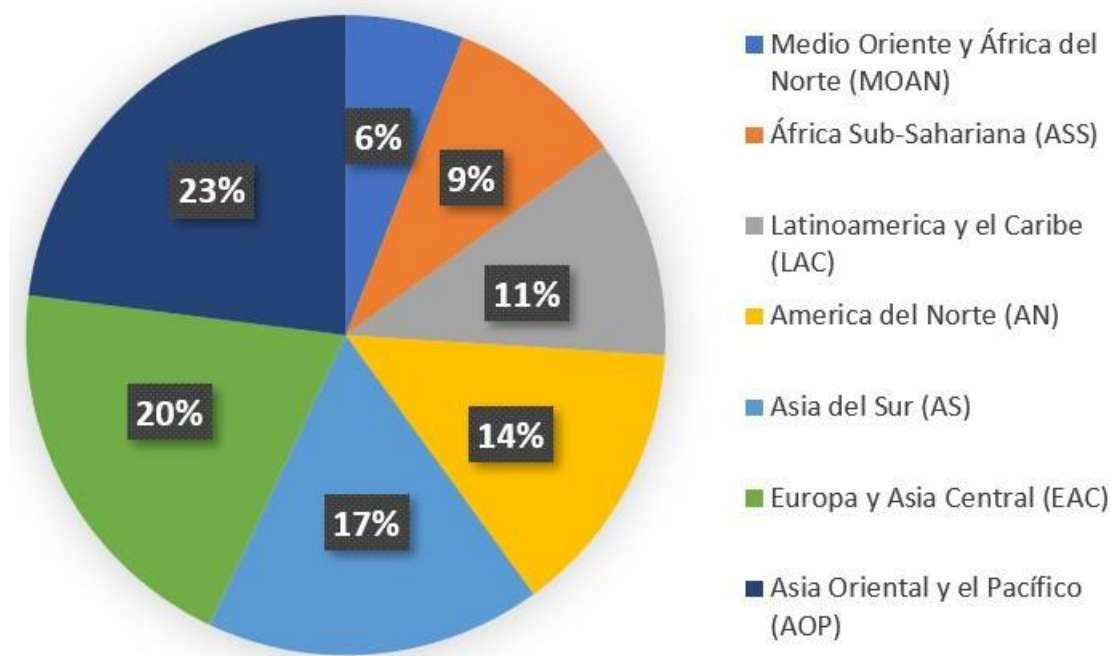
Este aumento de generación de residuos a nivel mundial es alarmante, ya que, usualmente, la administración de la gestión de residuos está a cargo de gobiernos locales con recursos limitados y una capacidad de planificación y operación deficientes. La gestión de residuos es costosa, tiende a ser la cuenta de mayor gasto del presupuesto municipal, donde, para administraciones de países de bajos ingresos, comprende en promedio el 20 % del presupuesto municipal disponible. Es por ello que la información estadística sobre la gestión de residuos es de vital importancia para la creación de políticas y planes para un gobierno local, ya que así se conoce cuánto residuo se está generando y qué tipos de residuos se están generando. (Kaza et al., 2018)

Conforme a lo declarado en el informe de la investigación a cargo del Banco Mundial, los 2010 millones de toneladas de residuos sólidos municipales que se generan anualmente se espera que aumenten a 3400 millones de toneladas hacia el año 2050, si es que el escenario del actual modelo de negocios a nivel mundial sigue vigente. Las causas de este aumento guardan una estrecha relación con el crecimiento de la población, hábitos de consumo en países industrializados los cuales se diferencian según el nivel de ingreso que tiene cada nación.

En la figura 1.1 se presenta el aporte que tienen las regiones del mundo en la generación de residuos, donde se puede apreciar que actualmente los países situados en Asia Oriental y el Pacífico (AOP) junto con Europa y Asia Central (EAC) representan el 43 % de los desechos del mundo. Los países ubicados en Medio Oriente y África del Norte (MOAN) junto a África Sub-

Sahariana (ASS) producen la menor cantidad de residuos mundial, representando sólo el 15 % de los desechos del mundo. Cabe destacar que dicha contribución a la generación de residuos depende del contexto de cada región analizada, número de habitantes, marco sociocultural, nivel de desarrollo económico, entre otros.

Figura 1.1: Residuos Generados por Regiones del Mundo

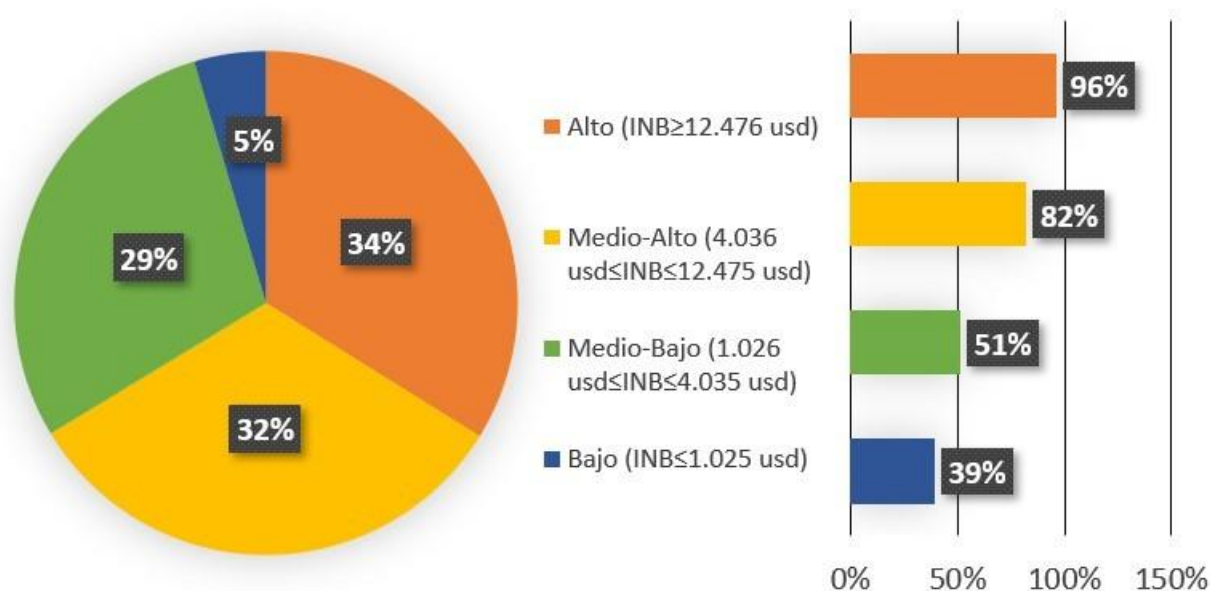


Fuente: Elaboración Propia con datos del Banco Mundial.

El nivel de ingresos de cada país juega un doble rol en lo que es la generación y tratamiento de los residuos, ya que se puede detallar que un país incluido dentro de aquellas naciones de ingresos altos, tiende a generar muchos más residuos que un país con menores ingresos, pero la capacidad de recolección y tratamiento de las economías de alto ingreso también son mucho más eficientes ya que se tienen los medios económicos para hacerse cargo de la gestión de residuos que, como ya se ha mencionado, es costosa. Así se ve representado por la figura 1.2 en la cual se puede observar que el factor económico es muy importante para una gestión de residuos óptima. La clasificación de los niveles de ingresos presentados están basados en el Ingreso Nacional

Bruto (INB) per cápita, en la cual las economías de bajos ingresos se definen como aquellas con un INB per cápita igual o menor a 1.025 USD; medio-bajo entre 1.026 USD y 4.035 USD; ingreso medio-alto entre un rango de 4.036 USD y 12.475 USD y economías de ingreso alto por sobre los 12.476 USD.

Figura 1.2: Residuos generados (izquierda) y recolectados (derecha) según nivel de ingresos.



Fuente: Elaboración Propia con datos del Banco Mundial.

Aunque el porcentaje de generación de desechos es menor en países de ingreso bajo y medio-bajo, el factor económico puede ser determinante en las acciones que se toman para realizar un tratamiento de residuos, ya que, al no tener ingresos altos, estos países antepone la importancia de dirigir sus dineros a otras áreas que al adecuado control y gestión de residuos, lo que se refleja a la derecha de la figura 1.2 en donde la recolección de residuos de países con un estrato económico bajo no alcanza a ser ni la mitad de lo que genera.

En la figura 1.3 se realizó una comparativa con respecto a los residuos generados por región del mundo entre los años 2012 y 2018 en donde se puede evidenciar como la generación de residuos ha incrementado considerablemente en seis años. Las regiones que tuvieron una alta tasa son Asia del Sur (AS) y África Sub-Sahariana (ASS) con un aumento de 375,6 % y 181,9 %

respectivamente. Estas elevadas tasas de aumento se pueden explicar por el contexto de cada región, en el caso de Asia del Sur, esta comprende a los países que tienen una alta demografía, siendo dicha agrupación, la más poblada del mundo con una densidad de 271,3 habitantes por kilómetro cuadrado, mencionando además que es una zona en la cual se ha visto desestabilizada para un óptimo desarrollo de políticas medioambientales por históricos enfrentamientos (Baroni et al., 2022).

Figura 1.3: Evolución de la Generación de Residuos por región en el mundo



Fuente: Elaboración Propia con datos de Informes *What a Waste* 2012 y 2018

Con respecto a África Sub-Sahariana, se puede mencionar que es un territorio que tiene una gran riqueza en materia prima minera, petróleo, cobre, oro, cromo, diamantes, entre otros y una vasta capacidad energética, pero aun así se puede dilucidar que las causas de un aumento considerable de la generación de residuos es el resultado de ser una región que comprende a los países del mundo con menor índice de desarrollo humano, originado principalmente por la herencia del neocolonialismo, conflictos étnicos y una inestabilidad política que empobrece en gran magnitud a la población y, como consecuencia, se traducen en debilidades estructurales

que no permiten abarcar una gestión óptima en el manejo de residuos. ([Acosta et al., 2021](#))

En relación a la región de Europa y Asia Central, este dio un valor de -9,1 % en la tasa de aumento, es decir, en seis años disminuyeron la generación de residuos en 40 millones de toneladas aproximadamente. La principal razón para entender esta manifestación está relacionada con el nivel de ingresos promedio que tienen los países que integran la región de Europa y Asia Central, la cual posee un INB promedio per cápita de 28.380 USD, por lo que tienen mayor poder económico para hacer frente a la gestión de residuos mediante políticas concretas y soluciones variadas para el tratamiento correcto de estas, planteando acciones que distintos países europeos han logrado desarrollar con un gran impacto positivo en lo que es la disminución y tratamiento.

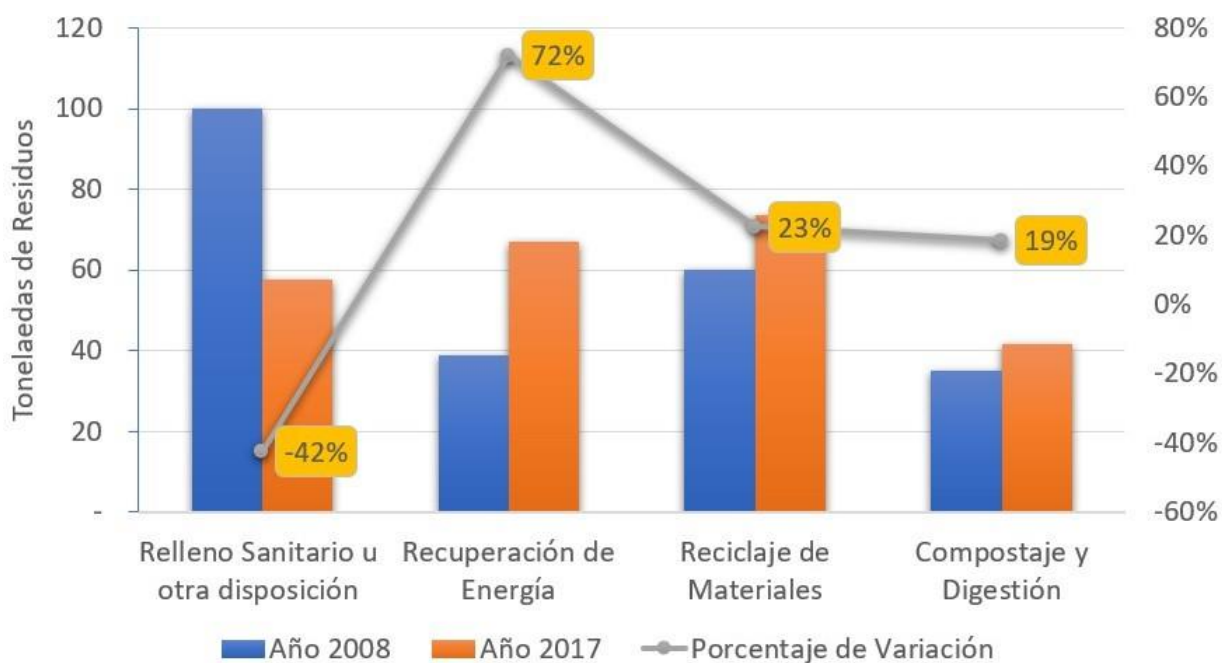
En las últimas décadas, los países europeos han ido cambiando su enfoque con respecto al tratamiento de residuos sólidos municipales, desde solo utilizar métodos de eliminación, como la disposición final, a la prevención de la generación de residuos y el reciclaje. Los residuos municipales solo representan un 10 % del total de residuos generados por la Unión Europea (UE) pero aun así son visibles, por lo que la prevención de la generación de estos residuos tiene el potencial de reducir el impacto ambiental durante todo el ciclo de vida de los productos que se consumen. Países que han desarrollado sistemas eficientes de gestión de residuos municipales generalmente, tienen también éxito en la gestión global de residuos. ([Europeo, 2015](#))

La Comisión Europea propuso objetivos para los residuos municipales al año 2025, que el 60% de estos se destinen para preparación de reutilización y reciclaje, mientras que para el año 2030 se espera sea de un 65 %. Para alcanzarlos es imperante la generación de políticas y métodos que incluyan requisitos estratégicos mínimos que los países las desarrollen y tengan éxito. Los métodos relevantes van dirigidos a transformarse en una gestión sostenible de materias a fin de que la economía sea verdaderamente circular, de modo que los residuos se valoren como recursos. Una forma de lograr lo anterior es disminuyendo la magnitud de la disposición final de residuos y sus vertidos no autorizados mediante técnicas, como recuperación de energía me-

diante incineración, reciclaje de materiales, compostaje y digestión de residuos biológicos.

En la figura 1.4 se refleja el resultado positivo que ha dado la aplicación de las técnicas antes mencionadas, en donde el periodo comprendido entre 2008 y 2017, se presentó una disminución de -42 % de las toneladas que se estaban dirigiendo a algún relleno sanitario u otra disposición, aumentando así las otras tres técnicas de manejo de residuos dirigidas al aprovechamiento de los residuos considerándolos como recursos con un valor cuantificable. Los instrumentos mencionados de las políticas son algunas de las que se han implementado en las últimas décadas, las cuales aportan significativamente a otras políticas dirigidas a la población, como el pago de una tarifa por el volumen o peso de los desechos retirados, incentivando de forma monetaria el reciclaje y la segregación en el origen de aquellos desechos que pueden ser valorizables aún.

Figura 1.4: Disminución en la disposición de basura a relleno sanitario por aumento de otras técnicas en la comunidad europea



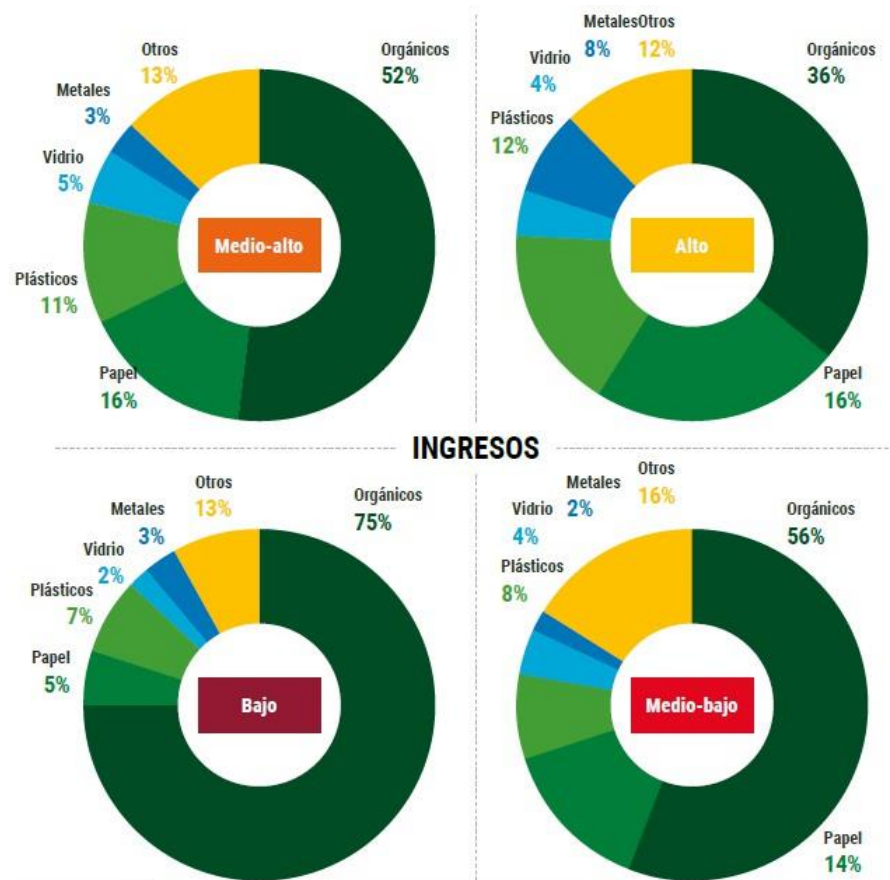
Fuente: Elaboración Propia con datos de Eurostat.

1.2. Gestión de Residuos en Latinoamérica

En cuanto a la situación de Latinoamérica y el Caribe sobre su evolución en la generación de residuos, se puede distinguir en la figura 1.3 que, en el periodo comprendido entre los años 2012 y 2018, este aumentó en un 44,6 %, llegando a generar 231 millones de toneladas de residuos, con una producción promedio de 0,99 kg de residuos por persona cada día. Actualmente se generan 541 mil toneladas al día de residuos sólidos urbanos, lo cual se estima que aumentará en al menos un 25 % para el año 2050, llegando a alcanzar 670 mil toneladas diarias de generación de residuos, suponiendo que la tasa de generación promedio diaria por habitante se mantenga. La tendencia de estos datos se puede explicar debido a que los sistemas de tratamientos de residuos sólidos están en un reciente proceso de modernización, en donde las prácticas y el desarrollo de estas varían considerablemente según el nivel de ingresos de cada país.

El nivel de ingreso per cápita no solo condiciona la eficacia del tratamiento de los residuos, sino que también se puede establecer una relación con la composición de los residuos sólidos urbanos, donde, según la figura 1.5, se puede observar que la fracción orgánica de los países de bajos ingresos tiene una mayor participación, lo cual es muy lógico del punto de vista de los diferentes patrones de consumo que se tienen por nivel, determinándose que los países de menores ingresos consumen diariamente productos que escasamente son prefabricados, tales como hortalizas, verduras, frutas, entre otros, a diferencia de los países de mayores ingresos en donde la tendencia es el consumo desmedido de productos alimenticios pre-elaborados, con un alto uso de empaques derivados del plástico, cartón y papel.

Figura 1.5: Relación entre el nivel de ingresos y composición de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe



Fuente: (Medio Ambiente, 2018).

Los niveles de generación de orgánicos causan una mayor preocupación, ya que, en promedio los residuos orgánicos representan el 50 % de los residuos municipales, por lo que la falta de su tratamiento específico beneficia a la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y producción de lixiviados, además su disposición directa en rellenos sanitarios ocasiona la disminución de la calidad de productos que son potencialmente reciclables y entorpecen dicho procedimiento, aún así la mayoría de las grandes ciudades de Latinoamérica han iniciado programas que van relacionadas a la segregación de residuos en el origen, siendo común el reciclaje, teniendo una alta tasa en lo que respecta a materiales como aluminio, papel y plástico.

La recolección de residuos sólidos urbanos es la actividad que consume más recursos en los

sistemas de aseo urbano, por lo que llevar a cabo un diseño y planificación de recolección preciso requiere de esfuerzos transversales, lo que impactaría alcanzando mayores índices de cobertura del sistema y menor tránsito de camiones recolectores, disminuyendo la contribución de GEI. En general, la cobertura del servicio de recolección ha aumentado casi a números absolutos y la calidad del servicio también ha mejorado, no obstante, esta mejora solo se ve reflejada en las zonas con un nivel de ingreso económico alto, contando con una mayor cobertura de recolección, dejando a las zonas rurales con un servicio deficiente y que se compone de contenedores que no son atendidos con la frecuencia necesaria. En Latinoamérica actualmente existen 40 millones de personas que carecen de acceso a una recolección de residuos, lo cual equivale a 35 mil toneladas diarias de residuos que se están disponiendo de forma descontrolada, en terrenos baldíos, cauces, quebradas y orillas de ríos, generando una contaminación considerable en todo el ecosistema.

La prestación del servicio de recolección de residuos en Latinoamérica y el Caribe en su mayoría es proporcionado directamente por las municipalidades a través de los departamentos de aseo y ornato, cubriendo cerca de un 50,6 % de la población seguido por la modalidad de contratación de servicios privados que comprende un 45,4 % de la cobertura. Los equipos de recolección utilizados en la región son muy variados, es decir, existen camiones recolectores de distintas características, con y sin compactación, abiertos, cerrados, de gran y pequeña capacidad, tracción mecánica e incluso en algunas zonas de la región aún se utiliza la tracción animal para que opere el servicio de recolección. El Informe de la Evaluación Regional de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe reporta una dotación promedio de 1,31 vehículos por cada 10.000 habitantes de los cuales un 33 % de la flota presenta una antigüedad mayor a 10 años y un 58 % de los vehículos cuenta con sistema de compactación. ([Medio Ambiente, 2018](#))

El logro de los programas de valorización depende de un buen proceso de segregación, el cual no solo debe estar presente en el inicio del manejo de residuos, sino que debe llevarse a cabo en todas sus etapas: en la fuente, el barrido, recolección, transferencia y por último en los espacios

destinados para la disposición final, en donde entran en juego los recuperadores informales (RI). La actividad que desempeñan los RI es una tarea compleja de abordar por su carácter informal, teniendo escasos datos del número de personas que tienen este rubro, aun así, son un importante eslabón en el manejo de residuos, por lo que se ha podido establecer que existe en la región 8,57 RI por cada 10 mil habitantes, lo que es equivalente a una población de recicladores informales de 4 millones de personas en Latinoamérica. ([Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo, 2013](#)).

