

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCIÓN



Gestión integral de residuos domiciliarios en Concepción: diagnóstico y propuesta de mejoras para el manejo de residuos peligrosos (RESPEL) y valorizables

Trabajo de titulación para optar al título de
Ingeniería de Ejecución en Gestión y Control
Ambiental

Alumno:

Tomás Sebastián Frias Ojeda

Profesor guía:

Cristian Pereira



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Gestión integral de residuos domiciliarios en Concepción: diagnóstico y propuesta de mejoras para el manejo de residuos peligrosos (RESPEL) y valorizables.

Nombre del candidato(a): Tomás Sebastián Frías Ojeda

Carrera / Grado: Ingeniería de Ejecución en Gestión y Control Ambiental

Campus: Concepción Departamento: Química y Medio Ambiente

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristian Pereira A. en mi calidad de. profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo NO contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo CONTIENE información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 06 AGO 2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 06 AGO 2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Resumen

La presente investigación realiza un diagnóstico integral de la gestión de residuos sólidos domiciliarios, valorizables y peligrosos (RESPEL) en la comuna de Concepción, Región del Biobío, Chile. El estudio se centra en evaluar la eficiencia de los modelos operativos municipales actuales frente a las exigencias del marco normativo nacional, específicamente el Decreto Supremo N° 148 del MINSAL y la Ley N° 20.920 (Ley REP).

La metodología contempló el levantamiento de información técnica y cuantitativa de la Dirección de Medio Ambiente (D.M.A.), analizando el impacto de programas clave como la valorización de la fracción orgánica, la red de puntos verdes y la reciente implementación de la recolección selectiva bajo el sistema ReSimple. Se seleccionó Concepción como unidad de estudio por su alta densidad poblacional y su nivel de certificación en el Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM), lo que permite contrastar un modelo de gestión avanzada con las brechas reales de cumplimiento.

Los resultados del diagnóstico revelan hitos significativos: el programa de residuos orgánicos ha logrado desviar 9.553 toneladas de desechos del relleno sanitario (2016-2024), generando un ahorro fiscal de \$362.995.441 CLP y mitigando 3.313 toneladas de CO2 equivalente. En cuanto a la Ley REP, tras el inicio de la recolección selectiva en septiembre de 2024, se registró un crecimiento exponencial en la recuperación de materiales, pasando de 288 kg en el primer mes a 16.211 kg en diciembre, totalizando 33,2 toneladas en el periodo inicial.

Sin embargo, el análisis identifica brechas críticas de cumplimiento:

- Existe un "vacío de control" en la gestión de RESPEL domiciliarios (pilas, aceites y RAEE), donde a pesar de recuperarse 41.020 kg en 2024, la cobertura sigue siendo marginal respecto al potencial de generación total de la comuna.
- Persiste una "cultura del descarte" en la ciudadanía, donde cerca del 39% de los residuos enviados a relleno sanitario son aun potencialmente valorizables.
- Se detectaron fallas logísticas en las rutas de recolección selectiva que afectan la regularidad del servicio y la confianza ciudadana.

Finalmente, se propone una reingeniería estratégica basada en la educación ambiental como pilar contractual, la implementación de incentivos económicos mediante el modelo de "Pago por Generación" y la profesionalización del manejo de RESPEL bajo los estándares del Convenio de Basilea. Esta tesis concluye que la transición hacia una economía circular efectiva requiere evolucionar de un sistema municipal reactivo a uno proactivo y preventivo.

INTRODUCCIÓN	7
1 OBJETIVOS:	8
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
2. JUSTIFICACIÓN	9
3. HIPÓTESIS.....	9
4. METODOLOGÍA	9
4.1. Fase 1: Levantamiento de Información y Aseguramiento de Calidad de Datos (Diagnóstico Base)	10
4.2. Fase 2: Procesamiento de Datos, Balances de Materia y Modelamiento Operativo	10
4.3. Fase 3: Diseño de la Propuesta de Mejora y Validación Económico-Financiera 	11
CAPÍTULO I: Antecedentes y Contexto Global.....	12
1.1 Residuos: Peligrosos, no Peligrosos y Prioritarios.....	13
1.2 Problemática de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) a nivel nacional..	17
1.2. Planteamiento del Problema	19
1.3. Justificación	20
Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual.....	22
2.1. Marco teórico.....	22
2.2. Marco Normativo y Legal	24
2.3. Fundamentos Técnicos de la Gestión de Residuos	25
2.4. Sistemas de Gestión y Modelos Operativos.....	26
Capítulo III: Diagnóstico de la Gestión de Residuos en Concepción	29
3.1. Gestión de la Fracción Orgánica.....	30
3.1.1. Marco Estratégico y Operativo.....	31
3.2. Impacto Cuantitativo orgánico (2024).....	32
3.3. Gestión de Residuos Valorizables: Modelo Mixto y Transición a la Ley REP	
36	
3.3.1. Infraestructura de Acopio (Puntos Verdes Fijos y Móviles).....	37
3.3.2. Implementación de la Ley REP (Iniciativa RESIMPLE)	40