Los mecanismos utilizados en Latinoamérica para la recolección selectiva de residuos se pueden generalizar en dos:

- Definición de días a la semana para realizar la recolección de los distintos tipos de residuos, en donde el generador separa los RSU en dos categorías, orgánico e inorgánico.
- Habilitación de vehículos que permiten la recolección selectiva de las diferentes clasificaciones que se encuentran en los residuos separados en el origen.

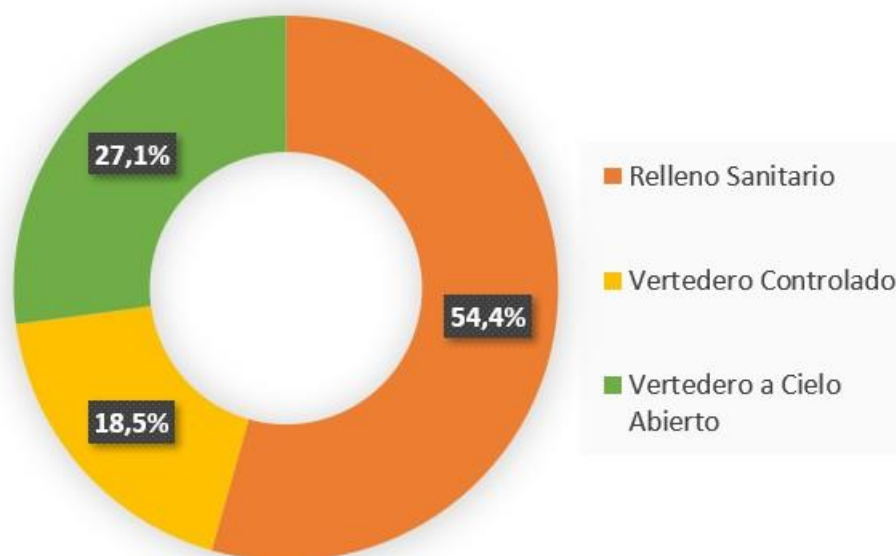
Además de la segregación en el origen, existen otras tecnologías para la recuperación de materiales presentes en los RSU, que tienen una mayor presencia en países desarrollados y que se han deseado implementar en los distintos países de Latinoamérica y el Caribe. Dichas tecnologías han sido difícilmente concretadas en las distintas municipalidades por la falta de conocimiento y falta de personal capacitado para la adquisición de ellas, lo que ha llevado a un gasto importante en el desarrollo de técnicas inadecuadas a la realidad de la zona, que concluyen en el fracaso de estas. Es por ello que la falta de infraestructura para la obtención de nuevas tecnologías en el procesamiento de residuos orgánicos ocasiona que varias toneladas sean dispuestas finalmente en rellenos sanitarios u otros espacios menos controlados, lo que, sumado a la creciente urbanización y la limitación del espacio de las grandes ciudades, genera que la vida útil de estos sitios de disposición se vea disminuido de forma exponencial.

Las tecnologías que han sido aplicadas y están operativas en algunos países de la región son tendientes a lograr una valorización energética o material de los residuos, tales como líneas de separación mecánica de materiales valorizables, plantas de aprovechamiento energético de biogás producido por los rellenos sanitarios, producción de compost, digestión anaerobia, plantas

con tratamientos mecano-biológicos e incineración. Cabe recalcar que algunas de las tecnologías antes mencionadas no se encuentran en todos los países de la región ya que el acceso a ellas aún es difícil por el costo que conlleva implementarlas y su poco conocimiento.

La disposición final de los RSU ha ido mejorando significativamente en la región, en donde una porción importante del volumen recolectado de residuos acaba en rellenos sanitarios, particularmente en medianas y grandes ciudades. Aun así, también existe una fracción importante, que se puede apreciar en la figura 1.6, donde el 27,1 % de residuos, equivalente a 145 mil toneladas por día, se están destinando a vertederos a cielo abierto, quema u otras prácticas inadecuadas de tratamientos de residuos lo que genera graves riesgos a la salud de las personas que operan los basurales (RI) y también a la población adyacente. Además de las consecuencias para la salud de las personas, también genera impactos ambientales graves como contaminación de aguas, la emisión de gases tóxicos y GEI. Aunque la disposición controlada de los RSU ha aumentado considerablemente en los últimos años, reduciendo el uso de disposición final en basurales no controlados de un 45,3 % a un 23,3 %, con frecuencia existe el riesgo que un relleno sanitario llegue a tomar la condición de basural si es que este cae bajo una operación deficiente. Por lo que es prioritario proceder con el cierre continuo y progresivo de todos los basurales y reemplazarlos en primera instancia por métodos eficientes de tratamiento de residuos como los antes mencionados y como última opción la disposición final en rellenos sanitarios controlados.

Figura 1.6: Porcentaje de residuos dispuestos según destino



Fuente: Elaboración Propia según datos de ONU Medio Ambiente.

Los aspectos que se deben mejorar dentro de la situación de los residuos sólidos urbanos en Latinoamérica son transversales, es decir, se deben disminuir los porcentajes de residuos que tienen una disposición final inadecuada; se debe mejorar la capacidad de los municipios de alcanzar una sostenibilidad económica de los servicios para que el sector de tratamiento de residuos tenga un desarrollo continuo; la recolección en zonas marginales y rurales aún es escasa, por lo que propicia la generación de basurales no controlados; los porcentajes del nivel de reciclaje debe aumentar ya que aún son bajos y los sistemas que apoyan estas iniciativas en su mayoría son informales; se debe aumentar el aprovechamiento energético de los residuos, que aún está escasamente iniciando en algunos países y en otros es nulo; se debe enriquecer la regulación del sector de manera técnica y económica, es decir, se debe organizar de manera eficiente para disminuir la brecha de información que existe entre las autoridades municipales y la población en general con los prestadores privados de servicios; y por último, se debe trabajar en la falta de discusión a nivel político y legal sobre la necesidad de introducir acciones concretas sobre los generadores que deriven en una gestión de RSU integral ([Camacho Andrade, 2020](#)).

1.3. Gestión de Residuos en Chile

En el año 2010 Chile logró avances importantes en lo que respecta al fortalecimiento del marco de política e instituciones ambientales, provenientes de las recomendaciones dadas en la revisión llevada a cabo por la OCDE y CEPAL, en donde se crearon instituciones como el Ministerio de Medio Ambiente, el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, una Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) y un Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Estos hechos ayudaron a establecer los primeros lineamientos en materia de responsabilidad ambiental a nivel nacional. El principal objetivo que declara el Gobierno en su agenda ambiental es mejorar el bienestar y calidad de vida de las personas a través de un desarrollo sustentable, el cual solo puede ser logrado mediante tres pilares: crecimiento económico, equidad social y cuidado del medio ambiente; siendo este último la piedra angular que equilibre los otros dos pilares.

Según la Evaluación de Desempeño Ambiental del año 2016 emitido por la OCDE y CEPAL para Chile, la generación de desechos aumentó cerca de un 30 % en los años 2000, aunque los datos disponibles no son del todo confiables, por lo que podría ser un valor más alto. La generación municipal de desechos sólidos per cápita es baja en comparación con los niveles promedios de los países que integran la OCDE, no obstante, supera la de otros países de América Latina como Brasil y México. Los rellenos sanitarios absorbieron el 96 % de los desechos municipales sólidos tratados en el periodo 2010-2011, y solo el 4 % de estos se recuperaron o reciclaron. En el año 2015, aproximadamente una cuarta parte de los desechos se dispusieron en vertederos inadecuados o abiertos, algo positivo en comparación con el 40 % que se descargaron el año 2009. (CEPAL et al., 2016)

El crecimiento económico logrado en las últimas tres décadas ha tenido importantes costos ambientales, en donde los mayores problemas que enfrenta el país en materia ambiental tienen relación con la contaminación atmosférica, contaminación de suelos, amenazas a la biodiversidad, escasez y contaminación de aguas. Se puede apreciar en la figura 1.7, que entre los años 2015 y 2017 la generación de residuos a nivel nacional aumentó en un 12 %, alcanzando aproximadamente 20 a 23 millones de toneladas anuales de generación. En el año 2017, el 97 % del

total de residuos generados les competen a residuos no peligrosos, por lo tanto, tratables y de dicho porcentaje, un 61 % es de origen industrial y el 36 % es de origen municipal. El 3 % restante de los residuos totales competen a residuos peligrosos. (Ministerio del Medio Ambiente, 2019)

Figura 1.7: Generación de Residuos por origen en Chile



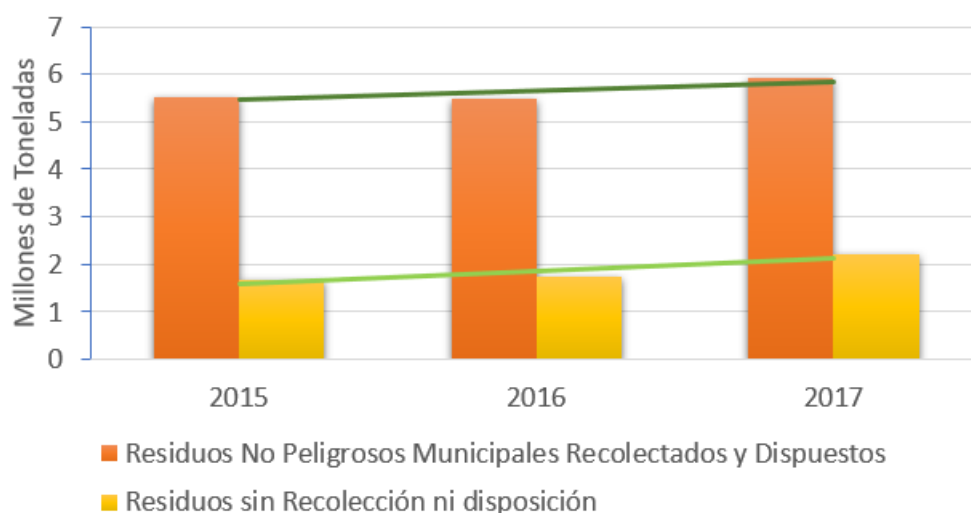
Fuente: Elaboración Propia con datos del MMA.

Se puede analizar a partir de la figura 1.7 que la tasa de generación de residuos aumentó en sus tres clasificaciones, es decir, en los residuos no peligrosos de origen industrial (RNPI), residuos peligrosos (RP) y en los residuos no peligrosos de origen municipal (RNPM) en donde este último tuvo un aumento en la generación de residuos de un 13 %, lo que se traduce en 924.531 toneladas a nivel nacional.

La figura 1.8 representa las toneladas de Residuos no Peligrosos de origen Municipal que han sido recolectadas y dispuestas en un relleno sanitario autorizado, versus, aquellos residuos que no han sido ni recolectados ni dispuestos adecuadamente, en donde se puede apreciar una línea de tendencia que va en aumento en ambas categorías, teniendo en promedio una recolección y disposición final de residuos realizada en instalaciones autorizadas de un 75 %, frente a un 25 % de residuos que no son recolectados y/o dispuestos de forma idónea, lo que se puede traducir en

5.642.808 y 1.873.153 toneladas respectivamente. La preocupación debe centrarse en aquellos residuos que no están siendo tratados correctamente, ya que en el periodo comprendido entre los años 2015 – 2017 el aumento de las toneladas de residuos que no están sujetas a algún sistema de recolección y/o disposición aumentó en un 33 % aproximadamente.

Figura 1.8: Recolección y disposición de residuos municipales periodo 2015-2017



Fuente: Elaboración Propia con datos de REMA 2019.

El aumento de residuos sin recolección ni disposición lleva por consecuencia un incremento en el número de Vertederos Ilegales de Residuos Sólidos (VIRS) definidos como sitios eriazos con más de una hectárea en los cuales se ha dispuesto directamente en el suelo residuos sólidos de distinta clasificación (orgánico, papel, cartón, escombros, entre otros), sin tomar resguardos necesarios para proteger el medio ambiente y la salud de las personas. Según la Seremi de Medio Ambiente, actualmente en la región metropolitana existen 79 mega basurales y 600 microbasurales distribuidos principalmente en sectores periféricos de la región, afectando a comunas de bajos ingresos e implicando un riesgo a la salud de las personas ya que pueden llegar a contaminar el agua que consume la población. Según el informe de la Evaluación de Desempeño Ambiental, Chile se encuentra en segundo lugar de los países de la OCDE que más utilizan la disposición final como método de tratamiento de residuos, superados sólo por Turquía. En un estudio realizado el 2018 por la Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE) se identificaron 124 sitios para la disposición final de residuos sólidos domiciliarios a lo largo del territorio

en los que se desechan alrededor de 7 millones de toneladas de residuos anuales. De los 124 sitios, el informe indica que 30 corresponden a rellenos sanitarios; 48 a vertederos (ilegales/municipales); 8 rellenos manuales y 38 basurales. ([Ambiente, 2018](#))

El proceso de disposición final en un relleno sanitario debe ir dirigido a la gestión eficiente de la basura, en donde se encargue de los riesgos que conlleva esta técnica de eliminación, que en su mayoría atentan contra el medio ambiente en el cual está inmerso el relleno. Los riesgos asociados están relacionados con la contaminación atmosférica y de cuerpos de agua, ya que la degradación de la basura contribuye con GEI y las aguas lluvias con líquidos lixiviados que contaminan los acuíferos superficiales. Es por ello que los rellenos sanitarios están dentro del marco de la ley como procedimiento legal para el tratamiento de basura, ya que es de suma importancia controlar los impactos asociados al uso de esta técnica ([González et al., 2022](#)).

A nivel nacional la administración de los sitios de disposición final son, en su mayoría, municipales. También existen sitios operados por privados y de administración mixta, en la cual el propietario del sitio es el municipio y la operación la realiza un privado a través de una concesión. Con respecto a los centros de valorización, la SUBDERE contabiliza 97 centros de acopio, 64 puntos limpios y 5.294 puntos verdes.

Para aumentar los centros de valorización, el Estado ha impulsado instrumentos que van relacionados con la implementación de la Ley N°20.920 que “Establece marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje”, que entró en vigor a mediados del año 2016, entregando atribuciones al Ministerio del Medio Ambiente (MMA) para regular la generación de residuos mediante la prevención e incentivar su utilización como recurso. Esta ley incluye a los municipios, otorgando competencias para celebrar convenios con empresas y recicladores informales que cumplan con la labor de separar los residuos en el origen. Además, permite establecer la instalación y/u operación de sitios dedicados a la recepción y almacenamiento de productos. Asimismo, se debe encargarse de la educación ambiental de la comuna enseñando sobre la prevención y valorización de residuos y diseñar e implementar estrategias de comunicación, sensibilización y medidas de prevención.

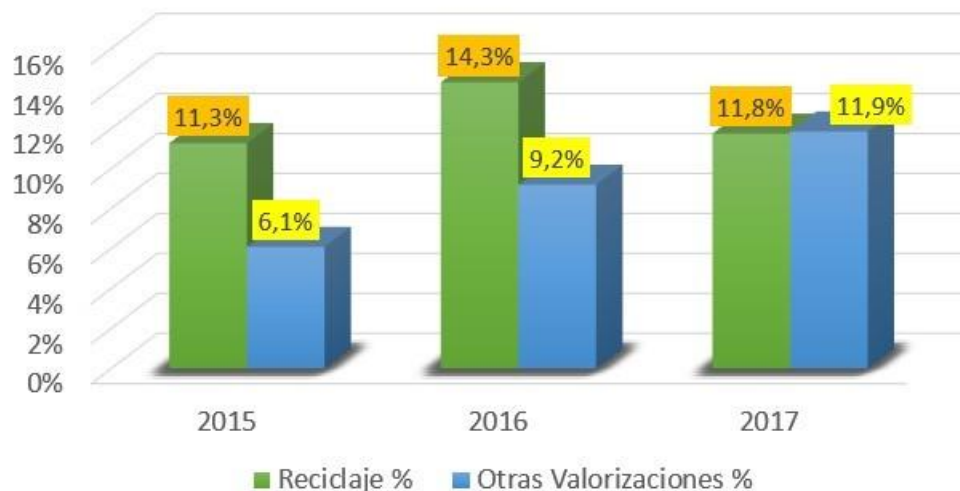
Para lograr llevar a cabo las obligaciones anteriores, se crea el Fondo para el Reciclaje, el cual está destinado para financiar proyectos, programas y acciones que tengan como objetivo prevenir la generación de residuos y fomentar la reutilización, reciclaje u otro tipo de valorización y que sean ejecutados por municipalidades. Dicho fondo financia parcialmente los proyectos que se presentan a un concurso de adjudicación de los recursos.

En el año 2018, 33 municipalidades se vieron beneficiadas con el fondo para poner en marcha sus proyectos. Dentro de las iniciativas que se adjudicaron el fondo, la mayoría van dirigidas a la educación y sensibilización ambiental, mediante charlas, ferias, talleres, junto con programas de reciclaje en los cuales se consideran la instalación de puntos verdes, puntos limpios y retiro diferenciado de residuos. En el año 2019, el MMA llamó a municipios y asociaciones de estas a participar del fondo presentando proyectos destinados a potenciar la inclusión de los recicladores base/informales en los sistemas de reciclaje que desarrollen. El objetivo es financiar la adquisición de equipamiento para el manejo de los residuos recolectados y así poder formalizar la labor que realizan los recicladores base/informales mediante asesoría técnica, capacitación y certificación.

Sin perjuicio de lo indicado en el párrafo anterior, podemos observar que los resultados que se han obtenido a nivel nacional en lo que respecta a porcentajes de reciclaje y valorización de residuos no peligrosos han estado fluctuantes, como se ilustra la figura 1.9, en donde el porcentaje de residuos que tuvieron como tratamiento el reciclaje varió notablemente entre 2015 y 2016 de un 11,3 % a un 14,3 % respectivamente, para luego disminuir dicho porcentaje en el año 2017 en 2,5 puntos, muy cercano al porcentaje del año 2015. Esta oscilación en los porcentajes de reciclaje es alarmante, ya que se espera que las medidas adoptadas para reducir considerablemente la generación de residuos vayan aumentando exponencialmente año a año acorde a el aumento en la generación de residuos que cada habitante produce. Aún así, se puede evaluar de la figura 1.9 que los porcentajes de otras valorizaciones ha ido en aumento en los

últimos tres periodos, lo que se puede justificar por el uso de nuevas técnicas utilizadas por los establecimientos declarantes, en su mayoría industrias, en donde la recuperación del poder calorífico de los residuos se ha visto como opción para la valorización energética.

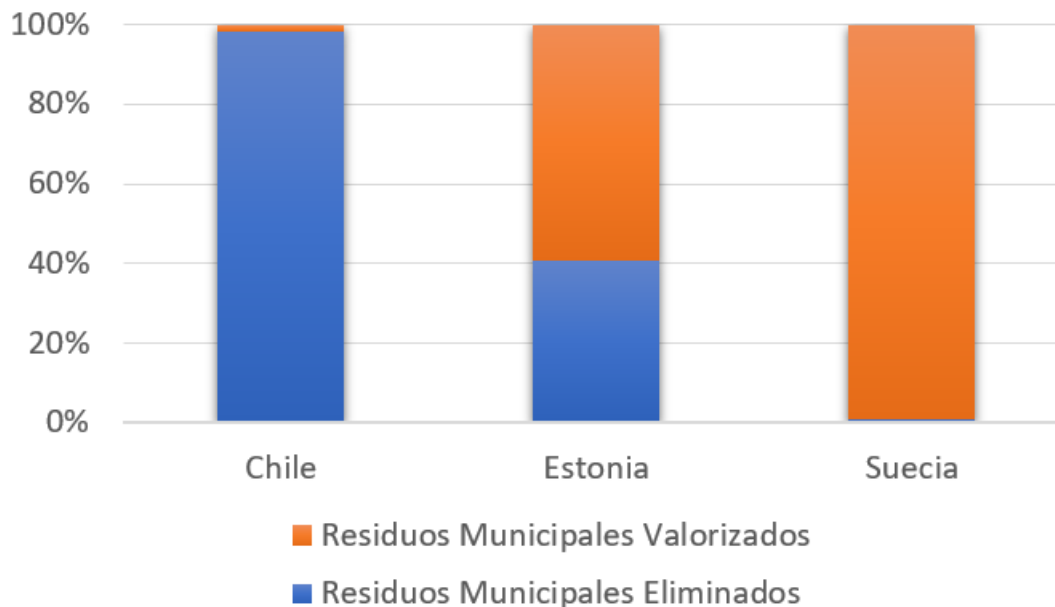
Figura 1.9: Tipo de valorización de residuos a nivel nacional.



Fuente: Elaboración Propia con datos del Quinto Reporte del Medio Ambiente.

En la figura 1.10 se realizó una comparativa entre Chile y países pertenecientes a la Unión Europea en donde se contrasta el destino que tienen los residuos sólidos municipales entre ambas regiones. Se puede evaluar que la proporción de reciclaje por habitante difiere en gran porcentaje, siendo sólo un 2 % en Chile y un 81 % en países de la UE. Con lo anterior se puede interpretar que en promedio en Chile, 433 [Kg] per cápita de residuos se eliminan mediante disposición final en rellenos sanitarios y/o vertederos al año, obteniendo una brecha considerable con los países de la UE que sólo eliminan mediante dicho método 39 [Kg] por habitante.

Figura 1.10: Residuos Eliminados y Valorizados en Chile y en Países de la UE año 2020.



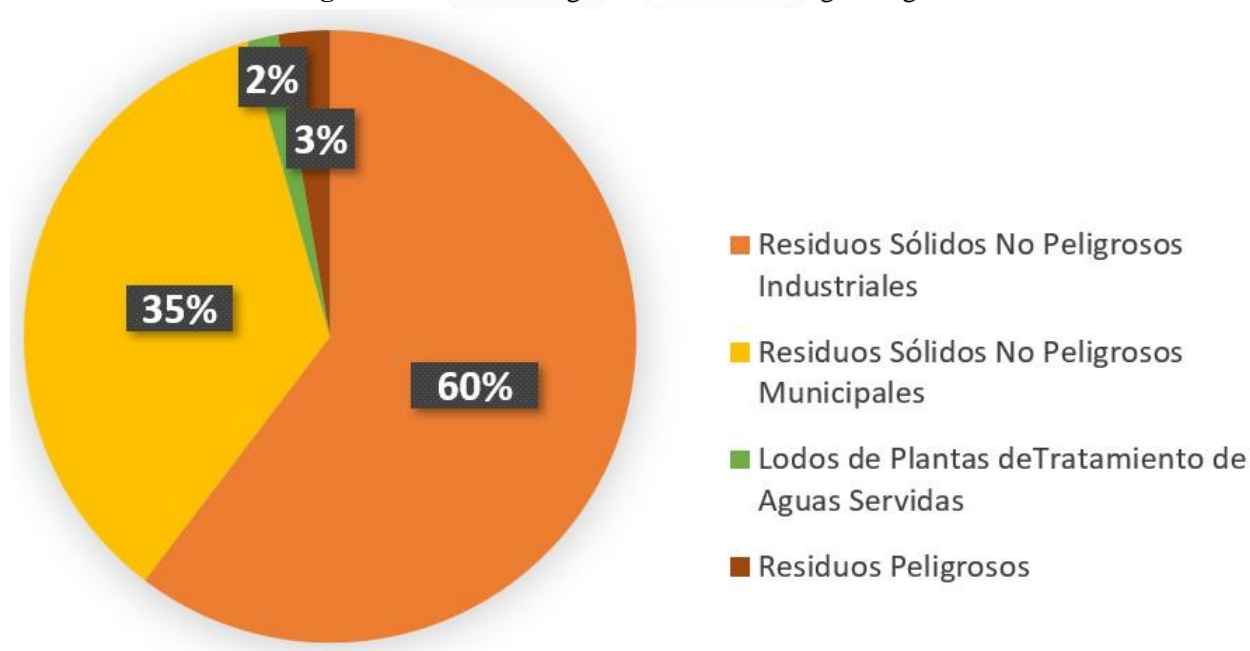
Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos de Eurostat y REMA.

La implementación de un Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) es recomendada internacionalmente por el consejo de la OCDE, la cual establece que dicho sistema es una herramienta para el refuerzo de la política ambiental y un mecanismo trascendental en el alcance del desarrollo sostenible, debido a que utiliza información correspondiente a la declaración de instituciones públicas y privadas con el fin de conocer las emisiones que se producen y afectan al medio ambiente.

En la figura 1.11, se presentan las proporciones de participación en la generación de residuos por los sujetos obligados a declarar, en donde, según el informe consolidado del RETC, el mayor contribuyente corresponde a los residuos sólidos no peligrosos generados por las industrias, representando un 60 % del total de residuos del país, es decir, aportó con 13.896.540 t de residuos. En segundo lugar se encuentran los residuos sólidos municipales, los cuales representan un 35 % de la generación de residuos en el país con un total de 8.125.693 t. En menor cantidad se encuentra la generación de residuos peligrosos y lodos procedentes de PTAS, los cuales representan un 3 % y 2 % respectivamente. El valor que corresponde a los residuos sólidos municipales, son generados por 304 comunas de un total de 346, de esta manera, el valor de las

declaraciones emitidas en el año son extrapoladas a nivel nacional para así obtener dicha cifra, por lo que es posible que no represente el universo total de generación de residuos por parte de los municipios. Referente a la disposición final de residuos, el informe del RETC declara que donde se concentra el mayor volumen de disposición de residuos sólidos no peligrosos industriales es en la Región Metropolitana con una cantidad de 5.213.645 t, lo que equivale al 46 % del total dispuesto a nivel nacional. Las otras tres regiones que le suceden son Antofagasta, Valparaíso y Biobío en las cuales se concentra el 31 % de la disposición de residuos industriales no peligrosos. (Ministerio del Medio Ambiente, 2019)

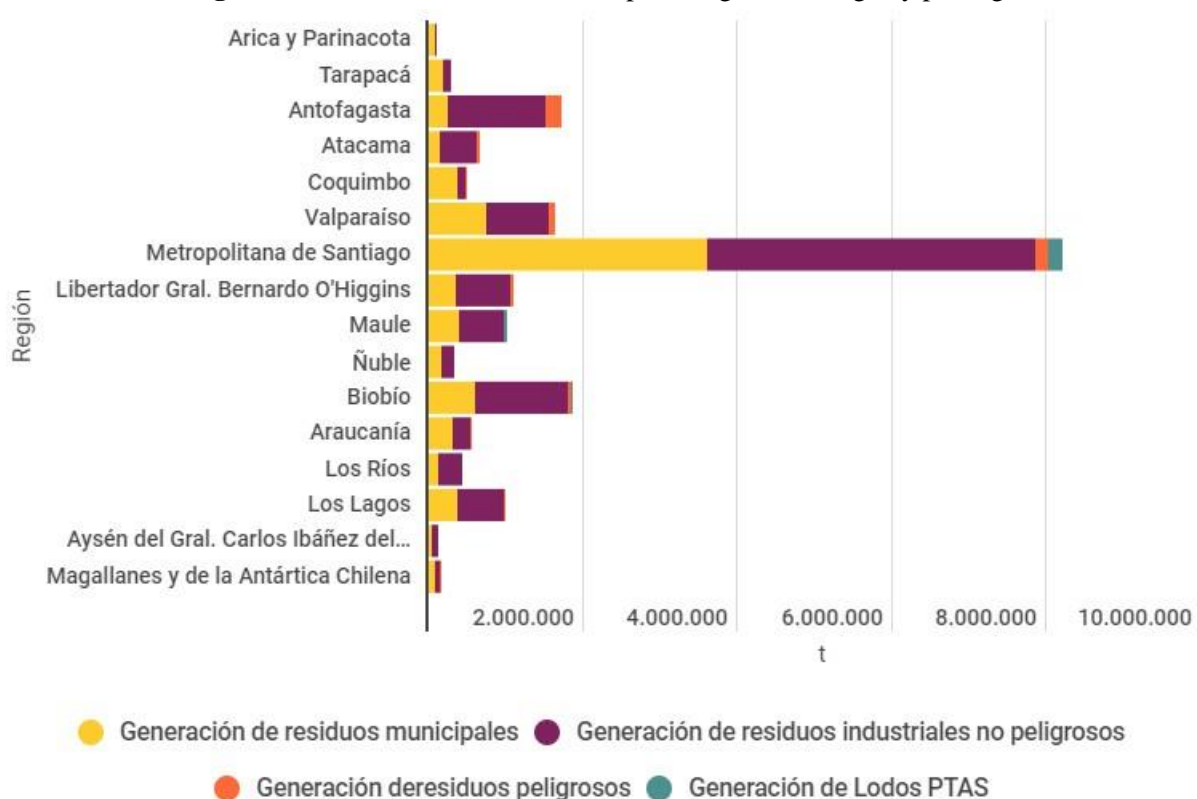
Figura 1.11: Residuos generados en Chile según origen



Fuente: Elaboración Propia con datos del RETC.

El escenario de la generación de residuos por región se puede apreciar en la figura 1.12, donde se distinguen las 4 regiones que más aportan en la generación de residuos sólidos municipales a nivel país, donde la Región Metropolitana lidera esta categoría con un 45 % de generación de residuos sólidos municipales, es decir, alrededor de 3,6 millones de toneladas anuales. En segundo lugar se encuentra la Región de Valparaíso, generando un 11 % de residuos sólidos municipales, muy cercano al millón de toneladas, seguidos por las Regiones del Biobío y Libertador General Bernardo O'higgins, las cuales proporcionan un 9 % y 5 % respectivamente.

Figura 1.12: Generación de residuos por categoría de origen y por región



Fuente: RETC.

1.4. Gestión de Residuos en la Región de Valparaíso

La Región de Valparaíso se destaca por ser la segunda región más habitada del país, dividida en 8 provincias las cuales están subdivididas en 38 comunas. El ser la segunda región más habitada del país es directamente proporcional a ser la segunda región con mayor volumen de disposición final de RSM en donde se declararon alrededor de 860 mil toneladas de residuos en el año 2018. Para la gestión de estos residuos dispuestos, la región cuenta con siete sitios de disposición final activos, 3 de estos están clasificados como rellenos sanitarios, dos como vertederos y los otros dos restantes como basurales. Los tres rellenos sanitarios se encargan de recepcionar el 97,1 % de los residuos que se disponen en los sitios activos de la región.

Tabla 1.1: Población atendida por relleno sanitario en la Región Valparaíso

	Población Atendida	Año Cierre
El Molle	64,13 %	2028
San Pedro	22,62 %	2033
La Hormiga	10,75 %	2034

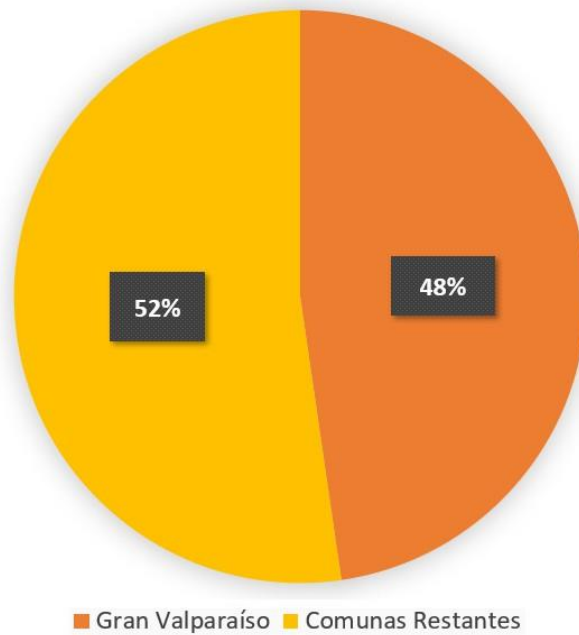
Fuente: Elaboración Propia con datos del RETC

Se puede apreciar en la tabla 1.1 el porcentaje de población que atienden los tres rellenos, ordenados de mayor a menor participación, donde el relleno sanitario El Molle, ubicado en la ciudad de Valparaíso, atiende al 64,13 % de la población de la región, luego le sucede el relleno sanitario San Pedro, ubicado en las afueras de la ciudad de Quillota, que comprende la gestión del 22,62 % de la población y por último se encuentra el relleno sanitario La Hormiga, posicionado cercano a la ciudad de San Felipe, el cual abarca la atención de un 10,75 % de la región. En la columna derecha de la tabla se aprecia el año de cierre presupuestado para cada relleno sanitario, calculado en base a los m^3 habilitados para verter residuos y la estimación de producción de residuos.

Dentro de la Región de Valparaíso se encuentran áreas metropolitanas por la directa relación que tienen las distintas comunas que las componen, es por ello que las principales áreas urbanas de la región son: el Gran Valparaíso, la Conurbación Quillota-Calera y el Gran San Antonio, las comunas que componen el Gran Valparaíso son Valparaíso, Viña del Mar, Concón, Quilpué y Villa Alemana.

La participación en la disposición final de RSM de la región de Valparaíso se puede comparar entre las comunas pertenecientes a Gran Valparaíso y las otras comunas de la región, donde la figura 1.13 se puede apreciar que 33 comunas son responsables de disponer el 52 % de RSM de la región, siendo el 48 % restante perteneciente a el área urbana del Gran Valparaíso.

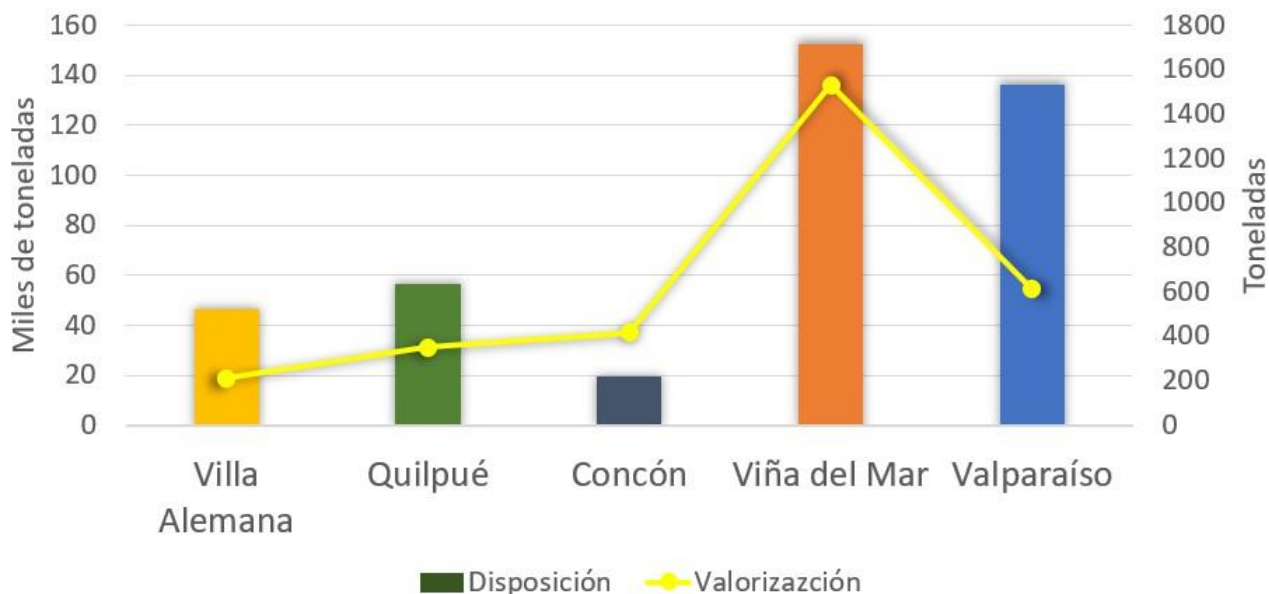
Figura 1.13: Participación en la disposición final de RSM en la Región de Valparaíso



Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos del RETC.

De las ciudades que componen el Gran Valparaíso, se puede apreciar en la figura 1.14 que la ciudad con mayor disposición de RSM es Viña del Mar, disponiendo el 37,1 % de los residuos totales dispuestos de la Conurbación, no obstante, también es aquella que tiene el mayor porcentaje de valorización del área, representando el 49 % de los residuos totales valorizados. En lo que respecta a Villa Alemana, esta se encuentra en cuarto lugar en los RSM dispuestos, aportando con 46.363 toneladas en el año 2018, sin embargo, es la ciudad del Gran Valparaíso que declara menor cantidad de valorización de residuos, siendo este sólo el 0,45 % de los residuos que se dispusieron.

Figura 1.14: Disposición (izquierda) y Valorización (derecha) de RSM del Gran Valparaíso



Fuente: Elaboración Propia con datos de informe RETC 2018.

1.5. Gestión de Residuos de Villa Alemana

La forma de abordar la gestión de residuos sólidos municipales varía según una serie de factores que están presentes dentro de la operación de esta, tales como, presupuesto dedicado, transporte, tipo de zona geográfica, número de habitantes, tipos de residuos generados, entre otros, variando a su vez los volúmenes de disposición y valorización de los residuos.

La labor de la gestión de los residuos sólidos municipales recae en la Dirección Ambiental Municipal (DAM), la cual se creó como Dirección en el año 2010, con el objetivo de transformar a la comuna de Villa Alemana en la “Capital del Medio Ambiente”. La constitución de la DAM significó un paso importante para comenzar a incorporar el desarrollo sustentable en el eje de gestión de la IMVA y en el proceso de la toma de decisiones que se realizan como Gobierno Local.⁷

El objetivo principal de la DAM es generar programas que permitan desarrollar políticas inte-

⁷<https://margamargaonline.cl/local/6046-villa-alemana-crea-oficina-del-medio-ambiente>

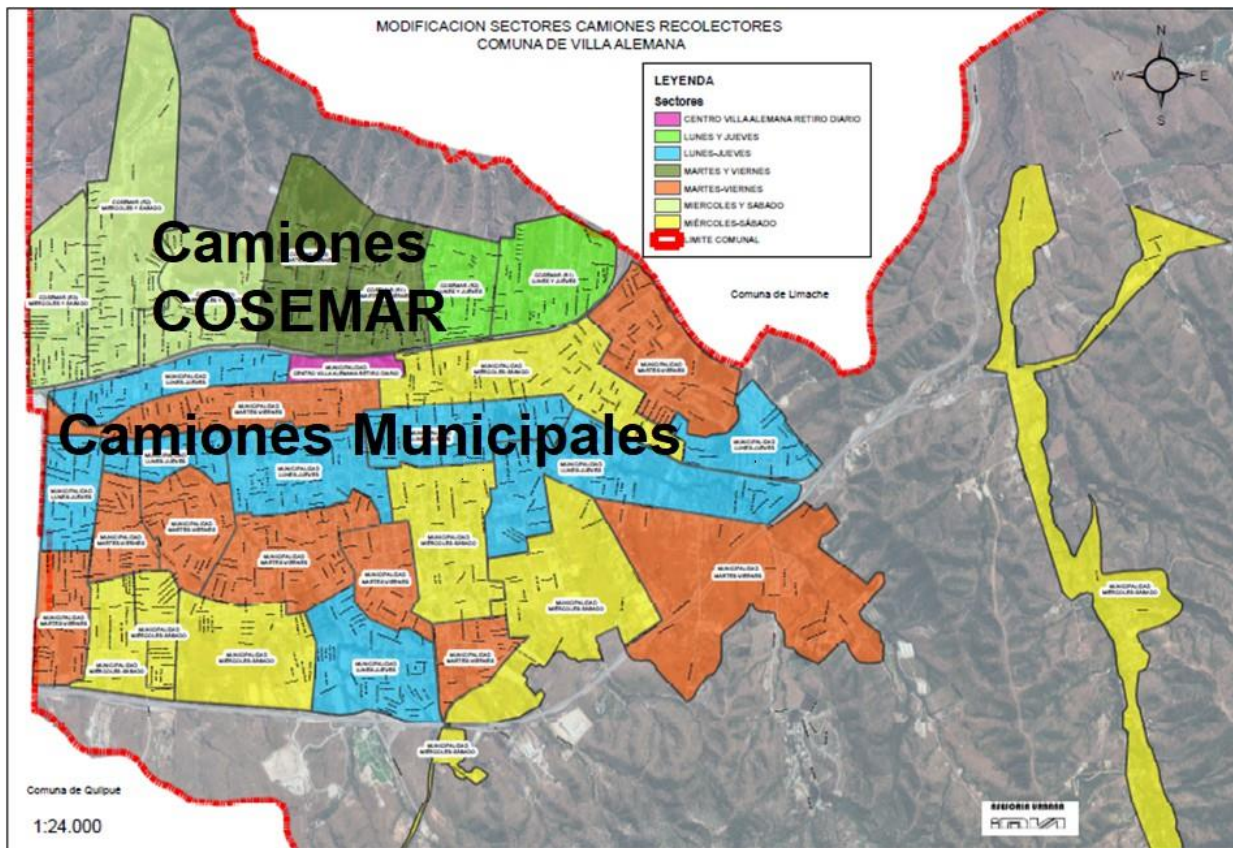
grales de gestión orientadas a mejorar la calidad de vida de las personas y proteger el patrimonio ambiental aportando soluciones locales a las problemáticas ambientales. El Reglamento Interno de la IMVA designa tres obligaciones que competen a la DAM para lograr un sistema de gestión de residuos municipal acorde al objetivo principal:

- Coordinar y supervisar el servicio de extracción de basura.
- Proponer y ejecutar medidas tendientes a promover planes y programas relacionados con el medio ambiente.
- Coordinar y dirigir el funcionamiento de la dirección ambiental mediante la coordinación del personal que se encuentra a su cargo, supervisando los procesos y actividades que realizan.

Además la DAM es la gestora de generar concursos públicos y aprobar licitaciones para cubrir servicios y actividades puntuales destinadas a la gestión de residuos.

El servicio de recolección y disposición final de residuos domiciliarios de la comuna está bajo una administración mixta entre la IMVA y la empresa privada COSEMAR, ya que, a principios del año 2018, el servicio se vio afectado al comenzar el cierre paulatino del vertedero municipal, lo que generó una inestabilidad a nivel comunal sobre el retiro de los residuos domiciliarios al comenzar a disponerlos en el relleno sanitario San Pedro. Desde este evento, la municipalidad tuvo que tomar medidas para evitar un riesgo sanitario en la comuna porque al disminuir la frecuencia de retiro, los residuos se estaban acumulando en las calles de la ciudad. La principal medida que se tomó para mitigar el inconveniente fue externalizar parcialmente el servicio de retiro de residuos domiciliarios mediante una contratación directa con la empresa COSEMAR, por lo tanto, la distribución de las zonas de retiro de residuos quedó conformada como se aprecia en la figura 1.15, en donde la empresa COSEMAR se hace cargo de la zona norte de la comuna en cuanto al retiro y traslado de residuos sólidos domiciliarios al relleno sanitario, siendo este servicio administrado y gestionado en la zona sur por la municipalidad.

Figura 1.15: Mapa de distribución de camiones recolectores en la comuna.



Fuente: Secretaría Comunal de Planificación de Villa Alemana.

Los datos sobre el volumen de residuos que se disponían en el vertedero municipal contaban con alto grado de incertidumbre, ya que no se controlaba el ingreso de residuos por medio de una báscula, sacando solo un dato estimativo por medio del volumen conocido del camión recolector, una medida arbitraria, aun así, estos datos se ingresaban en el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER), por medio de la ventanilla única RETC. Las toneladas de residuos domiciliarios declarados por la municipalidad son los siguientes:

Tabla 1.2: Toneladas y lugar de disposición de residuos de la comuna de Villa Alemana.

Año	Tonelada	Lugar Disposición Final
2016	77.655	Vertedero Municipal
2017	73.590	Vertedero Municipal
2018	37.073	Relleno Sanitario San Pedro
2019	43.165	Relleno Sanitario San Pedro
2020	59.929	Relleno Sanitario San Pedro
2021	43.110	Relleno Sanitario San Pedro

Fuente: Elaboración Propia con datos declarados por DAM a RETC.

Se puede evidenciar en la tabla 1.2 que el registro estimativo de los residuos tiene una alta variación al momento en que los residuos se comenzaron a disponer en el relleno sanitario San Pedro, en donde por ley deben realizar el pesaje de los camiones y que se lleve un registro del volumen que se dispone. Utilizando los valores del costo de disposición final en el relleno sanitario (\$8.800 por tonelada), el desembolso anual se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 1.3: Gasto anual en disposición de residuos de la comuna de Villa Alemana.

Año	Tonelada	Costo en pesos (CLP)
2016	77.655	\$621.240.000
2017	73.590	\$588.720.000
2018	37.073	\$289.793.680
2019	43.165	\$320.876.640
2020	59.929	\$479.432.000
2021	43.110	\$379.368.564

Fuente: Elaboración Propia con datos entregados por la DAM.

En paralelo al servicio de recolección de residuos domiciliarios para disposición final, existe el programa “Separación en el Origen”, el cual aporta a la disminución de las toneladas que se disponen en el relleno sanitario mediante la recolección diferenciada de residuos, su clasificación

y posterior tratamiento. Este programa se abordará más adelante junto con un diagnóstico del desempeño y propuestas de mejora.