3.4. Gestión de Residuos Peligrosos (RESPEL).....	42
3.4.1. Protocolo Operacional del Centro de Acopio Municipal	45
3.4.2. Flujo de Recepción, Clasificación y Almacenamiento.....	45
3.4.3. Proceso de Transporte y Declaración (SIDREP)	46
3.4.4. Protocolo Operacional y Estructura de Responsabilidades (Matriz RACI)	
47	
3.4.5. Aclaración de Coherencia de Cifras y Saneamiento de la Línea Base de RESPEL	50
3.4.6. Análisis Cuantitativo de la Gestión Municipal (2024).....	51
3.5. Discusión y Síntesis del Diagnóstico	53
3.5.1. La Brecha entre la Infraestructura y la Cultura del Descarte	54
3.5.2. El Riesgo Latente en el "Vacio de Control" de los RESPEL	54
3.5.3. Fragmentación Institucional y Desigualdad en la Ley REP.....	54
3.5.4. Síntesis del Problema Central	55
Capítulo IV: Propuesta de Mejoras para la Gestión Integral de Residuos.....	56
4.1. Lineamientos Estratégicos de la Propuesta	57
4.2. Propuesta 1: Educación Ambiental Estratégica y Vinculación Comunitaria (Basada en el Modelo de Villa Alemana)	58
4.3. Propuesta 2: Optimización mediante Incentivos Económicos y Reinversión (Adaptación del Modelo Suizo a Chile)	59
4.3.1. Focalización Territorial.....	60
4.4. Propuesta 3: Gestión Integral de RESPEL según el Convenio de Basilea.....	60
4.4.1. Eje Técnico: Protocolo de Manejo Seguro	61
4.4.1.1. Requerimientos del Sistema Propuesto	62
4.4.2. Eje de Financiamiento: Convenio de Exención por Cobertura	63
4.4.3. Eje Territorial: Descentralización mediante "Puntos Limpios Móviles RESPEL"	63
4.4.4. Análisis de Riesgos y Seguridad Operacional	63
4.5. Análisis de Viabilidad Económica y Financiera	65
4.5.1. Metodología y Supuestos de Estimación Financiera.....	65
4.5.2. Costos de Inversión Inicial (CAPEX).....	67
4.5.3. Costos Operativos Anuales (OPEX).....	68

4.5.4. Análisis de Beneficios, Ahorros y Retorno de Inversión (Payback).....	69
4.6. Plan de Implementación y Control Documental.....	69
4.6.1. Cronograma de Implementación (Carta Gantt).....	70
4.6.2. Matriz de Roles y Responsabilidades de los Actores	71
4.6.3. Control de Cambios documental	71
4.6.4. Evidencias Reproducibles e Instrumentos Operativos	72
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	73
5.1. Conclusiones	74
5.2. Limitaciones del Estudio	75
5.3. Trabajo Futuro	75
Bibliografía.....	76
Anexo	77

INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos domiciliarios en zonas urbanas es una problemática de alcance global, que adquiere particular relevancia en ciudades como Concepción, donde la densidad poblacional, la actividad económica y el consumo son elevados. Uno de los grandes desafíos consiste en integrar de forma eficiente el manejo de residuos peligrosos domiciliarios (RESPEL) y los residuos valorizables dentro del sistema municipal, con el fin de minimizar riesgos sanitarios y ambientales, mejorar la eficiencia operativa y contribuir al cumplimiento de la normativa ambiental vigente, como el Decreto Supremo 148 y la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP).

En Concepción, ya existen algunas iniciativas municipales encaminadas hacia una gestión más sostenible. Por ejemplo, la comuna ha instalado puntos limpios para recibir papel, cartón, PET, latas y envases Tetrapak, que luego son entregados a sindicatos de recicladores locales. En cuanto al manejo de residuos peligrosos domiciliarios (RESPEL), se han suscrito convenios para la recolección de aceites usados, neumáticos y residuos electrónicos, además de operar un Centro Municipal de Acopio para residuos peligrosos.

Sin embargo, la generación de residuos valorizables tanto orgánicos como inorgánicos sigue siendo elevada: según diagnósticos municipales, cerca del 39 % de los residuos domiciliarios corresponden a fracción inorgánica “potencialmente valorizable”.

A pesar de estos esfuerzos, persisten brechas importantes en el control y separación de flujos. Históricamente, las estadísticas comunales agregaban el volumen de residuos inorgánicos masivos (como el vidrio gestionado por Cristoro) junto con los Residuos Peligrosos (RESPEL), generando reportes de recuperación que superaban los 2.500.000 kg. Sin embargo, al aislar estrictamente los RESPEL de origen domiciliario (pilas, aceites y residuos electrónicos) gestionados por el Centro de Acopio Municipal y empresas especializadas (Hidronor, Bio Bío Recicla, Recyclápolis y Rendering), el diagnóstico revela que la recolección efectiva alcanza solo 41.020 kg anuales (año 2024). Esta abrupta diferencia

cuantitativa evidencia que la cobertura del sistema específico para RESPEL sigue siendo marginal respecto al potencial de generación de la comuna.

Además, la tasa de disposición de residuos sólidos domiciliarios en relleno ha mostrado una tendencia decreciente per cápita, aunque los retos operacionales y la participación ciudadana siguen siendo puntos críticos. En este contexto, el presente estudio propone realizar un diagnóstico completo de la generación, gestión y normatividad aplicable a los residuos domiciliarios en Concepción, para luego formular una propuesta de mejora que incorpore un sistema optimizado de recolección selectiva y un manejo efectivo de los RESPEL municipales. De esta forma, se espera apoyar a la Municipalidad y a la Oficina de Residuos Valorizables y Peligrosos a avanzar hacia una gestión integral más sostenible, eficiente y conforme a la Ley REP.

1 OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta de Plan Maestro para la gestión integral de residuos sólidos domiciliarios valorizables y peligrosos (RESPEL) en la comuna de Concepción, sustentado en un diagnóstico técnico-operativo de la situación actual, a fin de optimizar la eficiencia financiera municipal y asegurar el cumplimiento del D.S. N° 148 y la Ley N° 20.920.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnóstico local: Levantar y evaluar información cuantitativa sobre la generación, flujos logísticos y el manejo actual de residuos domiciliarios y RESPEL en la comuna de Concepción.
- Identificación de brechas: Analizar las deficiencias operativas y regulatorias en la gestión municipal actual respecto a los estándares exigidos por el Decreto Supremo N° 148 (MINSAL) y las metas de valorización de la Ley REP.
- Diseño de propuesta: Elaborar un plan de reingeniería basado en recolección selectiva incentivada, educación ambiental y estandarización técnica de RESPEL para asegurar la viabilidad ambiental y financiera del sistema.

2. JUSTIFICACIÓN

La gestión inadecuada de residuos peligrosos domiciliarios representa un riesgo para la salud pública y el medioambiente. Este proyecto aporta a la especialidad de Ingeniería Ambiental al abordar un problema real de la comuna, generando información útil para la toma de decisiones municipales, fomentando la economía circular y contribuyendo a la reducción de impactos ambientales y al cumplimiento de la Ley REP.

.