Capítulo 2: Marco teórico y legal

2. Marco Teórico

Este capítulo tiene intención de presentar la gestión de residuos desde una perspectiva teórica, es decir, se expondrán los distintos tópicos que contemplan una debida gestión de residuos sólidos urbanos, la clasificación, tipos de recolección, revalorización, y las tecnologías existentes para el tratamiento de estos. Además, se expondrá el marco legal nacional que engloba la gestión de residuos en el país, decretos, leyes y diferentes normativas que sustentan las estrategias para el tratamiento de residuos.

2.1. Residuos

Un residuo, según lo descrito en la legislación chilena, es cualquier sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo a la normativa nacional vigente. Estos se clasifican en 2 grandes grupos:

- Según riesgo.
- Según origen

El primer grupo se subdivide en 3: residuos peligrosos, residuos no peligrosos e inertes, atendiendo a sus características físicas, químicas y biológicas. El segundo grupo está compuesto por:

- Residuos Sólidos Municipales o Urbanos
- Residuos Industriales

- Residuos Silvoagropecuarios
- Residuos Mineros
- Residuos de la Construcción
- Residuos Hospitalarios
- Lodos Activados

Dentro de los residuos sólidos municipales o urbanos (RSM,RSU), se encuentran los residuos sólidos domiciliarios y asimilables y los residuos sólidos domiciliarios. Los RSM, según su clasificación por riesgo, componen los residuos no peligrosos.

Figura 2.1: Clasificación de Residuos en Chile.



Fuente: (Climático, 2016)

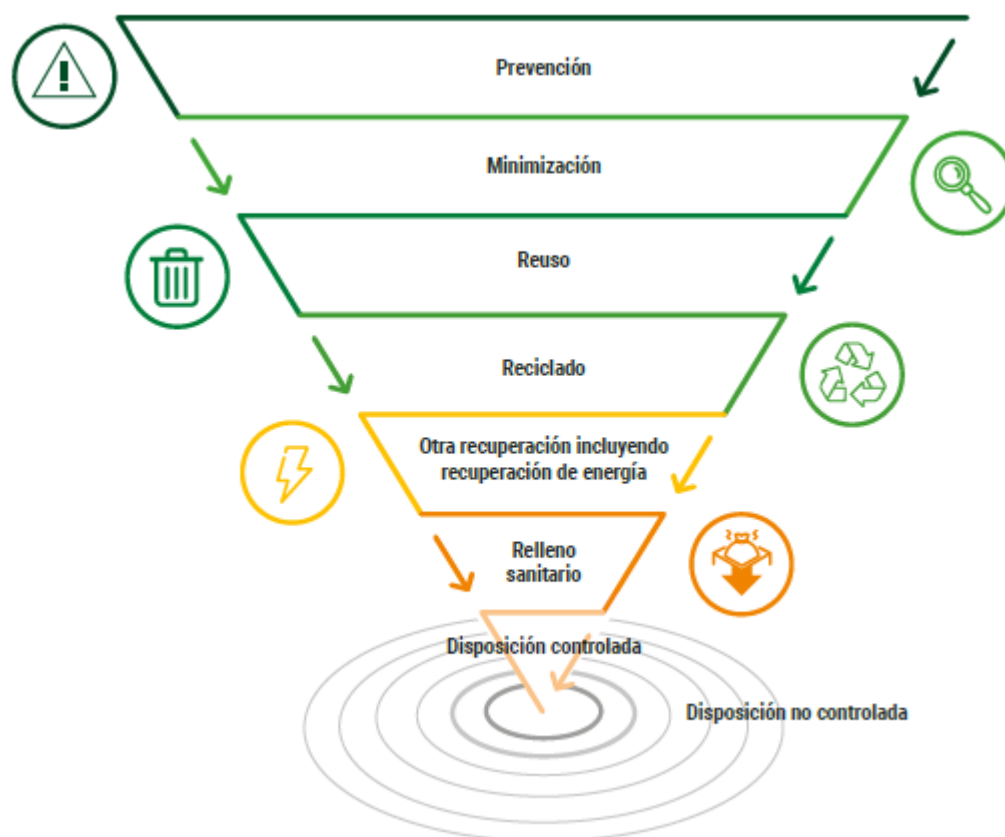
2.2. Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

La gestión, como definición, es un término amplio que tiene múltiples perspectivas y enunciados que varían dependiendo del autor, por lo que se encuentra evolucionando constantemente según el tópico de aplicación y el avance de tecnologías. La aplicación de la gestión en un modelo de gestión de residuos sólidos urbanos es una simplificación de la realidad, resumiendo los complejos mecanismos que interaccionan entre sí: temas sociales, técnicos y económicos para

abordar en primera instancia la matriz básica de la administración de los residuos. Se denomina gestión integral de residuos urbanos al conjunto de actividades interdependientes y complementarias que conforman un proceso de acciones para el manejo de residuos domiciliarios, con el objetivo de proteger el medio ambiente y la calidad de vida de una población, entendiendo que la inexistencia de dicha gestión traería consecuencias negativas medio ambientales, sociales y económicas.

La ONU Medio Ambiente establece una escala jerárquica con la finalidad de formalizar opciones de tratamiento que generen resultados ambientales positivos mediante una ideal combinación de opciones:

Figura 2.2: Jerarquía de la Gestión de Residuos



Fuente: (Medio Ambiente, 2018)

La gestión integral de residuos urbanos comprende las siguientes etapas:

a) Generación y disposición inicial

b) Recolección y transporte

c) Tratamiento

a) Generación y Disposición Inicial

Se considera generador a toda persona física o jurídica que produzca residuos en los términos de la Ley. El generador tiene la obligación de realizar el acopio inicial y la disposición inicial de los residuos de acuerdo a las normas complementarias que cada jurisdicción establezca. La disposición inicial de residuos domiciliarios deberá efectuarse mediante métodos apropiados que prevengan y minimicen los posibles impactos negativos sobre el ambiente y la calidad de vida de la población. Los generadores, en función de la calidad y cantidad de residuos, y de las condiciones en que los generan se pueden clasificar en:

- Generadores individuales
- Generadores especiales

Se considera generadores individuales, a aquellos generadores que no precisan de programas particulares de gestión, es decir, viviendas, locales comerciales, vía pública, entre otros. Se considera generadores especiales a aquellos generadores que producen residuos domiciliarios en cantidad, cantidad y condiciones tales que, a criterio de la autoridad competente, requieran de la implementación de programas particulares de gestión, previamente aprobados por la misma. (Berent y Vedoya, 2006)

b) Recolección y Transporte

Esta etapa está relacionada con la recogida de residuos del lugar donde los generadores lo clasificaron y almacenaron, para ser transportados hacia los sitios de tratamiento y/o disposición final. Es importante determinar la metodología y la frecuencia de recolección adaptada a la cantidad de residuos generados, su clasificación y las características ambientales y geográficas del territorio.

c) Tratamiento y Disposición Final

Los residuos luego de ser recolectados y transportados, es que se pueden dirigir a una planta de tratamiento en donde son valorizados mediante algún método, teniendo en cuenta que, los rechazos que genere el el proceso de valorización, deben tener como destino un centro de disposición final. Esta constituye una alta dificultad de operación, ya que tiene estrecha relación con el medio ambiente y la salud humana, por lo que su inadecuada administración favorece la contaminación de suelo, agua y aire. (do Rosario et al., 2014)

2.3. Alternativas tecnológicas para el tratamiento

Tecnología, según el diccionario de Oxford, es el conjunto de conocimientos propios de una técnica, lo que aplicado a la gestión de residuos sólidos, son los procedimientos y métodos que se utilizan para tratar los residuos, los cuales deben ser financieramente sostenibles, técnicamente viables, socio-legalmente aceptables y ambientalmente amigables. La selección apropiada de la tecnología a utilizar es un punto importante para la implementación de esta, en donde se debe considerar un estudio previo sobre la composición de los residuos de una determinada población y sus propiedades. En esta sección se describirán una serie de procesos y técnicas de tratamiento para los residuos orgánicos e inorgánicos.

A. Instalaciones de recuperación y clasificación de materiales

- **Reciclaje:** Esta técnica comprende la transformación físico-química de los residuos con el objetivo de obtener un producto o material nuevo. Para llevar a cabo el reciclaje se han categorizado los distintos tipos de residuos por colores, para que así exista una clasificación que permita darles el tratamiento adecuado según sus características. A continuación se presentan los distintos tipos de residuos con sus respectivos colores identificatorios según Norma Chilena 3322:2013

Figura 2.3: Clasificación de Residuos por composición y colores



Fuente: (INN, 2013)

Los residuos ingresan a instalaciones que pueden tener diferentes tratamientos según la clasificación y el estado en el cual se encuentran. Dentro de los residuos que reciben son: residuos limpios, residuos sucios y residuos específicos.

Para los residuos limpios, se realiza una segunda separación en estratos más pequeños que sirven para reciclar o producir combustible. En la separación se utilizan sistemas de clasificación manuales o automatizados.

En el caso de los residuos sucios, estos provienen de residuos mixtos, es decir, materiales reciclables secos junto con fracción de residuos orgánicos húmedos. Se debe realizar una separación mecánica de estos para así derivarlos al tratamiento correspondiente. Al existir contaminación cruzada, los productos resultantes son de menor calidad.

Las instalaciones que reciben residuos específicos se preocupan de la recuperación de materiales desde fracciones de residuos como basura electrónica, residuos de construcción y demolición o residuos plásticos.

- Centro de clasificación de residuos (sector informal)

Son centros que se ubican en distintos sectores de la ciudad, donde reciben los residuos, los clasifican y luego son gestionados por recicladores informales mediante una sepa-

ración más específica (manual y/o mecánicas). Según el uso que se le dará, pueden ser valorizados y/o enviados a instalaciones recuperadoras formales de mayor envergadura.

- Instalaciones de tratamiento mecánico biológico (MBT) Estas instalaciones utilizan variados procesos mecánicos y biológicos combinados para tratar y separar aún mas los residuos en fracciones reciclables, ricas en materia orgánica y combustible. Cada instalación se diseña contemplando el flujo de residuos de entrada que se tratará para así obtener productos con estándares establecidos para su uso. Dentro de las instalaciones se realizan las siguientes técnicas:

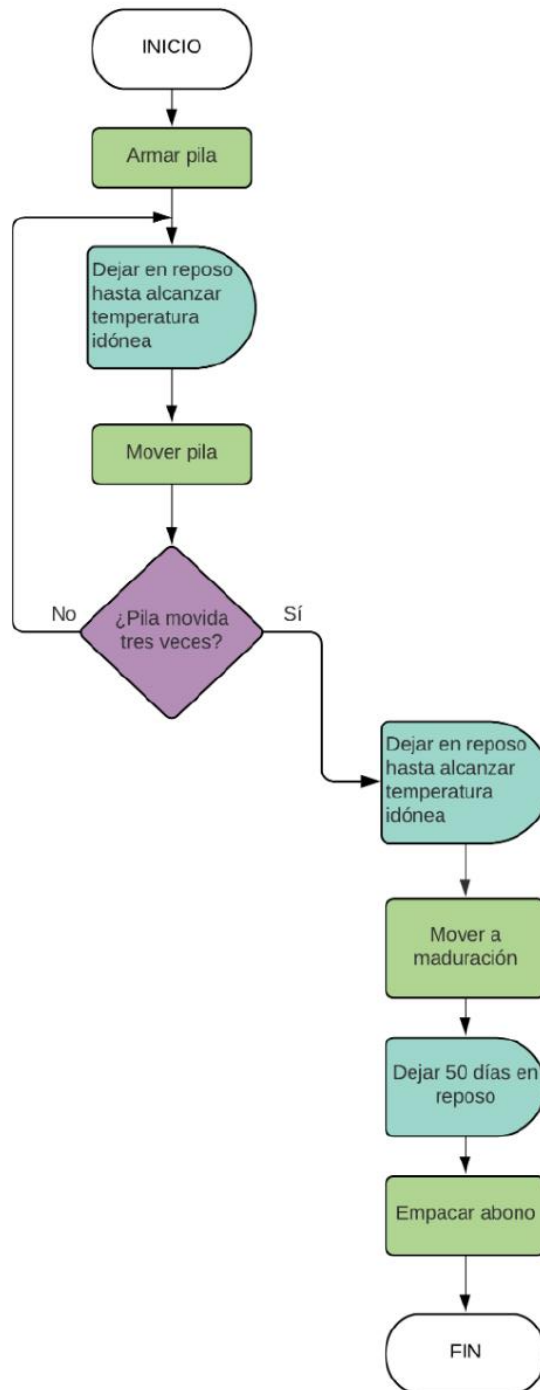
- Procesos unitarios biológicos aeróbicos: Se utiliza para estabilizar la fracción orgánica con la finalidad de reducir la biodegradabilidad y en consecuencia la capacidad de generar metano. Es empleado como pre-tratamiento antes del vertido en un relleno sanitario.
- Biosecado: Este proceso es utilizado para fabricar combustible sólido recuperado (CSR) mediante la descomposición aeróbica con alta aireación. Esta técnica es útil para tratamiento de residuos orgánicos con alta humedad. El CSR es utilizado por industrias con instalaciones de generación de energía de procesamiento térmico.
- Procesos unitarios biológicos anaeróbicos: El objetivo de esta técnica es la obtención de biogas mediante un proceso biológico en ausencia de oxígeno, por el cual la materia orgánica es convertida en metano, dióxido de carbono y abono.

B. Recuperación y Reciclaje Orgánico

- Compostaje: El compost es el producto de un proceso biológico que convierte los residuos biodegradables en un material similar al humus. Su uso está dado para mejorar propiedades biológicas y físicas del suelo. El uso del compost se puede establecer por la materia orgánica utilizada, si la materia limpia deriva de la segregación en la fuente, el uso será en la producción de alimentos. En cambio si los residuos son mezclados, estos se emplearán como materia prima para plantas de tratamiento mecánico biológicas. Existen dos métodos para generar compost: la primera es a partir de montones de residuos orgánicos que se

encuentran al aire libre y/o mediante recipientes que admiten procesamientos más rápidos, generalmente usados cuando la fracción orgánica contiene subproductos animales.

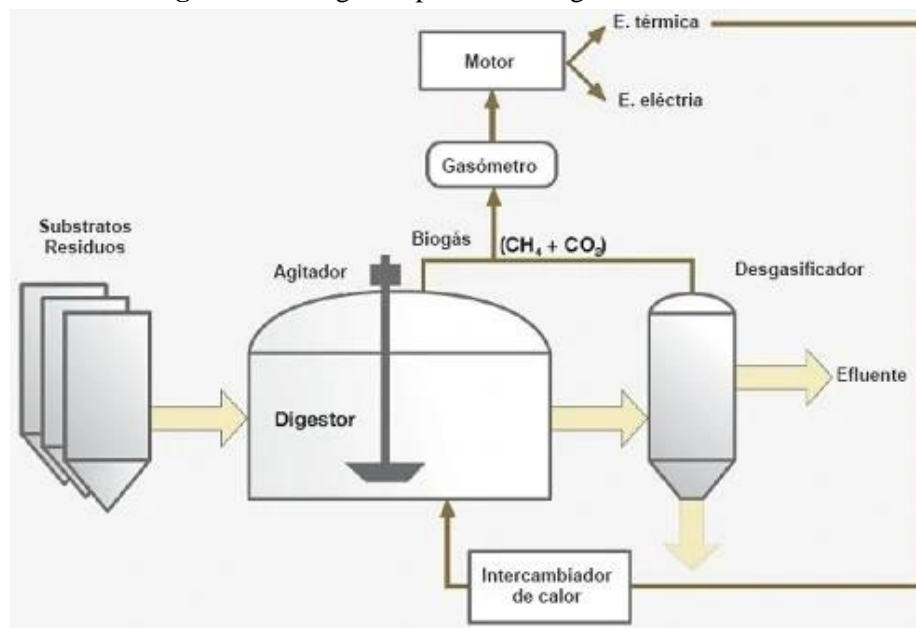
Figura 2.4: Diagrama proceso de compostaje



Fuente: (Losada et al., 2021)

- **Digestión Anaeróbica:** Este tratamiento produce energía a partir de la captación de biogas. Este se obtiene mediante la descomposición de la materia orgánica por microorganismos en ambiente anaeróbico. Preferentemente se utilizan residuos húmedos que provienen de lodos de aguas residuales y residuos de ganado. La contaminación cruzada con residuos mezclados puede interrumpir el proceso y prescindir de su uso como acondicionador de suelo. Los subproductos de este proceso se dirigen a tratamiento de compostaje para luego ser utilizados para tierras de bajo valor o secados para emplearlos como Combustible derivado de residuos (RDF).

Figura 2.5: Diagrama proceso de digestión anaeróbica.



Fuente: (Maicas Piqueras, 2016)

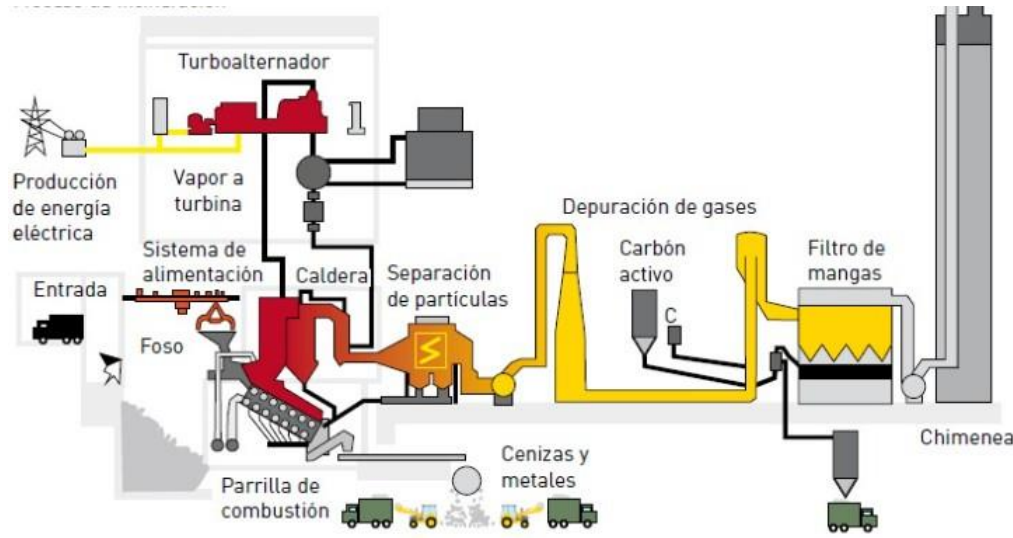
- **Alimentación animal:** Materia orgánica segregada en el origen se puede destinar directamente a alimentar ganado. Para el uso extensivo de esta técnica es que se deben realizar procesos de esterilización para evitar enfermedades.

C. Recuperación de combustible y energía a partir de residuos

- **Combustión con recuperación de energía:** Proceso utilizado para destruir componentes peligrosos de contaminantes orgánicos persistentes (COP) y producir energía. Esta opción requiere un alto control de procesos y limpieza de gases para evitar la emisión de contami-

nantes atmosféricos, como gases ácidos, metales y productos de combustión incompleta como las dioxinas. Esta tecnología puede alcanzar altos niveles de eficiencia considerando que es una conversión de residuos en electricidad y calor.

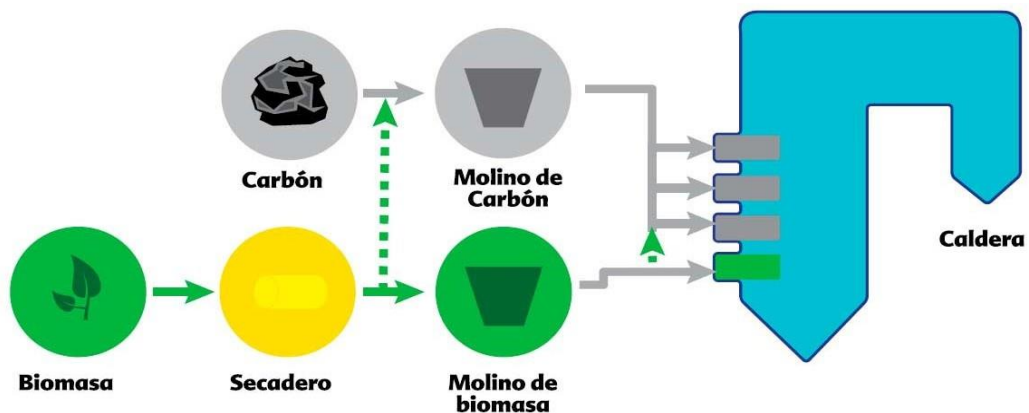
Figura 2.6: Diagrama proceso de incineración.



Fuente: (Velandia Sánchez, 2017)

- **Co-combustión en una instalación industrial:** La co-combustión consiste en la utilización de dos combustibles de diferente origen, principalmente carbón y biomasa, que se aprovechan para generar altas temperaturas en hornos de cemento, calderas industriales y centrales eléctricas. La finalidad de este proceso es reducir el uso de combustibles fósiles por aquellos que se preparan a partir de materia orgánica.

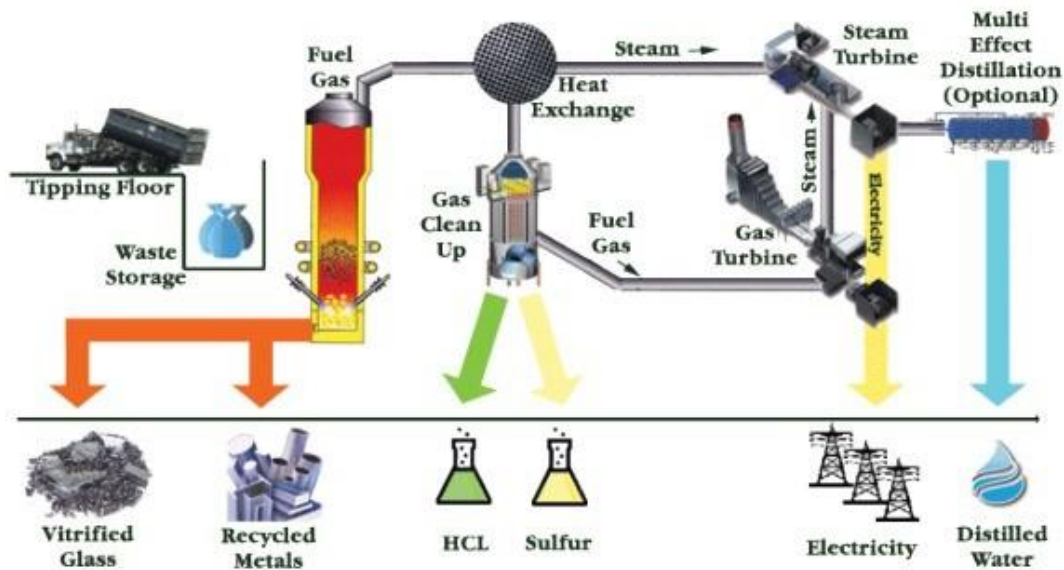
Figura 2.7: Diagrama proceso de digestión anaeróbica.