3. HIPÓTESIS

La implementación de un Plan Maestro proactivo basado en el modelo de 'Pago por Generación' y la estandarización técnica de RESPEL en Concepción permitirá, en su primer año de régimen: 1) Incrementar la cobertura territorial de recolección selectiva del 29% al 50%, 2) Desviar al menos 850 toneladas anuales de residuos inorgánicos del relleno sanitario, y 3) Elevar la tasa de captura específica de RESPEL domiciliario en un 15% respecto a la línea base de 2024, generando un ahorro fiscal mínimo de \$32.300.000 CLP anuales por costos de disposición final evitados.

4. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto (cuantitativo y cualitativo), de carácter descriptivo y transeccional. El diseño metodológico se estructuró en tres fases consecutivas, orientadas a consolidar la línea base, identificar brechas operativas y validar la viabilidad técnica y económico-financiera de la propuesta de reingeniería.

4.1. Fase 1: Levantamiento de Información y Aseguramiento de Calidad de Datos (Diagnóstico Base)

- Esta fase se centró en la recopilación de datos operativos y normativos del periodo 2016-2024, estableciendo un estricto protocolo de control de calidad para subsanar distorsiones históricas de registro.
- Gestión Municipal y Saneamiento de Línea Base: Se auditaron las bitácoras de ingreso, planillas internas de pesaje y reportes de gestión de la Dirección de Medio Ambiente (D.M.A.) y de la Oficina de Residuos Valorizables. El proceso de control de calidad consistió en aislar y desagregar el flujo de residuos inorgánicos masivos (vidrio gestionado vía convenio Cristoro) que históricamente se consolidaba de forma errónea junto con los Residuos Peligrosos Domiciliarios (RESPEL).
- Gestión Ley REP: Se recopilaron las estadísticas mensuales de masa (kg) capturada por el Gran Sistema de Gestión Colectivo (GRANSIC) ReSimple durante el periodo inicial de operación puerta a puerta (septiembre-diciembre 2024).
- Mecanismo de Validación y Trazabilidad: Para asegurar el rigor de la información cuantitativa, los datos de masa declarados por el municipio y los gestores intermedios fueron cruzados y validados contra los manifiestos de despacho y recepción visados electrónicamente en el Sistema de Declaración y Control de Residuos Peligrosos (SIDREP) y la Ventanilla Única del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).

4.2. Fase 2: Procesamiento de Datos, Balances de Materia y Modelamiento Operativo

- Los datos crudos validados en la fase anterior fueron sometidos a análisis de ingeniería para determinar la eficiencia del sistema actual.
- Balances de Materia y Simulación de Desviación: Se estructuraron balances de masa globales y segregados mediante la ecuación fundamental de conservación de la materia. A partir de estos balances, se cuantificaron las tasas de desviación efectivas del relleno sanitario para la fracción orgánica y los materiales prioritarios de la Ley REP.
- Cuantificación del Impacto Ambiental: Las toneladas de residuos desviados se transformaron en indicadores de mitigación climática. Para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) evitadas, se aplicaron los factores de emisión oficiales de la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO), estimando la prevención de metano (CH₄) por degradación anaeróbica y su equivalencia en toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO₂eq).
- Modelamiento de Fallas Logísticas: Los cuellos de botella, riesgos operacionales y "vacíos de control" del manejo actual de RESPEL y recolección selectiva se analizaron mediante el modelamiento de procesos bajo el estándar BPMN (Business

Process Model and Notation), mapeando el flujo desde el usuario generador hasta el destinatario final autorizado.

4.3. Fase 3: Diseño de la Propuesta de Mejora y Validación Económico-Financiera

Las brechas críticas identificadas en el diagnóstico fundamentaron el desarrollo de la reingeniería estratégica del sistema municipal.

- **Diseño Técnico y Gobernanza:** El nuevo protocolo para el manejo seguro de RESPEL domiciliario se diseñó bajo el estándar de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) del Convenio de Basilea. La estructura de gobernanza y responsabilidades del Plan Maestro se organizó formalmente mediante una Matriz de Asignación de Responsabilidades (RACI), delimitando los roles de la D.M.A., el GRANSIC, los recicladores de base y las empresas de tratamiento.
- **Validación Económica del Modelo:** La viabilidad financiera del proyecto se estructuró mediante la proyección de flujos de caja y la determinación de indicadores económicos clave: Valor Neto Presente (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación del Capital (Payback).
- **Costos de Inversión (CAPEX):** Se estimaron utilizando valores referenciales y cotizaciones reales de tecnologías similares adjudicadas en el portal de Mercado Público (2024-2025).
- **Costos Operativos (OPEX):** Se proyectaron integrando costos de transporte regulado de carga peligrosa y tarifas de disposición industrial.
- **Beneficios Financieros:** Se calcularon linealmente sobre la base del ahorro fiscal demostrable por concepto de costos de disposición final evitados en el relleno sanitario de la comuna, fijado en un valor base de \$38.000 CLP por tonelada desviada.

CAPÍTULO I: Antecedentes y Contexto Global

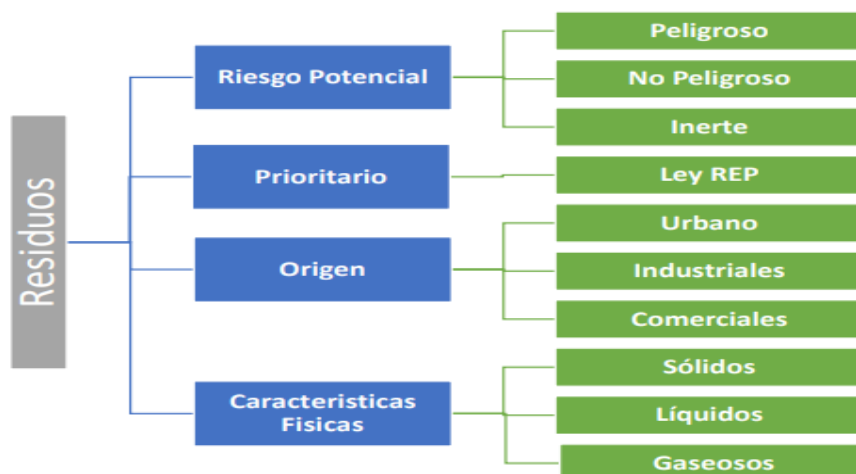
1.1 Residuos: Peligrosos, no Peligrosos y Prioritarios

La conceptualización del término "residuo" no es unívoca y varía según el enfoque económico, técnico o legal que se adopte. Desde una perspectiva económica global, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) define los residuos. Desde una óptica financiera internacional, los residuos se comprenden como elementos derivados de procesos de fabricación o consumo que, en su entorno original, carecen de valor comercial, situación que se da por la inexistencia de tecnología adecuada para su aprovechamiento o por la falta de mercado para los productos recuperados. Esta visión es complementada por autores como Jiménez (2017), quien amplía el espectro técnico definiendo al residuo como todo material "inútil y no deseado" originado por la actividad antropogénica, abarcando cualquier estado físico (sólido, líquido o gaseoso) y medio receptor.

Acotando el análisis al ámbito de la gestión comunal, la investigación se centra específicamente en los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD). Siguiendo los criterios de Henry & Heinke (1999), se entenderá por RSD a aquellos residuos sólidos generados en áreas residenciales, comerciales y ciertas operaciones industriales asimilables, cuya recolección, transporte y disposición final recae bajo la responsabilidad administrativa del municipio.

Sin embargo, para efectos de la aplicación normativa en el territorio nacional, esta investigación se rige por la definición jurídica establecida en el Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos (D.S. 148, MINSAL, 2003) y ratificada en la Ley 20.920. La legislación chilena define al residuo basándose en la conducta del poseedor, considerándolo como cualquier objeto o sustancia que se descarta, ya sea por voluntad propia o por imposición legal. Esta definición introduce el concepto de la intencionalidad y obligatoriedad del generador, siendo el punto de partida para cualquier sistema de gestión.

Figura 1-1: clasificación de residuos



Fuente: MMA 2016

Los residuos pueden clasificarse de 4 formas, lo que definirá la manera adecuada para realizar su manejo y posterior valorización o disposición final, por su riesgo potencial (peligrosos, no peligrosos e inertes), su origen (urbanos, industriales, comerciales), prioritarios (Aceites lubricantes, Baterías, Pilas, Neumáticos, Envases/Embalajes, aparatos Electrónicos y papel Diario/Revistas) y por sus características físicas (sólidos, líquidos, gaseosos). (González P., 2016; MMA, 2016)

Bajo el estándar normativo nacional, un desecho adquiere la categoría de peligroso si posee el potencial de dañar la salud de la población o el entorno natural, ya sea por sus propiedades intrínsecas o por una gestión deficiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algunas de las características señaladas en el artículo 11, del Decreto Supremo 148/03, detalladas a continuación.

Figura 2. Características que dan origen a un Residuo Peligroso



Fuente: Elaboración Propia

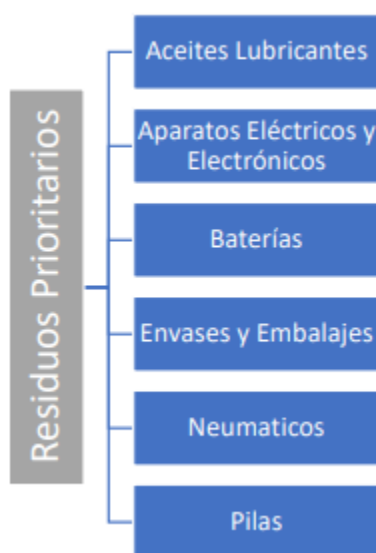
La normativa nacional, específicamente el D.S. 148/2003 (Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos), establece un sistema dual para la identificación de la peligrosidad. Por un lado, utiliza un criterio taxonómico mediante las Listas I, II y III (Artículo 18) y la Lista A (Artículo 90), las cuales catalogan residuos específicos según su fuente de generación o constituyentes químicos, alineándose con los convenios internacionales (como Basilea). Por otro lado, y de manera complementaria, define la peligrosidad intrínseca mediante las características de Toxicidad (Aguda, Crónica y Extrínseca), Inflamabilidad, Reactividad y Corrosividad. Es importante destacar que el reglamento también establece una "Lista B" para aquellos residuos que, pese a su origen, no presentan riesgos significativos, quedando exentos del régimen de control estricto.

Si bien la generación masiva de estos residuos se asocia históricamente a sectores industriales, mineros y hospitalarios (González P., 2016), su presencia en el flujo municipal plantea desafíos operativos críticos. Según CPL (2012), la gestión inadecuada no solo deriva en pasivos ambientales (contaminación de matrices de suelo y agua), sino que genera externalidades económicas severas, tales como sobrecostos logísticos, multas por incumplimiento normativo y un aumento exponencial del riesgo para la salud ocupacional de los operarios encargados del manejo.

Un aspecto técnico fundamental para la ingeniería de residuos es el "Principio de Derivación" establecido en el Artículo 19 del reglamento. Este dictamina que cualquier recipiente, embalaje o equipo que haya estado en contacto directo con un residuo peligroso, adquiere automáticamente la categoría de peligroso. Esto obliga a que los contenedores (como tambores o maxisacos) deban ser sometidos a procesos certificados de descontaminación antes de cualquier otro uso, o bien, ser eliminados como residuo peligroso, lo cual impacta directamente en el balance de costos del sistema de gestión.

Finalmente, el marco regulatorio evoluciona con la entrada en vigor de la Ley 20.920 (Ley REP), que introduce el concepto de Residuo Prioritario. A diferencia del enfoque puramente sanitario del D.S. 148, los residuos prioritarios se distinguen por tres factores: su volumen de generación, su nivel de riesgo y la viabilidad técnica de ser recuperados, lo que exige un control diferenciado para el fabricante de responsabilidad del productor. Esto marca un cambio de paradigma: se transita desde la lógica de la "disposición segura" hacia la "economía circular", obligando a recuperar materiales que antes eran considerados meros desechos peligrosos.

Figura 3. Residuos considerados como Prioritarios por Ley REP.



Fuente: Elaboración Propia

La operatividad de la Ley 20.920 no es inmediata, sino que se materializa progresivamente mediante la dictación de Decretos Supremos específicos para cada Producto Prioritario. Estos instrumentos regulatorios son los encargados de fijar las metas de recolección y valorización, transformando los principios de la ley en obligaciones técnicas y financieras para los generadores.