Fuente: (Nussbaumer, 2003)

- **Gasificación:** Es un proceso termoquímico que convierte la biomasa sólida (madera, residuos de madera, residuos de agricultura, entre otros) en una mezcla de gases combustibles llamada “gas pobre” o “gas de síntesis”. Este se produce bajo condiciones de altas temperaturas y en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua, entre otros). Si la oxidación se produce por medio de aire, se logra gas pobre; en cambio, si se oxida a partir de oxígeno, se obtiene gas sintético con un poder calorífico alto. Los gases producidos pueden ser utilizados como combustible para la generación de energía eléctrica y térmica. Además, se pueden obtener subproductos que son empleados en mejoramiento de suelos, la fabricación de materiales de construcción y para la producción de otros combustibles o productos químicos.

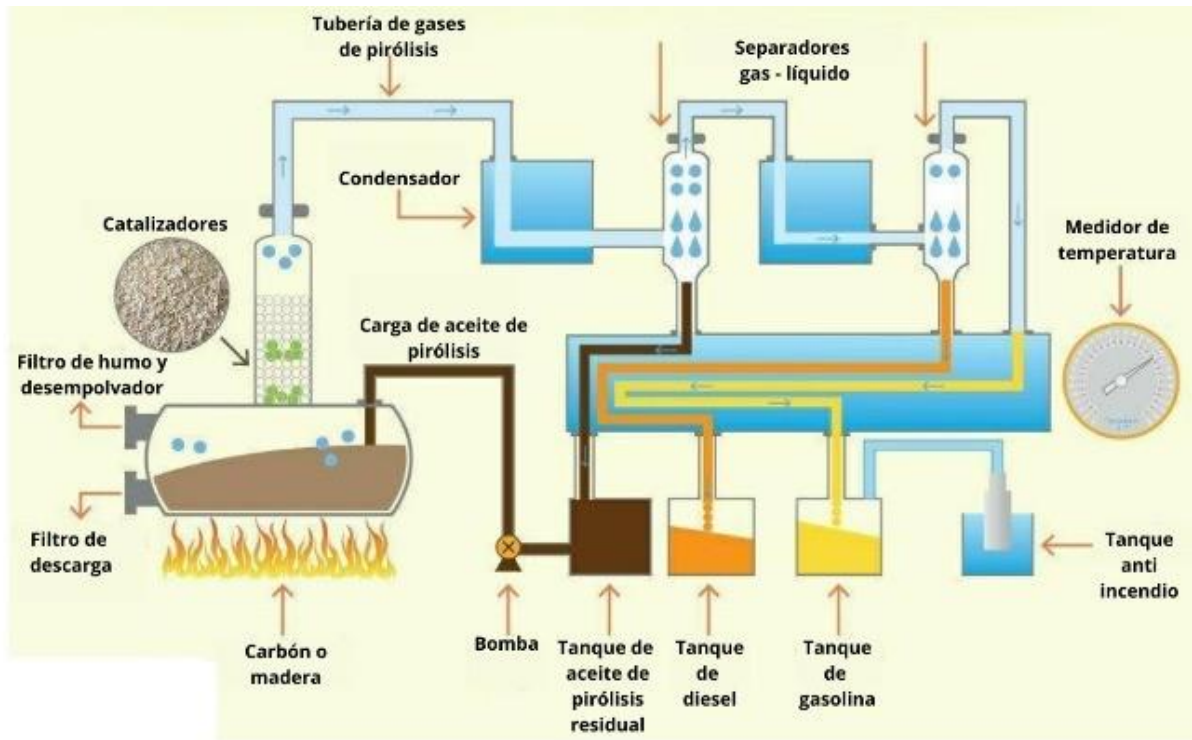
Figura 2.8: Diagrama proceso de gasificación.



Fuente: (Tobío-Pérez et al., 2020)

- **Pirólisis:** Es la degradación térmica con ausencia total de agentes oxidantes utilizando maderas y plásticos con alto poder calorífico para producir combustible líquido.

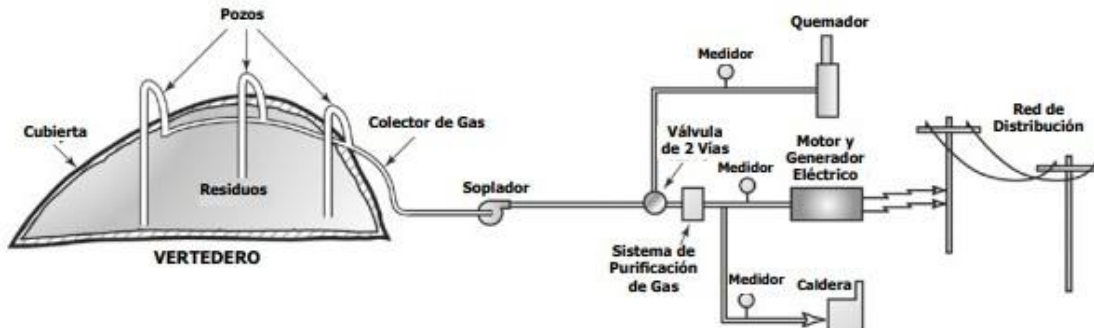
Figura 2.9: Diagrama proceso de pirólisis.



Fuente: (Müller et al., 2013)

- **Gas de relleno sanitario:** Se aprovecha el gas generado por la degradación anaeróbica de residuos orgánicos dispuestos en los rellenos sanitarios. El gas producido es, generalmente, metano, el cual es aprovechado para la producción de calor y/o electricidad.

Figura 2.10: Diagrama proceso de recolección biogás.



Fuente: (Castillo et al., 2013)

Ventajas y desventajas de las tecnologías.

Las ventajas y desventajas de cada tecnología varían dependiendo de la realidad en donde se emplazarían, aún así en las figuras 2.11 y 2.12 se muestra una tabla comparativa, analizando términos de espacio, costos, complejidad y disponibilidad de la técnica.

Figura 2.11: Comparación de tecnología según tipo de proceso.

Tecnología	Compostaje	Digestión Anaeróbica
¿Qué es?	Descomposición aeróbica de residuos orgánicos.	Biodegradación de residuos orgánicos en ausencia de oxígeno, con microorganismos anaeróbicos.
Valorización	Compost con valor como mejorador de suelo y fertilizante. Completa el ciclo de material biológico.	Produce biogás para uso directo, o para conversión a electricidad/calor.
Residuos de Entrada	<ul style="list-style-type: none"> - Fracción orgánica separada de RSU o residuos de alimentos. - Otros residuos orgánicos sólidos. - Madera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fracción orgánica separada de RSU o residuos de alimentos. - Excremento animal y humano. - Líquidos y lodos. - Menos adecuado para madera.
Reducción de Volumen	50 – 70 %	45 – 50 %
Complejidad del control de la contaminación	Baja – Media.	Baja – Media.
Costo por tonelada (USD)	25 – 70	65 – 120
Condiciones para el éxito	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible a la temperatura. - Largo tiempo de residencia. - Aireación Regular. - Control de Olores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Procesos Microbianos sensibles a la contaminación. - Funciona mejor con materiales limpios.
Espacio apropiado para funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Doméstico y comunitario. - Nivel Centralizado a gran escala. 	<ul style="list-style-type: none"> - Digestores descentralizados a pequeña escala. - Mayor escala para la fracción orgánica de RSU.
Alcances	- Extendido en países de altos ingresos.	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor interés en países de ingresos altos. - Países de bajos ingresos a menor escala.
Aplicabilidad en países en desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> - Alto potencial para países en vías de desarrollo. - No se ha generalizado por costos operativos y la necesidad de segregación en el origen. 	- Digestores Anaeróbicos de pequeña escala son utilizados para satisfacer necesidades de calefacción y cocina en comunidades rurales.

Fuente: Elaboración Propia con datos de (Wilson et al., 2015)

Figura 2.12: Comparación de tecnología según tipo de proceso.

Tecnología	Energía desde Residuos			Tratamiento Mecánico - Biológico
	Combustión con recuperación de calor y energía	Gasificación	Pirólisis	
¿Qué es?	Combustión directa de residuos en presencia del exceso de aire (oxígeno) para recuperación de energía (principalmente térmica).	Oxidación parcial de desechos en presencia de menos aire (u otro oxidante) para completar la combustión.	Degradación térmica en ausencia completa de aire y otros agentes oxidantes.	Combinación de procesamientos mecánicos con reactores biológicos en la misma planta. Los biorreactores pueden ser de biosecado, compostaje o digestión anaeróbica.
Valorización	<ul style="list-style-type: none"> - Produce electricidad y/o calor. - Esteriliza por completo, destruyendo los compuestos orgánicos, incluidos los desechos peligrosos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad teórica para utilizar gas sintético en motores de gas de alta eficiencia. - Potencialmente menores emisiones de contaminantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desechos se pueden convertir fácilmente en productos combustibles líquidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión avanzada de flujo de materiales, versatilidad y modularidad. - Los beneficios dependen del tipo de tratamiento.
Residuos de Entrada	<ul style="list-style-type: none"> - RSU mixto o combustible preparado (RDF). - Versátil con materias primas, si son combustibles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos preparados. Más adecuado para el tratamiento de RDF o SRF producidos por MBT. - Aplicable a una gama de otros residuos orgánicos homogéneos. 	<ul style="list-style-type: none"> - RSU mixtos. - RSU residuales. 	
Reducción de Volumen	75 – 90 %	90 %	50 – 90 %	Variable. Depende del tipo de planta.
Complejidad del control de la contaminación	Alta	Media	Media	Media – Baja
Costo por tonelada (USD)	95 – 190.	95 – 190.	95 – 190.	20 – 70.
Condiciones para el éxito	<ul style="list-style-type: none"> - Buen control de procesos. - Mercado necesario para vapor/agua caliente. - Clima frío con demanda de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere pretratamiento de materiales de entrada. - Necesidad de mercado para gas sintético. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere pretratamiento de materiales de entrada. - Necesidad de mercado para combustibles líquidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de planta para objetivos específicos.
Espacio apropiado para funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> - A gran escala es la opción más común y preferida. - Economías de escala permiten estándares altos en control de emisiones y mayor eficiencia energética. 	<ul style="list-style-type: none"> - Viables a pequeña, mediana y gran escala. 	<ul style="list-style-type: none"> - Viables a pequeña, mediana y gran escala. 	<ul style="list-style-type: none"> - Viable a pequeña, mediana y gran escala. - Típicamente modular, más flexible que el procesamiento térmico.
Alcances	<ul style="list-style-type: none"> - Ampliamente aplicado. (Europa, Japón, China, entre otros.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Japón y Corea. - Interés en Europa para pequeñas y medianas escalas. 	<ul style="list-style-type: none"> - No ampliamente establecido para RSU. 	<ul style="list-style-type: none"> - Muy extendida en Europa. - Fuerte interés en todo el mundo.
Aplicabilidad en países en desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> - Dificil recuperación de costos en países de bajos y medianos ingresos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Potencial para la tecnología de gasificación de la madera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo. Aún no establecido, incluso en los países desarrollados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diferentes niveles de costo y sofisticación para países en desarrollo.

Fuente: Elaboración Propia con datos de (Wilson et al., 2015)

2.4. Marco Legal

El manejo de residuos urbanos de una comuna está sujeto a las disposiciones de diversos cuerpos legales y reglamentarios; entre otros, los siguientes:

- Constitución Política de la República de Chile: En su artículo No. 8, la Constitución asegura a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Como deber del Estado se encuentra el velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza. La ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente.
- Código Sanitario (Decreto con Fuerza de Ley N°725 del 11 de diciembre de 1967, del Ministerio de Salud): Establece la obligación de las municipalidades de recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana.
- Normas Sanitarias Mínimas para la Operación de Basurales (Resolución N°2.444, MIN-SAL): Establece las normas sanitarias mínimas para la operación de basurales, definiendo características del lugar, la dotación necesaria, el personal necesario, condiciones para la operación del basural y la fiscalización por parte de las autoridades.
- Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley N°19.300, del 1 de marzo de 1994, Ministerio Secretaría General de la Presidencia): Ordena que los proyectos o actividades relacionadas a saneamiento ambiental (sistemas de alcantarillado, plantas de tratamiento de residuos sólidos municipales, rellenos sanitarios, entre otros) deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 20.173 de 2007, modifica la ley 19.300: Establece un marco en el cual se debe desarrollar el actuar del sector público y privado, y un desarrollo jurídico adecuado a la garantía constitucional que asegura a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.
- Ley N° 18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades Ministerio del Interior, SUBDERE: establece como función privativa de las municipalidades el aseo y ornato de la

comuna y atribuye a la unidad de medio ambiente, aseo y ornato, velar por la limpieza de las vías públicas, parques, plazas, jardines y, en general, de los bienes nacionales de uso público existentes en la comuna, y por el servicio de extracción de basura.

- Ordenanza Medio Ambiental de la Ilustre Municipalidad de Villa Alemana (Decreto Alcaldicio N°1.862, del 6 de octubre de 2015, Municipalidad de Villa Alemana): Dicha ordenanza tiene por objetivo establecer el marco legal que regule, proteja y conserve el medio ambiente, de modo tal que permita contribuir al ejercicio del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, y al mejoramiento de la calidad de vida de todos los vecinos de la comuna de Villa Alemana.
- Ordenanza Municipal de Transporte de Residuos (Decreto Alcaldicio N° 1902, del 7 de diciembre de 2016, Municipalidad de Villa Alemana): Establece protocolo para realizar el transporte de basuras, residuos, escombros o residuos de cualquier tipo dentro de la comuna, determinando sanciones en caso de incumplimiento.
- Reglamento sobre Normas Sanitarias Mínimas Municipales (Decreto Supremo N°4.740, del 23 de agosto de 1947, Ministerio del Interior): Determina la forma de clasificación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final adecuado para la higienización de basuras, residuos y desperdicios de la vía urbana.
- Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (Ley N°20.920, del 17 de mayo de 2016, Ministerio del Medio Ambiente): Determina los principios a seguir con el objetivo de 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.
- Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC (Decreto Supremo N°1, del 2 de enero de 2013, Ministerio del Medio Ambiente): Establece que toda municipalidad debe crear y declarar un inventario o base de datos virtual con información ambiental relacionada a los residuos recolectados por éstas o por terceros contratados por ella y de sustancias químicas contaminantes emitidas a la atmósfera, al agua y al suelo por alguna operación municipal.

Decreto Ley 3.063 sobre Rentas Municipales: Establece tarifa de pago por el servicio de recolección, transporte y eliminación de residuos sólidos municipales.

- Ley 20.417: Otorga a las municipalidades la facultad de proponer y ejecutar medidas tendientes a materializar acciones y programas relacionados con el medio ambiente; aplicar normas ambientales a ejecutarse en la comuna y elaborar el anteproyecto de ordenanza ambiental.
- Política Nacional de Residuos 2018-2030: Establece, ordena y orienta las acciones que el Estado debe ejecutar para aumentar la tasa de valorización de residuos hasta un 30 % entre el 2018 y 2030 mediante el enfoque de la economía circular.
- Decreto N° 12 del 8 de Junio del 2020, Ministerio de Medio Ambiente: Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas a envases y embalajes, fomentando su reutilización o valorización. El artículo 36 establece plazos de cumplimiento para la entrega separada en origen y recolección selectiva de residuos.
- NCh 3321: 2012 del Instituto Nacional de Normalización: Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (RSM).
- NCh 3322:2013 del Instituto Nacional de Normalización: Colores de Contenedores para Identificar Distintas Fracciones de Residuos.
- NCh 2880: 2015 del Instituto Nacional de Normalización: Compost – Requisitos de Calidad y Clasificación.
- NCh 3375: Instituto Nacional de Normalización: Digestato - Requisitos de Calidad.
- NCh 3376: 2015 del Instituto Nacional de Normalización: Residuos Sólidos Municipales — Diseño y Operación de Instalaciones de Recepción y Almacenamiento.

Figura 2.13: Diagrama resumen marco legal.



Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo 3: Diagnóstico

En el siguiente capítulo se describirá el escenario actual del programa “Separación en el Origen”, definiendo las etapas que se realizan en el tratamiento a los residuos orgánicos e inorgánicos. Luego se analizarán los resultados que se han obtenido de la aplicación del programa, comparándolo de forma económica y con otras comunas. Finalmente se aplicará un análisis F.O.D.A. identificando los distintos factores que potencian o amenazan al programa.

3. Programa “Separación en el Origen”

El programa “Separación en el Origen” (PSO) existe desde el año 2011 realizando el retiro de material orgánico e inorgánico de la comuna. Este comprende una serie de actividades que se ejecutan para el reciclaje y valorización de los residuos, en la cual participan distintos actores: desde los habitantes hasta organizaciones y/o empresas que aportan al manejo de los residuos. A grandes rasgos, las actividades que se realizan en la comuna se pueden dividir en dos: un retiro diferenciado de residuos, en la cual se recolectan restos orgánicos, plásticos, aluminio, vidrio, tetrapak, aceite usado, entre otros, y la distribución diferenciada de contenedores para reciclaje desplegados por toda la comuna.

3.1. Retiro de residuos

En primer lugar, los residuos segregados en los domicilios se retiran dos veces por semana en rutas definidas según día y sector. El retiro diferenciado no se realiza en todas las viviendas de la comuna, ya que la cobertura del servicio no da abasto para los aproximadamente 40.000 hogares,

por lo que actualmente existen 1.200 viviendas inscritas a través de 25 juntas de vecinos, de las cuales un 40 % participa activamente. Además del retiro a domicilios, una parte importante de la materia orgánica se retira diariamente desde algunos locales comerciales, como verdulerías, ferias y el mercado municipal. La limitación del programa radica en la disponibilidad de sólo dos camiones recolectores municipales que tienen una capacidad acotada para abordar toda la comuna, los cuales son operados por personal de una empresa externa.

Figura 3.1: Retiro domiciliario y jaulas de acopio.



Fuente: Elaboración Propia, Peñablanca, Julio 2022

Paralelamente, existe una recolección de residuos reciclables que está a cargo de instituciones y/o empresas que tienen un convenio con la municipalidad, dependiendo del tipo de residuo reciclable que traten. Dicho convenio consiste en permitir la instalación de puntos de recolección, o puntos verdes, en variados sectores estratégicos dentro de la comuna por medio de campanas o celdas de acopio, para luego retirarlas y darles el tratamiento correspondiente. En la figura 3.2 se puede apreciar una tabla con las instituciones que tienen dicho convenio y el número de contenedores que cada una tiene desplegada en la comuna.

Figura 3.2: Contenedores desplegados en la comuna por institución.

Residuo Inorgánico	Tipo/Color Contenedor	Institución Responsable	N° de Contenedores
Papeles y Cartones	Campanas Azules	Fundación San José	4
Botellas de vidrio	Campanas Verdes	Coaniquem, a través de Núcleo Verde y Cristoro	49
Plástico N°1 (PET)	Jaulas de Reciclaje	Reciclaje Ecologist SpA.	163
Aceite de cocina usado	Contenedor redondo	Bioils	1
Pilas	Contenedor cuadrado o bidones	Bellbast Chile Ltda. Reciclamos Tu Mundo	3
Tetrapack	Contenedor hecho de tetrapack	Phoenix Brik	1

Fuente: Elaboración Propia con datos facilitados por la DAM (2020).

El retiro de los residuos en contenedores está a cargo de las empresas respectivas, los cuales acuerdan semanalmente los días de retiro, con un camión pluma (en el caso de las campanas) y un camión $\frac{3}{4}$ para las jaulas de reciclaje. Se estima que cada uno se retira 2 veces por semana como máximo y son llevados a los centros de acopio de la respectiva institución.

3.2. Clasificación de los residuos

El programa define la clasificación de residuos según el tipo de tratamiento que pueden brindar, diferenciando, en primera instancia, los residuos orgánicos e inorgánicos que los domicilios y las instituciones pueden entregar. Como se ve en la figura 3.3, dentro de esta clasificación, se encuentran los distintos tipos de desechos que los usuarios deben segregar desde su origen para que tengan un adecuado tratamiento. En el apartado de los orgánicos se encuentran los restos de frutas, verduras y cortes de pasto o podas de árboles. Mientras que en el apartado de los residuos inorgánicos se recibe tetrapack, latas, tapas de botellas, aceite usado de cocina, cables-celulares, botellas de vidrio, pilas, papel-cartón, ecoladrillos y plásticos PET 1, HDPE y PP rígido.

Figura 3.3: Clasificación de residuos valorizables por el Programa “Separación en el Origen”.



Fuente: Proporcionado por Teresita García, profesional encargada del PSO.

3.3. Tratamiento de los residuos separados

La fase de tratamiento de los residuos comienza cuando el camión de retiro diferenciado ingresa a las dependencias del programa ubicada en el ex-vertedero municipal para hacer la descarga. (Figura 3.4). El camión se posiciona dependiendo si el residuo a descargar es orgánico o inorgánico, en donde se estima el volumen según el recipiente que los contiene. El camión de retiro utiliza contenedores de 20 litros para el transporte de orgánicos e inorgánicos, utilizando, en menor frecuencia, maxisacos para residuos más voluminosos como botellas plásticas y cartones.

Figura 3.4: Layout dependencias PSO.



Fuente: Google Earth.

El tratamiento específico para los dos grandes grupos de residuos se lleva de la siguiente manera:

Residuos Orgánicos

Funcionarios municipales dependientes de la Unidad de Operaciones junto con personal del programa de Formación, Capacitación y Empleo de CONAF se encargan del tratamiento de residuos orgánicos mediante procesos de compostaje y vermicompostaje.

- **Proceso de Compostaje:** Se realiza mediante la confección de camas composteras compuestas de chip de podas, residuos orgánicos cortados y tierra. Por cada cama, durante 3 a 4 meses, personal de CONAF se encarga de controlar parámetros de pH, temperatura y humedad para así obtener como producto final compost. Este es utilizado para operaciones de la Unidad de Parques y Jardines y en distintos talleres medioambientales organizados por la municipalidad.

Figura 3.5: Chipeadora, camas de compost y arneo final.