En este contexto, la gestión de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) constituye el primer hito regulatorio consolidado del sistema, estableciendo el precedente técnico para las demás categorías. Si bien en la etapa temprana de discusión legislativa (2018) se proyectaban escenarios tentativos, hoy la gestión se rige estrictamente por el Decreto Supremo N° 8 (2019) del Ministerio del Medio Ambiente. Este reglamento validó el modelo de 'responsabilidad escalonada', imponiendo metas exigentes desde su primer año de vigencia: la obligación de recolectar el 50% del parque de neumáticos introducidos al mercado nacional y asegurar la valorización efectiva de al menos un 25% de ellos.

Este modelo de gestión de NFU sirve como el 'caso base' que permite comprender la complejidad logística que hoy enfrenta la Municipalidad de Concepción con la implementación del decreto de Envases y Embalajes (D.S. 12/2020), demostrando que la transición hacia la economía circular requiere de sistemas de gestión robustos, financiados y fiscalizables.

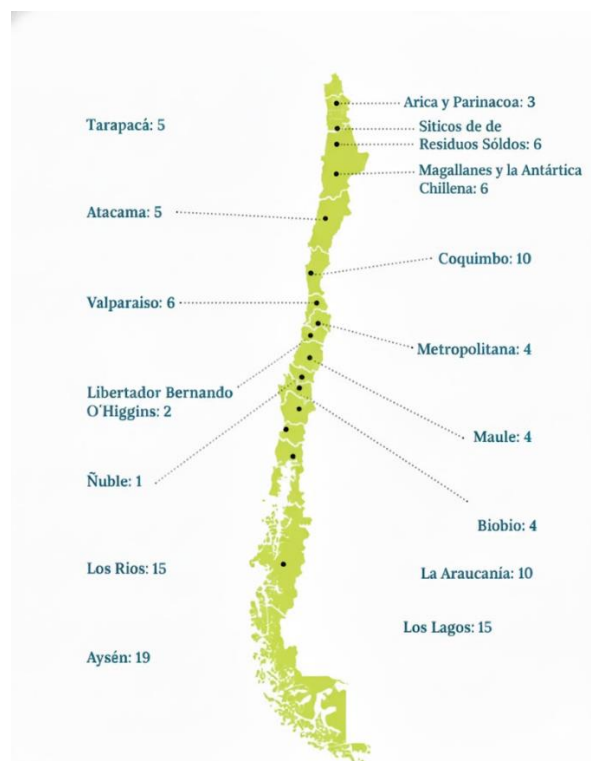
1.2 Problemática de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) a nivel nacional.

La generación anual de basura en Chile supera los 20 millones de toneladas, donde los residuos de origen municipal han ganado terreno hasta representar el 46,5% del total al año 2022. Según las estimaciones vigentes, la producción de desechos por habitante alcanza los 1,13 kg diarios, caracterizándose por una alta presencia de materia orgánica y restos alimentarios. De este material orgánico potencialmente compostable, apenas se recicla el 10% (Valenzuela, 2024).

La generación de residuos sólidos urbanos se concentra generalmente en las regiones con mayor urbanización, siendo la Región Metropolitana la que generó el 42% de los RSU nacionales en 2022 (3.601.758 t), seguida por las regiones de Valparaíso y Biobío con 10,01% (864.403 t) y 7,73% (668.024 t). Por otro lado, regiones menos pobladas como Aysén (52.268 t) y Arica y Parinacota (91.451 t) generaron volúmenes considerablemente menores, equivalentes al 1% cada una del total generado a nivel nacional.

La distribución de los sitios que procesan estos residuos se encuentra espacialmente concentrada en ciertos territorios. De los 103 sitios de disposición final de residuos sólidos domiciliarios activos al año 2023 (ver tabla 1), más de la mitad se concentra en las siguientes regiones: Región de Aysén (19), Los Lagos (15), Coquimbo (10) y La Araucanía (10). En cambio, otras regiones como Libertador Bernardo O'Higgins (2) y Ñuble y Los Ríos (1) cuentan con muy pocos sitios de disposición final (Ministerio del Medio Ambiente, 2024). A su vez, la mayoría de los residuos sólidos domiciliarios dispuestos en estos sitios fueron depositados en instalaciones ubicadas en la Región Metropolitana. Todos los sitios son administrados por las municipalidades, bajo una gestión mixta entre privada y municipal.

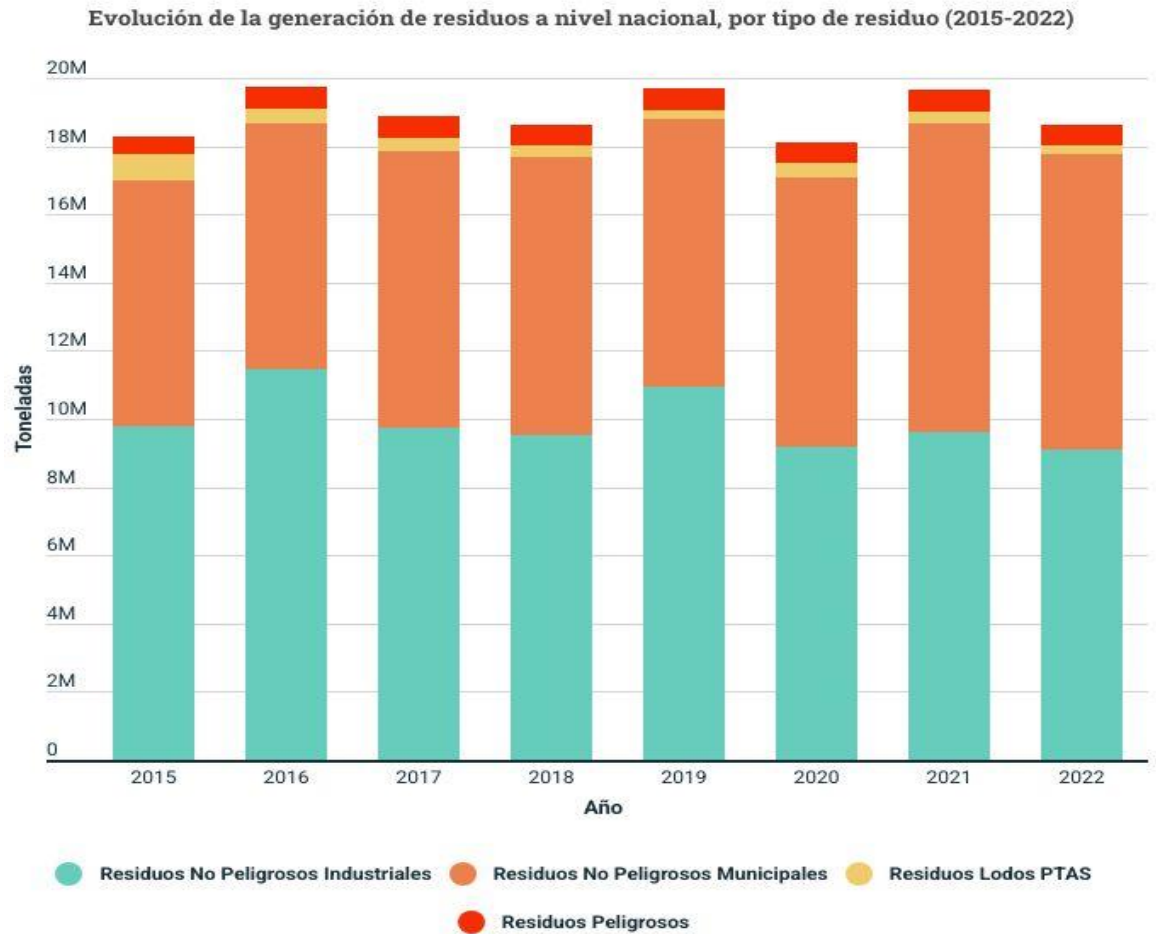
Figura 4: Numero de sitios de disposición final de residuos sólidos por región (2023)



Fuente: Elaboración Propia

Ahora bien, en comparación con el crecimiento de la generación de residuos municipales no peligrosos, la cantidad de residuos recuperados sigue siendo ínfima. La tasa nacional de reciclaje alcanzó un máximo del 4,83% en 2017 a pesar del crecimiento de los residuos municipales no peligrosos. Esta cifra no evidencia una tendencia creciente en años más recientes; ejemplo de ello es que en 2021 se registró una tasa de reciclaje de solo el 0,62% en relación con un aumento del 115% en la generación de residuos peligrosos municipales respecto del año previo. En este periodo también se aprecia que los residuos municipales no peligrosos aumentan su concentración como porcentaje de la generación nacional de residuos (del 39,40% en 2015 al 46,50% en 2022), tendencia que refleja los impactos de una gestión ineficiente (ver Tabla 1).

Figura 5: Evolución de la generación de residuos a nivel nacional, por tipo de residuos (2015-2022)



Fuente de datos: Ministerio del Medio Ambiente

fuelle: ministerio del medio ambiente

Por otro lado, si se revisan los sitios de disposición final, se observa que el crecimiento de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) en los últimos años también ha ido acompañado de un aumento de la eliminación en sitios ilegales y no regulados. En 2022, la mayor parte de estos residuos (89%) se dispuso en rellenos sanitarios, que cumplen con el D.S. N° 189 de 2008. Según el Informe del Estado del Medio Ambiente 2024, estos sitios tienen más requisitos en su diseño, construcción y operación para “minimizar las molestias y los riesgos para la salud y la seguridad de la población y los daños al medio ambiente”, lo que incluye la compactación de los residuos al volumen mínimo practicable y la cobertura diaria. En cambio, cerca del 5% de los RSM fueron a parar a vertederos (186.027 t) y basurales (14.020 t). Ambos tipos de sitios de disposición final tienen menos regulaciones en relación con el impacto ambiental y humano; los vertederos son sitios planificados para ese uso, pero que no cuentan con las medidas sanitarias mínimas establecidas en la normativa vigente.

1.2. Planteamiento del Problema

La gestión inadecuada de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) en Chile, y particularmente en centros urbanos de alta densidad como Concepción, genera un conjunto de impactos ambientales, climáticos y socioeconómicos que demandan una intervención urgente.

A nivel nacional, la disposición final de residuos en sitios no regulados como vertederos ilegales y basurales sigue siendo una problemática, propiciando la contaminación del suelo y las aguas, recursos esenciales y finitos. Esta contaminación altera los equilibrios naturales, impacta la biodiversidad, generando riesgos directos para los ecosistemas y la salud humana. Adicionalmente, la descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente en rellenos sanitarios y vertederos constituye una fuente significativa de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente metano y dióxido de carbono. Esta liberación contribuye directamente al cambio climático, lo que subraya la necesidad de aumentar la valorización de residuos orgánicos para mitigar estas emisiones.

En el ámbito social, la existencia de estos sitios de disposición irregular o la operación ineficiente del sistema municipal en general se traduce en:

- La proliferación de vectores (moscas, roedores).
- Contaminación atmosférica, malos olores y la inseguridad del entorno.
- Un desmedro en la calidad de vida de las poblaciones vecinas y una devaluación económica de sus propiedades.

Si bien la Comuna de Concepción ha implementado iniciativas municipales para la gestión de residuos peligrosos domiciliarios (RESPEL) y residuos valorizables, el diagnóstico municipal identifica que persisten brechas importantes. El desafío central reside en la integración eficiente del manejo de RESPEL y residuos valorizables dentro del sistema municipal para minimizar los riesgos sanitarios y ambientales y, fundamentalmente, cumplir con la normativa ambiental vigente, como el Decreto Supremo 148 y la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP).

La generación elevada de residuos inorgánicos potencialmente valorizables, junto con las variaciones marcadas en el volumen de RESPEL recolectado, evidencian que el sistema actual no está optimizado para la recolección selectiva ni para el manejo efectivo y trazable de los residuos peligrosos.