Fuente: Visita a terreno Julio 2022.

- Proceso de Vermicompostaje o Lombricultura: Con el compost producido, se preparan camas que contienen lombrices californianas, a las cuales se les alimenta con residuos orgánicos cortados para luego extraer por medio de arneo, humus que es utilizado como fertilizante para el arreglo de plazas y áreas verdes de la comuna.

Figura 3.6: Corte de orgánicos, lombriz californiana y camas de vermicompostaje.



Fuente: Visita a terreno Julio 2022.

Luego de la producción de compost y humus, estos dos productos se suelen mezclar en porcentajes que responden al tipo de cultivo que se quiere realizar, cuidando parámetros de cuantos nutrientes necesita el sembrado para que sea un aporte a su crecimiento. En la figura 3.7 se representa un diagrama resumen del proceso de tratamiento de residuos orgánicos.

Figura 3.7: Diagrama de Tratamiento de Residuos Orgánicos.



Fuente: Elaboración Propia según entrevista a Teresita García, profesional encargada del PSO.

Residuos inorgánicos

La municipalidad externalizó el servicio para el tratamiento mediante una propuesta pública adjudicada por la empresa We Küyen, quienes operan en 4 fases: recepción, clasificación, pretratamiento, almacenaje y valorización.

- **Recepción:** Área de descarga de los materiales provenientes de los camiones PSO, donde el reciclador base clasifica en determinados receptáculos y registra el peso.

Figura 3.8: Área de recepción y descarga.



Fuente: Visita a terreno Julio 2022.

- **Clasificación:** Se dispone de manera transitoria el material descargado en maxi sacos y jaulas para luego dar una clasificación según los criterios presentados anteriormente. Los residuos inorgánicos como las latas, PET 1, papel y cartón comprenden sub clasificaciones compuestas por:
 - Latas: Latas de bebestibles y hojalata (tarros conserveros).
 - PET 1: Color de plástico (verde, azul o transparente).
 - Cartón: Corrugados y cartón tipo duplex.
 - Papel: Blanco, mixto, diario, revistas
 - Tapas de botellas: Plásticas y metálicas.

Figura 3.9: Área de clasificación. (a) Residuos mezclados para segregar. (b) Almacenamiento. (c) Clasificación.



Fuente: Visita a terreno Julio 2022.

- **Pre tratamiento:** Luego de la clasificación, se realizan operaciones físicas preparatorias para la valorización o eliminación del material, destinadas a potenciar valor, facilitar manipulación y/o reducir volumen. Las maniobras son lavado, compactado, confección de fardos, separación de etiquetas, entre otros.

Figura 3.10: Compactadora de plásticos y cartón.



Fuente: Visita a terreno Julio 2022.

- Almacenaje y valorización: Como fase final, se disponen los materiales preparados en los galpones del PSO, detallando los kilos valorizados y disponiendo en bateas municipales aquellos residuos que no están aptos para reciclaje. Para evitar acumulación del material reciclado, We Küyen realiza el retiro y transporte de estos 1 a 2 veces por semana a centros de reciclaje.

Figura 3.11: Almacenamiento a la espera de retiro



Fuente: Visita a terreno Julio 2022.

Es importante mencionar que el pesaje que se realiza en las etapas de recepción y almacenaje no se realiza de forma permanente. Esto se da por factores de desorden en la periodicidad de la llegada de los camiones y por falta de equipos para agilizar el proceso.

3.4. Distribución y venta

Los residuos inorgánicos ya almacenados son distribuidos por We Küyen a distintos centros de reciclaje con los cuales tienen celebrados convenios de gestión del material. El destino de ellos se clasifica según el tipo de residuo a distribuir, quedando la estructura de repartición de la siguiente forma:

- PET 1: Este material es distribuido a recicladores base establecidos en la comuna de Limache y también se mantiene un convenio de trabajo con la empresa Recupac, la cual está ubicada en la comuna de Quilpué.

-
- HDPE y PP rígido: Este tipo de plástico se distribuye a la empresa Recupac y a recicladores de base.
 - Tapas de botellas: Se entregan a la empresa Upcycling, la cual es un emprendimiento en donde tratan el plástico que contienen para producir distintos productos, tales como portavasos, maceteros, set de cachos, entre otros.
 - Papel - Cartón: Este tipo de residuo se almacena hasta que lo retiran camiones de la Fundación San José y/o se distribuyen a las empresas Recupac y SOREPA.
 - Latas: Se destinan a una campaña para financiar reforestaciones y una parte se distribuye a recicladores base ubicados en Quilpué y Limache.
 - Tetrapack: Es retirado del programa por la empresa Recupac y además se distribuye a proyectos agrícolas y reforestaciones para su reutilización.
 - Botellas de vidrio: Son retiradas por la empresa Cristalería Cristoro, quienes reciclan el material para producir nuevos productos a base de vidrio: botellas, jarras, vasos, entre otros.
 - Ecoladrillos: Estos son almacenados para poder utilizarlos en proyectos de bioconstrucción impulsados por la municipalidad.
 - Aceite de cocina: Se tiene un convenio con la empresa BiOILS, quienes realizan el tratamiento y la posterior exportación de los productos obtenidos de su procesamiento, que derivan en combustibles para usos industriales. También se hace entrega a la empresa Recicloaceite, un emprendimiento que produce jabones, detergentes y velas para su comercialización.
 - Celulares: Se donan a proyecto Alquimia, quienes distribuyen dichos celulares a empresas recicladoras de electrónicos.
 - Pilas y cables: Estos residuos se mantienen en etapa de almacenamiento, ya que su tratamiento sería la disposición final en rellenos de seguridad, de los cuales en la quinta región no se encuentran.

Figura 3.12: Cuadro resumen distribución de material valorizable.

Material Reciclable	Empresa/Convenios	Destino
Tetrapak	Empresa Recupac	Reciclaje
	Proyectos Agrícolas	Reutilización
	Reforestaciones	Reutilización
Latas (UBC aluminio)	Recicladores Base de Belloto y Limache	Reciclaje
	Reforestaciones	Reutilización
Papel y Cartón	Empresa Recupac	Reciclaje
	Empresa SOREPA	Reciclaje
	Fundación San José	Reciclaje
PET (1)	Empresa Recupac	Reciclaje
	Recicladores base de limache	Reciclaje
HDPE (2) y PP (5)	Recicladores de base	Reciclaje
	Empresa Recupac	Reciclaje
Tapas de botellas	Emprendimiento Upcycling Co	Reciclaje
Aceite de cocina	BiOILS (exportadores)	Reciclaje
	Recicloaceite	Reciclaje
Celulares	Proyecto Alquimia	Reciclaje
Botellas de vidrio	Cristalería Cristoro	Reciclaje
Ecoladrillos	Proyectos de Bioconstrucción	Reutilización
Pilas y Cables	Almacenamiento por falta de tecnología para su tratamiento	Relleno de seguridad para residuos peligrosos

Fuente: Elaboración Propia.

Venta de material reciclado

El valor de compra del material reciclado varía dependiendo de su clasificación y según el centro del reciclaje que lo reciba. Actualmente no existe una regulación sobre los precios que se fijan a cada residuo, por lo que estos oscilan conforme a el objetivo y contexto de cada empresa. En la figura 3.13 se muestran los valores de compra indicados por cada empresa recicladora y el tipo de material a reciclar:

Figura 3.13: Tarifas (CLP\$) por kilo de compra de residuos según clasificación

	Recupac	SOREPA
Papel Blanco	\$ 110	\$ 60
Papel Mixto	\$ 40	\$ 30
Diario	\$ 35	\$ 20
Revistas	\$ 40	\$ 30
Cartón Corrugado	\$ 55	\$ 13
Cartón Duplex	\$ -	\$ 23
Tetrapack	\$ 10	\$ -
	R.B. Belloto	R.B. Limache
Latas UBC	\$ 500	\$ 700
Hojalata	\$ 75	\$ 90
	Recupac	R.B. Limache
PET (1)	\$ 100	\$ 50
HDPE (2)	\$ 40	\$ -
PP (5)	\$ 40	\$ -

Fuente: Elaboración Propia con datos entregados por Municipalidad

Como se puede ver en la figura, las empresas y recicladores base, con las cuales We Küyen mantiene contrato y/o convenio, establecen tarifas del material reciclable según la composición que poseen, las cuales difieren dependiendo del destino o el proceso de tratamiento que estas emplean en el material reciclable. Además, se puede identificar que el material reciclable con mayor rentabilidad corresponde a las latas UBC, el cual tiene un precio de \$500 por kilo con recicladores base de Belloto hasta los \$700 por kilo con recicladores base de Limache, mientras que el material con menor rentabilidad es el Tetrapack, el cual tiene un valor de \$10 por kilo.

También existe material reciclado que no se les otorga una tarifa de venta, ya que corresponden a convenios establecidos como una cooperación. Los residuos que se entregan gratuitamente son las tapas de botellas plásticas a emprendimiento Upcycling, el aceite usado se gestiona con la empresa RecicloAceite y el vidrio retirado por empresa Cristoro solo se clasifica y almacena en maxisacas para luego ser derivado por la misma empresa a sus centros de reciclaje.

3.5. Diagrama de flujo

En la figura 3.14 se puede observar a grandes rasgos las actividades que componen el desarrollo del retiro de residuos segregados de los distintos hogares que están inscritos en el programa por medio de las juntas de vecinos. En primera instancia, la clasificación proviene de las personas que conviven en el hogar, siendo de vital importancia la educación en como separar esos residuos y el estado en el cual deben estar para luego ser entregado al personal de retiro, quienes revisan que los residuos a valorizar estén clasificados debidamente y en las condiciones requeridas para su tratamiento.

Figura 3.14: Diagrama de Flujo “Separación en el Origen”.



Fuente: Elaboración Propia según entrevista

3.6. Resultados del Programa

El resultado de las actividades antes mencionadas se refleja en el peso de residuos que se está aprovechando, de manera que se puede determinar como la valorización de los residuos generados, impacta positivamente en la comuna y directamente a la gestión municipal, lo cual se puede ver en el siguiente gráfico comparativo:

Figura 3.15: Recolección de residuos sólidos domiciliarios periodo 2016-2021



Fuente: Elaboración Propia con datos recopilados de la DAM.

Se puede apreciar en la figura 3.15 que las actividades antes mencionadas han generado un impacto en los residuos que se disponen en el relleno sanitario y que ha ido en aumento en el tiempo, aún así, frente a la cantidad de residuos que se generan y disponen, no es muy significativo, pero se puede observar en la tabla 3.1 que las toneladas de residuos valorizadas si comprenden una ventaja económica al prevenir disponerlos en el relleno sanitario.

Tabla 3.1: Toneladas recuperadas a pesos por año

Año	Toneladas Recuperadas	Valor en pesos(\$CLP)
2016	309	\$2.472.000
2017	363	\$2.904.000
2018	406	\$3.248.000
2019	398	\$3.184.000
2020	435	\$3.480.000
2021	473	\$3.784.000

Fuente: Elaboración Propia.

Las acciones llevadas a cabo por los actores del programa, generan un impacto positivo al percibir ingresos con respecto a los residuos tratados, generando un retorno en dinero para la empresa encargada de la clasificación y distribución del material. Atendiendo a la falta de prolijidad y a la información disponible en los datos del registro de los residuos que se valorizan, se puede obtener un estimativo de cuánto es el retorno de dinero por cada clasificación de material reciclable en un plazo de dos años de operación representado en la tabla 3.2

Tabla 3.2: Toneladas valorizadas en dos años

Material reciclable	Toneladas Valorizadas	Valor en pesos(\$CLP)
Papel	5,6	\$478.125
Cartón	23,3	\$790.704
Tetrapack	1,5	\$14.980
Latas aluminio	1,3	\$796.200
Hojalata	6,2	\$512.325
Plástico	183	\$13.691.475
Orgánico	354	\$ -

Fuente: Elaboración Propia.

Como se mencionó anteriormente, la sección de orgánico tratado por el programa da como resultado humus o compost el cual no se comercializa por parte de la municipalidad, por lo que el precio de este no se maneja dentro de la operación del programa. Aún así, es importante recalcar que es entre el 30 % y 35 % de la materia orgánica recolectada la que se transforma en compost.

De los residuos a los cuales se les realiza el tratamiento de clasificación y almacenaje, existe un porcentaje de material descartado por encontrarse en condiciones no aptas para su reciclaje, del cual no se toma registro y su destino final es el relleno sanitario.

3.7. Análisis F.O.D.A.

Para determinar los objetivos y estrategias a proponer para la mejora del Programa “Separación en el Origen”, se utilizará el método de análisis cualitativo denominado F.O.D.A. el cual integra factores externos e internos que actúan sobre el desarrollo del programa, permitiendo identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

Fortalezas

- *Existencia de un programa para la segregación en el origen:* La preocupación por los efectos que produce la deficiente gestión de residuos sólidos, contribuye a la necesidad de generar planes y estrategias que vayan en relación a la valorización como elemento integral de una economía circular. Es por ello que se desprenden desde el gobierno local los lineamientos base que sustentan las acciones a tomar con respecto al manejo de residuos urbanos integrándolas en un programa. El apoyo a estas acciones está dada por la participación voluntaria en el Sistema de Calificación Ambiental Municipal (SCAM) del MMA, el cual establece una estrategia ambiental comunal para abordar los conflictos y situaciones ambientales del territorio comunal.
- *Disminución de gastos en gestión de RSU:* Es relevante que el costo asociado a la gestión de RSU de una comuna sea derivado a acciones que contengan principios de economía circular, es decir, que los fondos destinados a la disposición final de residuos disminuya mediante la inclusión de otros tipos de tratamiento que transformen los residuos en material valorizable. El uso de rellenos sanitarios comprende un alto valor, ya que, entre más toneladas de residuos, mayor es el pago por la ocupación de este. La incorporación de otras técnicas impacta positivamente en la disminución de toneladas con destino a relleno, generando un ahorro.
- *Participación ciudadana transversal:* Dentro de los niveles del SCAM se exige el mantener un sistema de participación ambiental ciudadana que aborde mecanismos informativos, consultivos y resolutivos. La colaboración entre las distintas partes interesadas es relevante para el desarrollo del programa, ya que de ellas nacen las acciones que susten-

tan el PSO. Mantener la difusión, enseñanza y capacitación de las técnicas que se llevan a cabo, genera la toma de conciencia respecto a gestión de residuos. Es por ello que el PSO involucra a diversos actores de la comunidad: habitantes, funcionarios públicos y privados, esenciales para el desarrollo del programa.

- *Amortiguación de impacto ambiental:* La generación de basura mediante su disposición incontrolada y en lugares no adecuados trae consigo impactos ambientales como la contaminación del agua, suelo y aire. La existencia de microbasurales generados en sitios periféricos dentro de la comuna, normalmente se encuentran inmersos en cerros con un alto valor ecológico, deteriorando fauna y flora local. El PSO significa un beneficio socio-ambiental relacionado con la reducción de emisiones, disminución de basura en áreas verdes y reducción de GEI emanado por residuos orgánicos dispuestos en relleno sanitario, siendo una medida de mitigación a el impacto ambiental que generan los residuos carentes de un tratamiento de valorización.
- *Respaldo normativo vigente:* Es relevante el establecimiento de bases a partir de políticas públicas que definan, clasifiquen y regulen las formas de gestionar los residuos, ya que permiten aunar y fortalecer las acciones a tomar. Además, se definen a los distintos actores que participan en el desarrollo de cadenas de recuperación de residuos, dando oportunidades de inclusión y capacitación a cada uno de ellos. El programa comprende la integración de cuerpos legales nacionales y comunales, estableciendo las relaciones para la gestión los residuos asegurando principios mínimos de operación.

Oportunidades

- *Agente de cambio y consciencia ambiental:* Para la mejora de los sistemas de recolección y tratamiento de residuos es relevante que las acciones a tomar generen conocimiento en la población aumentando así la consciencia ambiental, pudiendo desplazar aquellos aspectos que deterioran el medio ambiente. La existencia del programa establece lineamientos base que permitirían alcanzar que la comuna sea líder en la gestión de RSU, generando interés social por el reciclaje y manejo de residuos, siendo un ejemplo para las comunas vecinas que podrían replicar el sistema que se lleva a cabo.

Diversificación en el mercado de GRSU: La ampliación en los actores involucrados en la gestión de residuos es relevante para transitar desde una economía lineal a una circular. La posibilidad de contar con un mayor número de implicados enriquecería el programa mediante el aumento de empresas interesadas en el rubro del reciclaje. Esto a su vez generaría una acción oportuna para gente interesada en poder capacitarse y poder trabajar como recicladores base, generando un sistema de capacitación que también puede incluir a los recicladores informales y revertir condiciones laborales no aptas para las personas. Fomentar el mercado del reciclaje se puede lograr mediante el aumento de licitaciones, adjudicación de fondos, incentivos a las pymes, entre otras, con la finalidad de ampliar la cobertura del programa y manejar mayor volumen de residuo.

- *Control de calidad en valorización:* En el programa, un porcentaje desconocido de residuos son clasificados como “no-reciclables” y enviados directamente a la basura común. Esto sucede principalmente por la gente que, al separar sus residuos desde el domicilio, no le realizan una limpieza que elimine restos de comida, imposibilitando su valorización. Es por ello que el aplicar parámetros y estándares ya establecidos por normas nacionales y por normas comunales, resultaría en obtener un aumento en material reciclable, en el caso de los residuos inorgánicos, y una mayor calidad de los productos obtenidos del tratamiento de los residuos orgánicos.
- *Fidelización de compromisos medio ambientales:* La discusión política actual sobre la necesidad de aplicar leyes que establezcan la responsabilidad de vivir en un ambiente libre de contaminación es relevante, ya que permite introducir acciones que deriven en robustecer la gestión de RSU de forma integral en la comuna y/o con otras comunas aledañas. Constituir comunas autónomas puede permitir la cooperación entre ellas para lograr objetivos en común con respecto al manejo de residuos. El programa cumple normativas base que fidelizan el compromiso hacia el medio ambiente, dando pie inicial para la aplicación voluntaria de estándares nacionales ya establecidos.
- *Inversión en valorización de residuos:* Dar atención a la mejora del programa también significa el considerar destinar recursos para su crecimiento permitiendo un eventual estudio de la aplicación y posterior inversión en técnicas de aprovechamiento de residuos

de mayor envergadura, la construcción de estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento Mecánico-Biológico, captación de biogás, entre otras, aportando a mayores niveles de reciclaje y recuperación de energía.

Debilidades

- *Gestión de recolección rudimentario:* La recolección diferenciada es un eslabón importante para que el programa funcione de forma óptima. Al tener contacto directo con los vecinos adheridos al programa, son quienes también deben discernir si el residuo dispuesto está en condiciones de ser llevado. Además es relevante el establecer rutas de recolección de RSU que permitan optimizar los retiros, coincidiendo con sectores aledaños y disminuyendo el número de descargas de material reciclable que se lleva a las dependencias del programa. Actualmente mantiene rutas que se han establecido de forma arbitraria y subjetiva lo que produce un servicio poco eficiente, aumentando el gasto, por ejemplo en el transporte (combustible). Además, el personal a cargo del retiro es una empresa contratista que opera uno de los camiones recolectores, en donde no establecen un procedimiento que determine la clasificación y qué es lo que podrían llevarse de lo que la gente dispone.
- *Infraestructura inadecuada:* Produce una mala administración u organización de los residuos a reciclar lo que termina siendo un problema en la cadena incrementando la cantidad de trabajo. Las instalaciones del programa dispuestos para los residuos corresponden a galpones de madera abiertos, exponiendo los residuos reciclados a condiciones ambientales desfavorables para su tratamiento.
- *Falta información documentada y precisa:* Es relevante mantener una gestión documental con respecto a los procesos que se llevan a cabo para así obtener información más exacta de los volúmenes tratados mediante la organización transversal de los procedimientos y frecuencias a emplear. El tener un espacio reducido de tratamiento y además de ser un trabajo manual, demora la recepción de material valorizable priorizando la salida rápida del camión a ruta en vez de registrar inmediatamente el peso de los contenedores del camión recolector. Esto genera un desorden a nivel administrativo y operacional, obteniendo cifras imprecisas de toneladas de residuos orgánicos e inorgánicos que se reciben

en el programa.

Plan con alcance limitado: Los recursos que actualmente maneja el programa, impiden abarcar a toda la comuna, involucrando sólo a algunos sectores, considerando un pequeño porcentaje de las Juntas de Vecinos. Estas limitaciones están asociadas a la baja inversión destinada al programa, influyendo de forma directa en el crecimiento de este.

- *Mantenimiento irregular de máquinas:* Dentro del programa se generan espacios de inactividad que son generados por desperfectos de las maquinarias a las cuales no se les realiza una mantención periódica, por lo que, al momento de sufrir una falla, la mantención correctiva demora en realizarse. La ausencia de protocolos de mantenimiento, implica una escasa preocupación sobre los recursos mecánicos utilizados en el programa. Los equipos no cuentan con un plan de mantenimiento preventivo, correctivo ni predictivo resultando en pausas imprevistas en el funcionamiento normal y óptimo del tratamiento de residuos.

Amenazas

- *Responsabilidad individual:* La difusión del programa a la viviendas participantes es un factor importante para aumentar la cuotas de valorización de residuos. Frecuentemente los participantes del programa no realizan un buen procedimiento de reciclaje en el origen. (Cartones sucios, ecoladrillos con hongos, etc.). Esto genera un alto volumen de residuos que debe ser descartado para su valorización, por lo que existe una alta responsabilidad sobre el desarrollo del programa a cargo de los participantes. Es por ello que debe existir un contacto permanente con las JJ.VV. adheridas para trabajar en entregar una difusión permanente y herramientas para la segregación efectiva de los residuos.
- *Apoyo municipal insuficiente:* El presupuesto dedicado a la gestión de RSU es usado en mayor proporción en el destino final de residuos, disponiendo de un monto menor a potenciar la inversión en la gestión diferenciada de residuos acorde al contexto de la comuna. Esto se puede deber a la existencia de incertidumbre en el retorno de la inversión y de la continuidad del servicio. Es coincidente que el establecer un plan de inversión para potenciar el programa se requiere mayor apoyo y aumentaría la consolidación del servicio.

Centralización del mercado: La industria del reciclaje se concentra mayoritariamente en la Región Metropolitana, por lo tanto es escaso encontrar empresas locales que puedan recibir material reciclado sin tener que transportarlo a otra región, aumentando el gasto y complicando el desarrollo del programa.

- *Falta de indicadores de desempeño:* Es importante establecer metas con respecto a la gestión que se realiza en el programa y medirlas a través de indicadores que reflejen el avance de las distintas actividades planeadas. El no establecer objetivos medibles con respecto a la cantidad de residuos valorizados o al aumento del porcentaje de participación de la comuna, impide desarrollar una mejora continua de las acciones que se llevan a cabo.
- *Cambios en la normativa:* Las regulaciones legales del reciclaje puede sufrir modificaciones que alteren de alguna forma la gestión realizada por el programa, por lo que los procesos están sujetos a cambios por la suma o desligue de responsabilidades, pudiendo generar una inestabilidad en el servicio, al no estar preparados para asumir responsabilidades de mayor envergadura, o en su caso contrario, perder apoyo en su operación.

Figura 3.16: Diagrama resumen análisis FODA.



Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos de análisis.

3.8. Análisis con Escala Likert

La aplicación de esta escala logra establecer una relación cuantitativa entre los elementos descritos anteriormente en el F.O.D.A, asignando valores con respecto al nivel de influencia que tienen los factores internos con los externos del análisis. Los elementos de los factores internos corresponden a las fortalezas y debilidades, mientras que los factores externos corresponden a las oportunidades y amenazas. El entrecruzamiento da origen a los siguientes conceptos:

- **Potencialidad:** Proviene de la correlación realizada entre las Fortalezas y Oportunidades (FO) y establece la idea de permitir aprovechar las oportunidades a partir del trabajo de las fortalezas que se poseen.
- **Limitación:** Una influencia alta existente entre las Debilidades y Oportunidades (DO) constituyen dicho principio, planteando que la existencia de una debilidad ocasiona una baja expectativa de alcanzar las oportunidades presentadas.
- **Desafío:** Cuando se establece una relación entre las Fortalezas y Amenazas (FA), se concibe una causalidad con respecto a cómo el trabajo de las fortalezas apartan las amenazas existentes.
- **Riesgo:** La conexión entre las Debilidades y Amenazas (DA) constituye que, entre mayor relación, aumenta el riesgo de que las amenazas se impacten.

El empleo de la metodología se refleja en el Anexo 1 de este documento, desde la cual se puede identificar cada uno de los entrecruzamientos y el valor de relación dado a cada elemento.

Es así como los elementos que tuvieron mayor relación entre las fortalezas y oportunidades (FO) fueron la participación ciudadana como fortaleza y en las oportunidades la fidelización de los compromisos ambientales. Esto se traduce en que, para alcanzar dicha oportunidad, el reforzar la participación ciudadana en todos sus niveles sumaría para consolidar el programa y lo potenciaría para alcanzar nuevas oportunidades.

Asimismo, el análisis de la relación entre debilidades y oportunidades (DO) deriva en que la debilidad que genera una mayor limitación es la infraestructura que alberga los procesos presentes en el programa, ya que impacta directamente en alcanzar la oportunidad de establecer un control de calidad en el material reciclable valorizado y así disminuir el volumen de material descartado provocado por condiciones de almacenaje insuficientes para su tratamiento.

Para la relación que existe entre las fortalezas y amenazas (FA), los elementos que obtuvieron mayor relación para ser abordados son la fortaleza de tener una participación ciudadana transversal y la responsabilidad individual como amenaza, estableciendo el desafío de contribuir y apoyar acciones para enfrentar la amenaza mediante la contribución y apoyo en la población que consoliden la fortaleza.

Analizando el vínculo entre las debilidades y amenazas (DA) se da que la debilidad de tener una mantención irregular de maquinarias aumenta el riesgo de la amenaza de falta de indicadores de desempeño que aporten a la consecución de metas. La falta de indicadores de desempeño es una amenaza que tiene directa relación con la mantención irregular de maquinarias, las cuales son esenciales en el desarrollo del programa y su continuidad de servicio. Para ello, las debilidades deben superarse para disminuir la probabilidad de que la respectiva amenaza se cumpla.

■

3.9. Discusión

El Programa de “Separación en el Origen” es una iniciativa importante que pretende dar un nuevo enfoque a los residuos sólidos que produce la comuna, alineándose al contexto socio-ambiental actual, lo cual es muy positivo, ya que aporta al cambio de una economía lineal a una circular. Aún así no está exenta de problemáticas, ya que, para asegurar el buen funcionamiento de esta y que posteriormente aporten a este cambio, se debe trabajar por subsanar la gestión básica en la cual se sustenta, mediante una planificación en donde se plasme el objetivo principal a alcanzar seguido de actividades que permitan armonizar y mejorar el trabajo actual. La aplicación del F.O.D.A. permite identificar el origen de cada elemento y su relevancia con respecto al programa, donde los factores internos (fortalezas y debilidades) contienen las causas más abordables para poder actuar desde dentro para la mejora del programa. En relación a los factores externos (oportunidades y amenazas), estos se pueden analizar desde una mirada más general al consistir en causas que probablemente puedan ocasionar un efecto en el programa de forma indirecta. Aún así, estas se pudieron relacionar gracias a la aplicación de la escala Likert, obteniendo con herramientas cuantitativas los elementos cualitativos más relevantes que influyen en la continuidad del programa, otorgando objetividad en la información para el desarrollo de la propuesta del plan estratégico de mejora.

Capítulo 4: Propuesta de plan estratégico para programa “Separación en el Origen”

El siguiente capítulo tiene como objetivo consolidar la información resultante del diagnóstico y análisis mediante el desarrollo de una propuesta de plan de mejora para el Programa “Separación en el Origen”, describiendo los elementos justificando su presencia en el plan.

4. Propuesta

4.1. Alcance Propuesta

La propuesta se centrará en aplicar los objetivos y estrategias en las juntas de vecinos y viviendas participantes del Programa “Separación en el Origen” y en los procesos que llevan a cabo para el tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios.

4.2. Objetivos estratégicos de la Propuesta

El propósito es establecer un plan de mejora para el programa de “Separación en el Origen” a partir de los elementos identificados como críticos para la continuidad del programa. Esto se realizará en base a la obtención de objetivos estratégicos por medio de criterio SMART, es decir, desarrollar objetivos específicos, medibles, alcanzables, relevantes y en un tiempo determinado. Los objetivos resultantes son:

- a) Aumentar, en un plazo de 6 meses, a el 100% de participación de viviendas adherentes

asegurando la participación activa de estas.

- b) Evaluar, en 3 meses, factibilidad para construcción de infraestructura en área de recepción de residuos segregados que cumpla con condiciones mínimas de trabajo.
- c) Implementar 3 veces al año acciones para mejorar las competencias de las JJ.VV. participantes sobre como disponer material reciclable, alcanzando una asistencia del 20 % de las viviendas adheridas por cada junta vecinal.
- d) Confeccionar, en un plazo de 3 meses, un plan de mantenimiento preventivo que considere todos los equipos y maquinarias que se usan en el PSO.

4.3. Estrategias

Estrategias Objetivo 1: Aumentar, en un plazo de 6 meses, a el 100 % de participación de viviendas adherentes asegurando la participación activa de estas.

- Realizar un catastro a las JJ.VV.: La Dirección Ambiental Municipal debe realizar un catastro por cada junta de vecinos sobre las casas adheridas que no están aportando con sus residuos al programa. El motivo es detectar las JJ.VV. con un mayor número de viviendas inactivas. El personal encargado del retiro diferenciado de residuos se puede encargar de registrar durante 1 mes aquellas casas inscritas que no están participando.
- Desarrollar conexión con JJ.VV.: Por medio de gestiones de la DAM, establecer dentro de las JJ.VV. un comité integrado por personas interesadas en aportar soluciones a la baja participación, identificando las causas que afectan según corresponda el sector.
- Generar incentivos para el reciclaje: A partir de la identificación de las causas de baja participación, se debe proponer para cada JJ.VV. propuestas de incentivo para el reciclaje con un seguimiento periódico de parte de análisis realizado por DAM. Estos incentivos pueden ir asociados a la entrega de productos a partir de los mismos procesos de tratamiento que lleva a cabo el PSO para residuos orgánicos e inorgánicos. Algunas alternativas pueden ser: tierra de hoja, fertilizantes, productos originados por reciclaje de plástico, tachos de basura, entre otros.

-
- Desarrollar un plan de reciclaje comunitario en pasajes y condominios: El espacio dedicado para realizar “Separación en el Origen” es una dificultad para que las personas puedan realizar esta labor de una forma más eficiente. La entrega de un solo contenedor por vivienda no logra satisfacer el proceso de segregación, y entregar más contenedores tampoco es una solución. Junto con la identificación obtenida de catastro, esta estrategia abordaría conjuntos habitacionales, condominios y pasajes, para así tener un lugar en común para segregar residuos y mejorar la eficiencia del programa.

Estrategias Objetivo 2: Evaluar, en 3 meses, factibilidad para construcción de infraestructura en área de recepción de residuos segregados que cumpla con condiciones mínimas de trabajo.

- Revisar proyectos y concursos para la obtención de fondos: Obtener directrices de proyectos y concursos a los cuales se pueda postular, con el fin de identificar los costos que significaría la construcción de infraestructura con condiciones de trabajo mínimas para los trabajadores y para el almacenamiento adecuado del material recuperado.
- Establecer un sistema de registro: Instaurar un sistema de registro de la cantidad de residuos que ingresan a las dependencias del programa según su clasificación, permite obtener datos actualizados y verídicos de la cantidad de material reciclable, justificando de forma cuantitativa la necesidad de una infraestructura acorde al volumen de residuos tratados. La infraestructura actual está sometida a factores climáticos que deterioran el material reciclable almacenado, disminuyendo la cantidad a valorizar. La empresa We Küyen es la encargada mediante la utilización de balanzas para calcular el peso de los residuos separados que ingresan a través del retiro diferenciado.
- Generar catastro de cantidad de material reciclable descartado de tratamiento por no cumplir estándares mínimos: El material descartado que se genere en el proceso de tratamiento debe ser registrado mediante el peso de este, antes de ser enviado a disposición final. We Küyen será la encargada de llevar este registro.
- Implementar indicadores para aplicar principios de mejora continua: Establecer hitos so-

bre como se lleva a cabo la gestión es fundamental para el establecimiento de metas que pueden ser semanales, mensuales o anuales. La DAM junto a We Küyen son las encargadas de estudiar datos y establecer metas.

Estrategias Objetivo 3: Implementar 3 veces al año acciones para mejorar las competencias de las JJ.VV. participantes sobre como disponer material reciclable, alcanzando una asistencia del 20 % de las viviendas adheridas por cada junta vecinal.

- Realizar un catastro a viviendas: Recopilar información con respecto a los problemas y observaciones que tienen las diferentes viviendas sobre el funcionamiento del programa, para obtener información acerca de las complicaciones que se suscitan y que no permiten separar los residuos de forma correcta. Profesionales de la DAM deben desarrollar catastro.
- Generar instancias de discusión y análisis: Trabajar en los resultados del catastro para coordinar mesas de trabajo con las viviendas participantes de las juntas de vecinos para identificar inconvenientes cruciales para la segregación en el origen.
- Conformar un equipo de profesionales con competencias para capacitar: Contratar profesionales que se encarguen de aplicar las capacitaciones a las juntas de vecinos. La contratación la debe realizar la DAM, estableciendo la descripción del cargo a desempeñar y sus objetivos.
- Desarrollar plan de capacitación y difusión: Organizar las capacitaciones que se desplegarán en la comuna considerando la difusión previa para el logro del objetivo. El equipo de profesionales debe reunirse con el fin de planear temario a abordar y las formas de implementarlo.

Estrategias Objetivo 4: Confeccionar, en un plazo de 3 meses, un plan de mantenimiento preventivo que considere los equipos y maquinarias que operan en el PSO.

- Recopilar y elaborar un manual con fichas técnicas de las máquinas y equipos: Generar un registro documentado que comprenda antecedentes y formas de funcionamiento de

las maquinarias y equipos. Estrategia llevada a cabo por funcionarios de PSO y área de operaciones.

- Establecer procedimientos documentados de uso y mantención preventiva de los equipos y máquinas: Las acciones preventivas consideran el pronóstico de funcionamiento de los equipos y máquinas, estableciendo procedimientos que, en caso de falla, comprendan acciones correctivas para disminuir el tiempo de parada.
- Realizar un diagnóstico periódico de máquinas y equipos: Esta estrategia comprende de un diagnóstico inicial a modo de conocer la situación actual de los equipos y su historial para luego establecer diagnósticos periódicos y predecir posibles fallas.
- Capacitar a operadores encargados de manipular equipos: Realizar difusión de la documentación generada y dar a conocer el funcionamiento correcto e incorrecto de maquinarias para actuar de forma inmediata en caso de falla.

Figura 4.1: Cuadro resumen de objetivos estratégicos y sus estrategias.

Objetivos Estratégicos	Estrategias
1. Aumentar, en un plazo de 6 meses, a el 100% de participación de viviendas adherentes asegurando la participación activa de estas.	1. Realizar un catastro a las J.J.VV. 2. Desarrollar conexión con J.J.VV. 3. Generar incentivos para el reciclaje. 4. Desarrollar un plan de reciclaje comunitario en pasajes y condominios.
2. Evaluar, en 3 meses, factibilidad para construcción de infraestructura en área de recepción de residuos segregados que cumpla con condiciones mínimas de trabajo.	1. Revisar proyectos y concursos para la obtención de fondos. 2. Establecer un sistema de registro. 3. Generar catastro de cantidad de material reciclable descartado por no cumplir estándares mínimos. 4. Implementar indicadores para aplicar principios de mejora continua.
3. Implementar 3 veces al año acciones para mejorar las competencias de las J.J.VV. participantes sobre como disponer material reciclable, alcanzando una asistencia del 20% de las viviendas adheridas por cada junta vecinal.	1. Realizar un catastro de viviendas. 2. Generar instancias de discusión y análisis. 3. Conformar un equipo de profesionales con competencias para capacitar. 4. Desarrollar plan de capacitación y difusión.
4. Confeccionar, en un plazo de 3 meses, un plan de mantenimiento preventivo que considere los equipos y maquinarias que operan en el PSO.	1. Recopilar y elaborar un manual con fichas técnicas de las máquinas y equipos. 2. Establecer procedimientos documentados de uso y mantención preventiva de los equipos y máquinas 3. Realizar un diagnóstico periódico de máquinas y equipos 4. Capacitar a operadores encargados de manipular equipos.

Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos de análisis.

4.4. Evaluación social del proyecto

Para postular la propuesta de mejora del plan de “Separación en el Origen” a fondos públicos, el Sistema Nacional de Inversiones (SNI) rige el proceso de inversión pública mediante procedimientos que orientan la evaluación de iniciativas, esto con el objetivo de precisar la rentabilidad de la propuesta. Para los proyectos de inversión orientadas al manejo de residuos sólidos urbanos o municipales, la SNI dicta una metodología específica para su evaluación.

Los tipos de iniciativas de inversión que considera la metodología se clasifican según la jerarquía para el manejo de residuos sólidos domiciliarios, privilegiando aquellas que tengan relación con la prevención, reutilización y reciclaje, así como se muestra en la figura 4.2.

Figura 4.2: Tipos de iniciativas de inversión según etapa de gestión de residuos.

ETAPA JERARQUÍA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS Y ASIMILABLES		TIPOS DE SOLUCIONES	TIPO DE INICIATIVA DE INVERSIÓN	
GESTIÓN DE RESIDUOS	MANEJO DE RESIDUOS	Prevenición y fomento de la separación de residuos en origen	a. Inversión intangible	<ul style="list-style-type: none"> • Consultorías • Programas de sensibilización o de transferencia de capacidades
		Separación en origen	b. Instalaciones o equipos para la separación de residuos en origen o externas al domicilio	<ul style="list-style-type: none"> • Contenedores • Sacas
	Recepción y almacenamiento	c. Instalación de recepción y almacenamiento de residuos con o sin pretratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Puntos verdes • Puntos limpios • Centros de acopio • Planta de pretratamiento de residuos 	
	Recolección de residuos	d. Vehículos para la recolección diferenciada o mixta (tradicional) de residuos sólidos domiciliarios y asimilables	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos para la recolección diferenciada o mixta 	
	Valorización	e. Instalaciones y equipamiento para preparación para el reuso	<ul style="list-style-type: none"> • Planta para la reutilización de residuos • Instalaciones y equipos de revisión, selección y limpieza 	
		f. Instalaciones o equipamiento para el reciclaje de residuos inorgánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de reciclaje municipal 	
		g. Instalaciones o equipamiento para el reciclaje de residuos orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de compostaje municipal • Planta de compostaje comunitaria barrial • Composteras y vermicomposteras domiciliarias • Planta o equipamiento de digestión anaeróbica de residuos orgánicos 	
		h. Instalaciones de valorización energética	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas de valorización energética 	
	Eliminación	i. Instalación de transferencia de residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Estación de transferencia o trasvase • Vehículos de carga en gran tonelaje para la transferencia de residuos sólidos domiciliarios y asimilables 	
		j. Instalaciones de eliminación de residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Rellenos sanitarios con operación mecánica y manual 	
		k. Instalaciones para el cierre y rehabilitación de sitios de disposición final	<ul style="list-style-type: none"> • Planes de cierre de vertederos o basurales • Normalización de vertederos 	

Fuente: Metodología para Evaluación de Proyectos para la Gestión de Residuos Sólidos. Junio 2021.

La evaluación social del proyecto permite estimar el efecto que tendrá en el bienestar de la sociedad, identificando un flujo consolidado de costos y beneficios, para luego emplear indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), llevando la evaluación a precios sociales.

A. Análisis de costos

En primera instancia se realizó una identificación de los costos de operación y mantenimiento que se deben considerar para que exista una continuidad en el servicio, los cuales tienen directa relación con la propuesta de mejora. Estos costos están expresados en UF y estimados en lo que sería un semestre de funcionamiento.

Figura 4.3: Costos de Operación y Mantenimiento Semestrales.

ITEMS		Precio Semestral (UF)			
(1) Costos de Operación	(1.1) Costos Variables	Artículos de Oficina	17,46	TOTAL	4298,99
		Elementos de Protección Personal	325,70		
		Colaciones	672,36		
		Combustible	733,50		
		Herramientas de Trabajo	6,71		
		Contratación de 8 Profesionales y Técnicos	1049,55		
	(1.2) Costos Fijos	Suministro Eléctrico	9,00		
		Suministro de Agua Potable	12,83		
		Servicios de guardias	424,47		
		Servicios Telefónicos	3,48		
		Arriendo de Servicios Sanitarios	116,76		
		Movilización de Personal	200,00		
		Administración	700,00		
Control de plagas	27,17				
(2) Costos de Mantenimiento	(2.1) Mantenimiento y reparación de equipos	Chipeadora	4,24	TOTAL	37,54
		Compactadora	4,24		
		Camiones 3/4	2,82		
		Balanza	5,00		
	(2.2) Mantenimiento y reparación de infraestructura	Pintura	8,50		
		Reparación de imprevistos	2,83		
		Mantención de sistema eléctrico	5,66		
Mantención de cerco perimetral	4,25				

Fuente: Elaboración Propia.

Dentro de la evaluación económica establecida por la metodología, se consideran los costos de inversión, los cuales corresponden a los recursos necesarios para que la propuesta sea puesta en marcha y ejecutada, es por ello que incluye la adquisición de equipos, equipamiento, obras civiles, capacitaciones y acciones de difusión asociado al incremento de productividad del programa. Junto con ello, se estima el costo del terreno, ya sea que se deba realizar la adquisición de este o si el proyecto ya cuenta con un terreno. Como se ha mencionado, el Programa “Separación en el Origen”, cuenta con un terreno en donde se emplazan sus operaciones, por lo que se estimó su valor en base al precio mercado de 1,55 hectáreas que comprende el sitio. Además de los costos de inversión y del terreno, también se debe tener en cuenta un costo de reinversión,

el cual corresponde a todas las reposiciones que serán necesarias para prolongar el buen funcionamiento del servicio. Este costo estará sujeto a modificaciones de acuerdo a un diagnóstico al término del horizonte de evaluación establecido. Del mismo modo, la metodología de análisis propuesta por la SNI considera costos de mitigación asociados a reducir los posibles impactos ambientales que generará la iniciativa. Bajo este precepto, la propuesta de mejora a el programa no aplica para someterse a una evaluación de impacto ambiental, ya que los objetivos de esta corresponden a mejorar la solución frente a la disposición final de residuos en rellenos sanitarios.

Figura 4.4: Consolidado identificación de costos

ITEMS		Precio Semestral (UF)			
(1) Costos de Operación	(1.1) Costos Variables	Artículos de Oficina	17,46	TOTAL	4298,99
		Elementos de Protección Personal	325,70		
		Colaciones	672,36		
		Combustible	733,50		
		Herramientas de Trabajo	6,71		
		Contratación de 8 Profesionales y Técnicos	1049,55		
	(1.2) Costos Fijos	Suministro Eléctrico	9,00		
		Suministro de Agua Potable	12,83		
		Servicios de guardias	424,47		
		Servicios Telefónicos	3,48		
		Arriendo de Servicios Sanitarios	116,76		
		Movilización de Personal	200,00		
		Administración	700,00		
Control de plagas	27,17				
(2) Costos de Mantenimiento	(2.1) Mantenimiento y reparación de equipos	Chipeadora	4,24	TOTAL	37,54
		Compactadora	4,24		
		Camiones 3/4	2,82		
		Balanza	5,00		
	(2.2) Mantenimiento y reparación de infraestructura	Pintura	8,50		
		Reparación de imprevistos	2,83		
		Mantención de sistema eléctrico	5,66		
		Mantención de cerco perimetral	4,25		
(3) Costo de Terreno			1697,88		
(4) Costo de Inversión			561,53		
(5) Valor Residual			-82,77		
(6) Reinversión (se evaluará según diagnóstico de situación al término de periodo edilicio)					
(7) Costos de Mitigación (Proyecto no aplica para someterse a sistema de evaluación de impacto ambiental)					

Fuente: Elaboración Propia.

B. Identificación y cuantificación de beneficios

Dentro del flujo de evaluación económica que propone el SNI se deben incluir los beneficios que generan las iniciativas en lo que respecta a la producción de energía, producción de com-

post, reciclaje y el ahorro general por aplicar gestión integral que evita la disposición final de residuos. Para la cuantificación de beneficios de la propuesta de mejora se aplican las siguientes ecuaciones con datos expuestos en el capítulo anterior.

a) Producción de compost: Se aplica la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Val_{compost} = Pcomp * Fcomp * Qcomp}$$

Donde,

Val_{comp}= Cuantificación de beneficios sociales por venta de compost.

Qcomp= Cantidad de materia orgánica que es transformada como compost en toneladas métricas.

Pcomp= Precio Compost en toneladas métricas.

Fcomp= Factor de transformación de residuos orgánicos a compost.