1.3. Justificación

La justificación de la presente investigación radica en la necesidad imperativa de prevenir y disminuir los riesgos asociados a la gestión de residuos, la cual se ha vuelto una preocupación preponderante a nivel global y nacional. La evolución de los esquemas de producción y consumo ha provocado un aumento considerable en los volúmenes de desechos, siendo el manejo inadecuado de los Residuos Peligrosos Domiciliarios (RESPEL) una amenaza directa contra la salud pública y el medioambiente. En el contexto de la comuna de Concepción, esta problemática adquiere una relevancia particular, ya que, a pesar de las iniciativas existentes, persisten brechas importantes. El diagnóstico municipal indica que cerca del 39 % de los residuos domiciliarios corresponden a fracción inorgánica potencialmente valorizable, lo que subraya la urgencia de optimizar la recolección selectiva y fomentar la economía circular.

Paralelamente, esta necesidad operativa se enmarca en un contexto de cambios legislativos significativos en Chile. La implementación de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP) y la vigencia del Decreto Supremo 148 exigen requisitos más estrictos para la gestión integral. Este manejo debe ser operado responsablemente por todos los actores involucrados: la comunidad, el sector privado y las Instituciones Públicas, como la Municipalidad. Por ende, este trabajo de título se justifica al proponer un sistema de mejora en gestión para poder optimizar, con el fin de que la administración local pueda asumir de manera ordenada y planificada el rol que le corresponde, asegurando el cumplimiento de la política nacional y contribuyendo a mitigar los impactos socioambientales en la comuna.

Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual

2.1. Marco teórico

Para el desarrollo del presente estudio, es fundamental establecer una base conceptual precisa. El punto de partida es la definición legal de residuo, según lo entendido de la Ley N° 20.920 (Ley REP) como aquella "sustancia u objeto que su generador desecha o tiene intención u obligación de desechar de acuerdo con la normativa vigente". A partir de esta base, los residuos pueden clasificarse según distintas características. Una distinción primaria es entre residuos orgánicos, que corresponden a "nutrientes no aprovechados que la naturaleza recupera de forma natural" y que constituyen "más de la mitad de los residuos domiciliarios y asimilables a domiciliarios", y los residuos inorgánicos, definidos como aquellos "correspondientes a materiales resultantes de algún proceso o producto que están compuestos por materiales inertes o sin vida", siendo de origen artificial y no biodegradables. Otra clasificación fundamental es según su peligrosidad. Los Residuos Peligrosos (RESPEL), foco de este estudio, son aquellos "residuos o mezcla de residuos que representan riesgo para la salud de las personas y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto". Esta peligrosidad se determina por las características indicadas en el artículo 11 del Reglamento Sanitario sobre manejo de residuos peligrosos (D.S. N° 148). Por el contrario, los residuos no peligrosos son simplemente "aquellos residuos que no reviste las características de un residuo peligroso".

Si se observan los residuos según su origen, el Ministerio del Medio Ambiente y la SUBDERE utilizan una clasificación que identifica tres tipos diferentes. Primero, los Residuos Sólidos Domiciliarios (RD), que "son aquellos residuos generados en los hogares como consecuencia de actividades domésticas". Segundo, los Residuos Sólidos Asimilables (RSA), que, si bien son "generados en procesos industriales u otras actividades", no son considerados peligrosos y, "por su cantidad, composición y características físicas, químicas y bacteriológicas, pueden ser dispuestos en un Relleno Sanitario sin interferir con su normal operación". Finalmente, los Residuos Sólidos Municipales (RSM), que es la categoría más amplia, englobando "aquellos residuos generados a nivel domiciliario y asimilables, más los residuos de parques y jardines, comercio, obras menores de construcción y demolición, ferias libres, pequeñas industrias, oficinas, colegios, hospitales y barrido de calles, escombros, voluminosos, artículos electrónicos y no electrónicos, restos de ramas y podas y basureros, entre otros".

En cuanto a los procesos, la gestión de residuos sólidos es definida por la Ley N° 20.920 como el conjunto de "operaciones de manejo y otras acciones de política, de planificación, normativas, administrativas, financieras, organizativas, educativas, de evaluación, de seguimiento y fiscalización, referidas a residuos". La primera operación es la recolección, que consiste en "recoger residuos, incluido su almacenamiento inicial con el objeto de transportarlos a una instalación". Cuando esta recolección se aplica a residuos previamente separados en origen, se le denomina "diferenciada" o "selectiva". Siguiendo la jerarquía de manejo, la valorización se define como el "conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los

mismos". Este concepto es amplio y "comprende la preparación para la reutilización, el reciclaje y la valorización energética". Específicamente, la preparación para la reutilización es la "acción de revisión, limpieza o reparación" para que productos desechados "puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa", mientras que la reutilización es la acción de usar productos desechados de nuevo "sin involucrar un proceso productivo". El reciclaje, por su parte, es el "empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo", lo cual "incluyendo el procesamiento y compostaje, pero excluyendo la valorización energética". Finalmente, como última opción de manejo, se encuentra la eliminación, definida como "todo procedimiento cuyo objetivo es disponer en forma definitiva o destruir un residuo en instalaciones autorizadas". En Chile, estas instalaciones se clasifican en tres tipos: Relleno Sanitario, que es una instalación "diseñada, construida y operada para minimizar molestias y riesgos", cumpliendo con el D.S. N° 189 de 2008; Vertedero, un lugar "planificado para ese uso, pero que no cuenta con las medidas sanitarias mínimas establecidas en el D.S. N° 189"; y Basurales, que son lugares donde se disponen residuos "sin ningún tipo de control sanitario ni protección ambiental"

2.2. Marco Normativo y Legal

La regulación de desechos en el país carece de un cuerpo legal único, lo que deriva en una arquitectura normativa atomizada y de alta complejidad para su aplicación. Esta dispersión normativa, donde las competencias de gestión, fiscalización y sanción están dispuestas en diferentes organismos sectoriales como las Seremis de Salud, las municipalidades y la Superintendencia de Medio Ambiente, dificulta la gestión institucional y la claridad para los ciudadanos e industrias. Un ejemplo concreto de esta fragmentación se evidencia en el proceso de obtención de patentes comerciales en Concepción, donde se ha identificado una descoordinación entre los organismos competentes (SEREMI salud/Medio Ambiente y Municipalidad), permitiendo la operación de establecimientos sin una evaluación ambiental adecuada de su generación de residuos. A pesar de esta fragmentación, el instrumento legal más relevante y moderno es la Ley N° 20.920 (Ley REP), que establece el marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje, constituyéndose como el instrumento legal más importante en la cadena de producción de basura al fijar obligaciones a los productores y conferir facultades a los municipios.