Al aplicar los criterios con respecto al precio, cantidad y el factor de transformación (35 % de la materia original) figura el siguiente resultado:

$$Val_{compost} = UF 18,96 * 0,35 * 88,56_{ton}$$

$$Val_{compost} = UF 587,68$$

El valor del precio obtenido corresponde a una estimación del precio de comercialización que existe en el mercado privado, ya que tiene una alta competencia al existir variadas empresas que producen y venden compost. Las toneladas son estimadas a la información manifestada en el capítulo anterior, llevado al horizonte de evaluación de un semestre.

b) Reciclaje de productos no orgánicos: La ecuación es la siguiente,

$$\mathbf{Val_{reciclable} = \sum_{i=1}^j Prec_i * Qrec_i}$$

Val_{reciclable}= Cuantificación de beneficios por reciclaje.

Qrec_i= Cantidad de toneladas recicladas del residuo i.

Prec_i= Precio residuo reciclable, siendo i, el tipo de residuo.

Empleando los datos correspondientes a cada tipo de residuo reciclado mencionado en capítulo anterior, se origina el siguiente valor:

$$\begin{aligned}
 Val_{reciclables} &= \sum_{i=1}^j (UF\ 2,39_{papel} * 1,41_{ton}) + \sum_{i=1}^j (UF\ 0,96_{cartón} * 5,81_{ton}) \\
 &+ \sum_{i=1}^j (UF\ 0,28_{tetrapack} * 0,38_{ton}) + \sum_{i=1}^j (UF\ 16,85_{latas\ ubc} * 0,33_{ton}) \\
 &+ \sum_{i=1}^j (UF\ 2,33_{hojalata} * 1,55_{ton}) + \sum_{i=1}^j (UF\ 2,11_{plástico} * 45,64_{ton}) \\
 Val_{reciclables} &= UF\ 114,53
 \end{aligned}$$

- c) Ahorro de costo por gestión integral de residuos: La SNI considera los beneficios que se generan por el aumento en la eficiencia de reducción de residuos influyendo en la disminución de toneladas a disposición final en rellenos sanitarios, para ello establece la siguiente ecuación:

$$Ahorro_{GIR} = (C_{dip} + C_{rec}) * disp_ev$$

Donde,

$Ahorro_{GIR}$ = Ahorro de costos por gestión integral de residuos.

$disp_ev$ = Cantidad de toneladas evitadas a ser dispuestas en rellenos sanitarios.

C_{dip} = Costo por tonelada dispuesta en relleno sanitario²⁰.

C_{rec} = Costo por tonelada recolectada en origen²¹.

Dentro de los resultados de las operaciones que realiza la municipalidad expuestas en el documento, la ecuación arroja el siguiente valor:

$$Ahorro_{GIRS} = (UF\ 0,62 + UF\ 18,5) * 198,5_{ton}$$

$$Ahorro_{GIRS} = UF\ 19,12 * 198,5_{ton}$$

$$Ahorro_{GIRS} = UF\ 3795,32$$

El resultado dado se obtuvo del costo por tonelada que mantienen las dos opciones de tratamiento de residuos, es decir, la operación que se lleva a cabo para disponer residuos en

relleno sanitario y aquellos que se segregan en origen, multiplicado por la mitad del promedio de toneladas tratadas en el PSO (Anexo 2).

C. Indicadores económicos y criterios de decisión

Para demostrar que la propuesta de mejora es rentable en el tiempo, el análisis anterior se debe someter a cálculos del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), utilizándolos como criterio de decisión para que el proyecto sea opción de financiamiento.

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador cuyo procedimiento permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos futuros, originados por una inversión, restándole ésta como un costo inicial. La metodología consiste en descontar (mediante una tasa “r”) al momento actual todos los flujos futuros, para así poderlos comparar con la inversión inicial, por medio de su resta.

El VAN es una medida del valor neto que aporta una inversión a lo largo de toda su vida. Para un inversionista, representa el incremento en su riqueza que generaría realizar una inversión, mientras que en una evaluación social, muestra el valor económico que genera para el país la inversión.

Para el cálculo del VAN, se hace aplicación de la ecuación que determina la metodología aportada por el SNI, la cual es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{BN_t}{(1+r)^t}$$

Donde,

VAN= Valor actual neto.

I₀ = Inversión inicial total, considera la inversión del costo de terreno, inversión proyecto y costos de mitigación (Te, Inv, Mt).

BN_t= Beneficio neto total año t (Bt_t - CT_t).

r= Tasa social de descuento (expresada en términos reales).

t= Horizonte de evaluación del proyecto.

Tal como se puede apreciar en la figura 4.5, el flujo de caja se proyecta con los valores presentes a valores futuros dentro del horizonte de evaluación. En la parte superior se visualizan los periodos (t) definidos en semestres, comenzando por el semestre 0, donde se realiza la inversión inicial (I_0), correspondiente a costos de terreno y costo de inversión. También se puede observar, el flujo de beneficios neto (BN_t), del cual se puede analizar que en cada periodo va aumentando de forma positiva, por lo que al octavo semestre, la inversión inicial ya se habría recuperado.

Figura 4.5: Cálculo de indicadores económicos en base a análisis de costos y beneficios.

	SEMESTRES (t)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Tasa Social de Descuento (r)	0,0296	0,0296	0,0296	0,0296	0,0296	0,0296	0,0296	0,0296	0,0296	0,0296
Aumento en residuos tratados	0,00	0,00	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Beneficios por Ahorro de costos (UF)	0,00	4497,53	4910,76	5056,11	5205,78	5359,87	5518,52	5681,87	5850,05	
(1) Costos de Operación (UF)	0,00	4298,99	4557,25	4692,15	4831,03	4974,03	5121,26	5272,85	5428,93	
(2) Costos de Mantenimiento (UF)	0,00	37,54	39,80	40,97	42,19	43,43	44,72	46,04	47,41	
(3) Costos de Terreno (UF)	1697,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
(4) Costo Inversión (UF)	561,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
(5) Valor Residual (UF)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-82,77
(6) Reinversión (UF)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Sujeto a diagnóstico
Flujo de Beneficios Neto (UF) (BN_t)	-2259,41	161,00	313,71	322,99	332,55	342,40	352,53	362,97	362,97	456,48
VAN		156,38	295,93	295,93	295,93	295,93	295,93	295,93	295,93	361,47
TIR										34,02
										3,28%

Fuente: Elaboración Propia.

El análisis anterior se confirma con el resultado del VAN, ya que los criterios que aparecen en la figura 4.6, establecen que si un VAN es mayor a 0, el proyecto es conveniente para invertir.

Figura 4.6: Criterios Valor Actual Neto.

Resultado	Significa que:	Riqueza	Decisión
VAN > 0	Beneficios > Costos	Aumenta	Proyecto es conveniente
VAN = 0	Beneficios = Costos	Igual	La decisión es indiferente
VAN < 0	Beneficios < Costos	Disminuye	Proyecto no conveniente

Fuente: Elaboración Propia.

La Tasa Interna de Retorno es aquella tasa que hace el VAN igual a cero, es decir, la tasa de descuento con la cual se recupera la inversión. En este caso, el resultado dio como TIR un 3,28 %, lo que significa que semestralmente da una rentabilidad de ese porcentaje. El criterio a aplicar sobre este indicador es sobre la tasa social de descuento definida por el SNI, la cual es de un 6 % anual, la cual, llevada a nuestro horizonte de evaluación semestral, es de 2,96 %.

Figura 4.7: Criterios Tasa Interna de Retorno.

Resultado	Interpretación	Decisión
TIR > r	Rentabilidad del proyecto es mayor que el costo de oportunidad de los recursos, es decir, que sus usos alternativos	El proyecto es conveniente.
TIR = r	Rentabilidad del proyecto es similar al costo de oportunidad de los recursos	Indiferencia.
TIR < r	Rentabilidad del proyecto es menor que el costo de oportunidad de los recursos, es decir, rinde menos que en sus usos alternativos	El proyecto no es conveniente

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede determinar junto a estos dos criterios de decisión que la propuesta de mejora es rentable de invertir, siempre y cuando las estrategias establecidas alcancen los objetivos propuestos para así aumentar la cantidad de residuos que se segreguen en el origen y se les de un tratamiento diferente a la disposición final en el relleno sanitarios.

Un factor importante para mantener la rentabilidad de la propuesta, es que las estrategias se lleven a cabo en un tiempo determinado, es por ello que los objetivos estratégicos junto con sus estrategias, se plasman en una Carta Gantt, que establece semanalmente la estrategia a cumplir

para el logro de los objetivos. (Ver Anexo 3)



Conclusiones y Recomendaciones

~~Los objetivos establecidos en este trabajo de título se han cumplido, lo cual ha permitido conocer, comprender, analizar y sintetizar la importancia y necesidad de mejorar los procesos de gestión municipal de residuos domiciliarios. A través del estado del arte y marco teórico se logró identificar los principales desafíos y problemáticas que enfrenta esta área, así como las herramientas y enfoques más adecuados para abordarlos.~~

Por su parte, el diagnóstico realizado brindó una visión clara y detallada de la situación actual de la gestión de residuos domiciliarios en el municipio en cuestión. Se identificaron las fortalezas y debilidades existentes como también las oportunidades y amenazas que requieren atención.

Evaluando estos resultados, se planteó una propuesta estratégica que busca optimizar los procesos de gestión de residuos domiciliarios, enfocándose en aspectos como la educación ambiental, la implementación de sistemas de reciclaje y compostaje, la promoción de la participación ciudadana y la mejora de la infraestructura para la recolección y disposición adecuada de los residuos.

La evaluación económica realizada responde a la metodología requerida por entidades públicas, por lo que el resultado positivo del VAN y del TIR, proporciona objetividad económica para la obtención de fondos para el tratamiento diferenciado de residuos en la comuna.

Se precisa que esta propuesta estratégica, si es implementada de manera efectiva, contribuya a reducir la generación de residuos que van a relleno sanitario, fomentar la economía circular, preservar el medio ambiente, mejorar las condiciones de trabajo y la calidad de vida de los ciudadanos.

El tiempo de implementación de las estrategias propuestas responde a la premura de entre-

gar herramientas de gestión que aportarán al logro progresivo de nuevos objetivos mediante la mejora continua del proceso.

Finalmente, a través de este estudio se ha establecido una base sólida para el mejoramiento de los procesos de gestión municipal de residuos domiciliarios. Se espera que este trabajo sea un punto de partida para futuras investigaciones y acciones, con el objetivo de lograr una gestión sostenible y eficiente de los residuos en beneficio de la comunidad, del entorno, del país y del planeta.



Bibliografía

1. Ambiente, SEREMI Medio (2018). Estrategia regional de residuos sólidos región metropolitana de Santiago 2017-2021. Área de Residuos y Riesgo Ambiental de la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente.
2. André, Francisco Javier; De Castro, Luis Miguel; y Cerdá, Emilio (2012). Las energías renovables en el ámbito internacional. *Cuadernos económicos de ICE*, 83, 11–36.
3. Berent, M y Vedoya, D (2006). Modelo de gestión ambiental de residuos sólidos urbanos. *Universidad Nacional del Nordeste, Argentina*.
4. Castillo, Valladares; Mauricio, Erwin; Santana, Villegas; y Alejandro, Manuel (2013). Potencial energético del biogas generado por los residuos sólidos domiciliarios (rsd) en la provincia de concepción.
5. CEPAL, NU et al. (2016). Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016. Climático, RC (2016). Antecedentes del manejo y gestión de residuos en Chile.
6. do Rosario, José Baptista Fernando; Castillo, Grisel Barrios; Lubota, David Muto; y Garciga, Julio Pedraza (2014). Diagnóstico de la gestión de los residuos sólidos urbanos en cabinda, república de Angola. *Revista Centro Azúcar*, 41(1).
7. Europeo, Parlamento (2015). Propuesta de directiva del parlamento europeo y del consejo por la que se modifica la directiva 2008/98/ce sobre residuos.
8. Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo, IRRI (2013). Iniciativa regional para el reciclaje inclusivo.
9. INN (2013). Norma chilena 3322:2013 colores de contenedores para identificar distintas fracciones de residuos.
10. Kaza, Silpa; Yao, Lisa; Bhada-Tata, Perinaz; y Van Woerden, Frank (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications.
11. Maicas Piqueras, Gisela (2016). *Valorización de una corriente de biogás procedente del tratamiento anaerobio de purines mediante SBR para la producción de energía*. PhD thesis, Universitat Politècnica de València.
12. Medio Ambiente, ONU (2018). Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá*.
13. Ministerio del Medio Ambiente, MMA (2019). Quinto reporte del estado del medio ambiente.
14. Müller, Niels; Tessini, Catherine; Segura, Cristina; Grandón, Héctor; y Berg, Alex (2013). Pirólisis rápida de biomasa. *Unidad de Desarrollo Tecnológico, U. de Concepción, Chile*.

-
15. Nussbaumer, Thomas (2003). Combustion and co-combustion of biomass: fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction. *Energy & fuels*, 17(6), 1510–1521.
 16. Tchobanoglous, George y Burton, Franklin L (1991). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. Metcalf & Eddy.
 17. Velandia Sánchez, Ivonne Lorena (2017). Estimación de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la valorización energética de los residuos sólidos urbanos del relleno sanitario doña juana en bogotá dc.
 18. Wilson, David Curran; Rodic, Ljiljana; Modak, Prasad; Soos, Reka; Carpintero, A; Velis, K; Iyer, Mona; y Simonett, Otto (2015). *Global waste management outlook*. UNEP.
 19. Sánchez-Muñoz, M. D. P., Cruz-Cerón, J. G., & Maldonado-Espinel, P. C. (2019). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación. *Revista Finanzas y Política Económica*, 11(2), 321-336.
 20. Dubos, R. (2023). *Pensar globalmente, actuar localmente: Escritos sobre ecología y sociedad*. Los Libros de la Catarata.
 21. Estenssoro, F. (2020). *Historia del Debate Ambiental en la Política Mundial 1945-1992. La perspectiva latinoamericana (Nueva edición corregida y aumentada)*.
 22. Le-Feuvre, M. L. E., & Navarro, C. G. (2020). Participación ciudadana y políticas sociales: una mirada desde la gestión municipal, desafío para construir comunidad. *Desarrollo Social y participación comunitaria en la gestión municipal*. Chile: IDEC-UMC, 73-86.
 23. Cabrera Toro, M. C. P. (2022). *Análisis de los ingresos municipales 2008-2021*.
 24. López-Mateo, C., Ríos-Manríquez, M., Sánchez-Fernández, M. D., & Zurita-Mézquita, E. C. (2020). Responsabilidad social del gobierno municipal con el medio ambiente y los servicios públicos: percepción ciudadana. *Holos*, 36(7).
 25. Luque, W., Gomez, C., & Benavides, Y. (2022). Influencia de un sistema de gestión ambiental en la administración municipal. *Revista Ciencia Agraria*, 1(3), 15-27.
 26. Gumucio, C. P., & Zúñiga, M. P. A. (2021). De la evaluación de impacto ambiental a la evaluación ambiental estratégica: desafíos para la política ambiental en Chile y América Latina. *Política y gobierno*, 28(1).
 27. Ross Pineda, S. (2019). Evaluación y diagnóstico del estado de los microbasurales y los factores condicionantes de su formación en la extensión urbana de la comuna de Colina.
 28. Huamaní Montesinos, C., Tudela Mamani, J. W., & Huamaní Peralta, A. (2020). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca-Puno-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 106-115.
 29. Gómez, J. B., & Bardales, J. M. D. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos y su impacto medioambiental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 4(2), 993-1008.
 30. Baroni, P. A., & Spagnolo, T. (2022). La política exterior de India hacia Asia del sur y el océano Índico ante el impacto de la nueva ruta de la seda (India's Foreign Policy Towards South Asia and the Indian Ocean under the Impact of the New Silk Road).
-

-
31. Camacho Andrade, V. (2020). Camacho Andrade, Valeria.(2020). Aplicación de leyes ambientales en el manejo integral de desechos sólidos y su impacto en la calidad de vida de los habitantes de la parroquia Salinas. Año 2019. Quevedo. UTEQ. 160 p (Master's thesis, Quevedo-Ecuador).
 32. González, P., & Stamm, C. (2022). Primera generación de rellenos sanitarios en Santiago de Chile: Entre la modernización técnica y los conflictos socioambientales urbanos (1970-2021). *Diálogo andino*, (67), 312-325.
 33. Losada Grullón, L. V. M., & Bertrán Sánchez, F. A. (2021). Estandarización de procesos de compostaje para la mejora de la productividad y capacidad de crecimiento de la empresa Tierra Urbana Servicios Ambientales (Doctoral dissertation, Santo Domingo: Universidad Iberoamericana (UNIBE)).
 34. Tobío-Pérez, I., Díaz-Domínguez, Y., Pfeil, M., Denfeld, D., Piloto-Rodríguez, R., & Pohl, S. (2020). Simulación del proceso de gasificación de biomasas a partir de *Jatropha curcas* y *Dichrostachys cinerea*. *Afinidad*, 77(591), 217-224.
 35. Villamar Aveiga, C. V. (2020). Plan de manejo de residuos sólidos domiciliarios no peligrosos en la zona urbana del cantón Simón Bolívar, provincia del Guayas (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil).
 36. Acosta, M. E. Á., González, Y. S., & la Nuez Mesa, J. (2021). África Subsahariana. *Cuadernos de Nuestra América*, (02), 5-5.

Anexos

1. Anexo 1

FORMATO MATRIZ FODA

Escala Likert
 Muy Alta Relación=5,
 Alta Relación=4,
 Relativa Relación=3,
 Baja Relación=2,
 Muy Baja Relación=1

OPORTUNIDADES	Agente de cambio y conciencia ambiental	Diversificación en el mercado de RSU	Control de calidad en valorización	Fidelización de compromisos ambientales	Inversión en valorización de residuos
----------------------	---	--------------------------------------	------------------------------------	---	---------------------------------------

AMENAZAS	Responsabilidad individual	Apoyo municipal insuficiente	Centralización del mercado	Falta de indicadores de desempeño	Cambios en la normativa
-----------------	----------------------------	------------------------------	----------------------------	-----------------------------------	-------------------------

FORTALEZAS						
Existe un plan de separación en el origen	5	3	2	4	3	17
Disminución de gastos en gestión de RSU	3	4	2	2	5	16
Participación ciudadana transversal	5	2	4	5	1	17
Respaldo normativo vigente	3	1	4	5	3	16
Amortiguación de impacto ambiental	5	2	3	4	1	15
	21	12	15	20	13	81

3	3	4	3	4	17
1	4	4	2	1	12
5	3	4	1	2	15
3	4	1	2	4	14
3	3	2	4	3	15
15	17	15	12	14	73

2	3	2	4	2	13
4	4	2	4	3	17
3	3	1	5	3	15
4	4	3	1	2	14
5	4	1	3	4	17
18	22	5	17	14	76

DEBILIDADES						
Gestión de rutas rudimentario	3	2	2	3	4	14
Infraestructura inadecuada	4	2	4	3	2	15
Falta de información documentada y precisa	3	2	3	1	1	10
Plan con alcance limitado	2	4	2	2	2	12
Mantenimiento irregular de máquinas	3	1	4	2	3	13
	15	11	15	11	12	64

2	3	2	4	2	13
4	4	2	4	3	17
3	3	1	5	3	15
4	4	3	1	2	14
5	4	1	3	4	17
18	22	5	17	14	76

2	3	2	4	2	13
4	4	2	4	3	17
3	3	1	5	3	15
4	4	3	1	2	14
5	4	1	3	4	17
18	22	5	17	14	76

--

Grado de vulnerabilidad del PSO ==>

48%

Potencialidad	28%	Desafío	25%
Limitación	22%	Riesgo	26%

2. Anexo 2

UF
\$31.298,27

Costo Mensual Operación Disp.	8.600.000
Toneladas Disposición Final	
2016	77655
2017	73590
2018	37073
2019	43165
2020	59929
2021	43110
Promedio	55753,67
Mensual	4646
Costo Mensual de Combustible por tonelada	\$ 1.851
Costo por tonelada dispuesta	\$ 8.800
Costo Semestral por tonelada en Relleno sanitario	\$ 19.906
UF	0,64

Costo Mensual Operación PSO	3.196.000
Toneladas PSO	
2016	309
2017	363
2018	406
2019	398
2020	435
2021	473
Promedio	397
Mensual	33
Costo Mensual por tonelada	\$ 96.523
Costo Semestral por tonelada en PSO	\$ 579.141
UF	18,5

3. Anexo 3

CARTA GANTT: CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE ESTRATEGIAS ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE VILLA ALEMANA NOMBRE PROYECTO: PLAN DE MEJORA PARA PROGRAMA SEPARACIÓN EN EL ORIGEN.		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈	S ₁₉	S ₂₀	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	S ₂₄
OBJETIVOS / ESTRATEGIAS																									
1	Aumentar, en un plazo de 6 meses, a el 100% de participación de viviendas adherentes asegurando la participación activa de estas.																								
	1.1 Realizar un catastro a las J.J.VV.																								
	1.2 Desarrollar conexión con J.J.VV.																								
	1.3 Generar incentivos para el reciclaje.																								
2	1.4 Desarrollar un plan de reciclaje comunitario en pasajes y condominios.																								
	Evaluar, en 3 meses, factibilidad para construcción de infraestructura en área de recepción de residuos segregados que cumpla con condiciones mínimas de trabajo																								
	2.1 Revisión de proyectos y concursos para la obtención de fondos.																								
	2.2 Establecer un sistema de registro.																								
3	2.3 Generar catastro de cantidad de material reciclable descartado por no cumplir estándares mínimos.																								
	2.4 Implementar indicadores para aplicar principios de mejora continua.																								
	Implementar acciones para mejorar las competencias de las J.J.VV. participantes sobre como disponer material reciclable, alcanzando una asistencia del 20% de las viviendas adheridas por cada junta vecinal.																								
	3.1 Realizar un catastro de viviendas.																								
4	3.2 Generar instancias de discusión y análisis.																								
	3.3 Conformar un equipo de profesionales con competencias para capacitar.																								
	3.4 Desarrollar plan de capacitación y difusión.																								
	Confeccionar, en un plazo de 3 meses, un plan de mantenimiento preventivo que considere los equipos y maquinarias que operan en el PSO.																								
4	4.1 Recopilar y elaborar un manual con fichas técnicas de equipos.																								
	4.2 Establecer procedimientos documentados de uso y mantención preventiva de los equipos.																								
	4.3 Realizar un diagnóstico periodico de cada equipo.																								
	4.4 Capacitar a operadores encargados de manipular equipos.																								