Esta ley central se sustenta en una base normativa previa. El pilar de la gestión municipal es la Ley N° 18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades (1988), que obliga a la unidad de aseo y ornato a hacerse cargo del servicio de extracción de basuras. En el ámbito ambiental, la Ley N° 19.300 de Bases Generales de Medio Ambiente (1994) exige evaluación ambiental para ciertos proyectos vinculados al manejo de residuos. De forma específica, la gestión de RESPEL se rige por el Decreto Supremo N° 148 del MINSAL (2004), que Establece el Reglamento Sanitario sobre el Manejo de Residuos Peligrosos. Este cuerpo legal

es central para el presente estudio, ya que define las características de peligrosidad y las condiciones de almacenamiento, rotulación y eliminación. Sin embargo, su principal brecha radica en el umbral normativo: el Artículo 25 exige a los generadores de menos de 12 toneladas de Residuos Peligrosos o 12 kg de Residuos Tóxicos Agudos anuales de la obligación de presentar un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos (PMRP). Esto crea un vacío de control para la gran mayoría de los generadores pequeños y difusos, como talleres y, por analogía, los hogares que generan RESPEL domiciliarios. Paralelamente, la disposición final en sitios controlados se norma por el Decreto Supremo N° 189 del MINSAL (2008), que Regula condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios.

Para implementar estas funciones, el principal instrumento disponible para los municipios es la dictación de ordenanzas municipales. En el caso de Concepción, este rol se materializa en la Política Ambiental Municipal, aprobada por Decreto Alcaldicio en 2019, la cual se establece como el instrumento rector en el desarrollo medio ambiental de la comuna. Esta política aterriza el marco nacional mediante objetivos específicos, como Promover la economía circular, en el marco de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP)"y Controlar la circulación y disposición de residuos urbanos peligrosos (como pilas, neumáticos, aceites y otros) manteniendo convenios con empresas recicladoras y promoviendo la recepción de éstos en el Centro Municipal de Acopio de residuos peligrosos. A nivel de políticas públicas nacionales, este marco se orienta por la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) y la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040. Finalmente, para apoyar la implementación municipal, la Ley REP estableció el Fondo para el Reciclaje (FPR), un fondo concursable que actúa como mecanismo de apoyo y financiamiento de proyectos para fomentar la valorización.

2.3. Fundamentos Técnicos de la Gestión de Residuos

Los fundamentos técnicos de la gestión de residuos se enmarcan en las operaciones y acciones definidas por la Ley N° 20.920, que define la gestión de residuos sólidos como el conjunto de operaciones de manejo y otras acciones de política, de planificación, normativas, administrativas, financieras, organizativas, educativas, de evaluación, de seguimiento y fiscalización, referidas a residuos. Técnicamente, el primer proceso clave es la recolección, definida como la operación que consiste en recoger residuos. Para que los residuos puedan ser derivados a procesos de valorización, este fundamento técnico debe ser una recolección diferenciada o selectiva, la cual se aplica específicamente a los residuos que han sido separados en origen. Una vez recolectados, los residuos se destinan a dos caminos técnicos opuestos: la valorización o la eliminación. La valorización es el pilar técnico de la economía circular, definida como el conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos. Esta comprende, a su vez, la preparación para la reutilización acciones de revisión, limpieza o

reparación para un segundo uso sin ninguna otra transformación previa y el reciclaje, que es el empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo, incluyendo el compostaje. En el extremo opuesto, la eliminación es el último eslabón, considerado el menos deseable, y es todo procedimiento cuyo objetivo es disponer en forma definitiva o destruir un residuo en instalaciones autorizadas. Los fundamentos técnicos para la eliminación diferencian tres tipos de instalaciones: el Relleno Sanitario, que es la instalación técnica que cumple con el D.S. N° 189; el Vertedero, que no cuenta con las medidas sanitarias mínimas; y los Basurales, que operan sin ningún tipo de control sanitario ni protección ambiental. Finalmente, dentro de la gestión municipal, dos flujos presentan fundamentos técnicos particulares: los Residuos Peligrosos (RESPEL), definidos como "residuos o mezcla de residuos que representan riesgo para la salud" y cuyo manejo técnico se rige por el D.S. N° 148 mediante un estricto protocolo operacional ; y los Residuos Orgánicos, que, aunque constituyen más de la mitad de los residuos domiciliarios , actualmente se valoriza menos del 1% , siendo su fundamento técnico y político la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO)(Katz, 2025)

2.4. Sistemas de Gestión y Modelos Operativos

Los sistemas de gestión y los modelos operativos para los residuos sólidos en Chile se articulan principalmente a nivel municipal, aunque están regulados por un marco normativo nacional. El modelo operativo básico recae en las municipalidades, a las cuales la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades (N° 18.695) obliga a la unidad de aseo y ornato a "hacerse cargo del servicio de extracción de basuras". Sin embargo, la implementación de una gestión integral, especialmente a la luz de la Ley REP, ha requerido que los municipios adopten sistemas de gestión más complejos que van más allá de la simple recolección y disposición final.

El principal instrumento de gestión operativa a nivel local es la ordenanza municipal. Con la dictación de estas normas se permite adaptar la aplicación de las leyes a las necesidades específicas de cada comuna. En el ámbito de los residuos, su elaboración permite sistematizar las competencias y obligaciones otorgadas por la legislación vigente, agrupándolas en un solo instrumento. Estas ordenanzas constituyen una herramienta fundamental para establecer reglas locales claras y efectivas que fomentan, por ejemplo, la separación en origen, el reciclaje y una disposición adecuada. Esta reglamentación, sin embargo, debe realizarse siempre dentro de los márgenes establecidos por la ley, por lo que las municipalidades no pueden atribuirse mayores facultades ni reducir las obligaciones impuestas por la normativa nacional.

Así, la elaboración de ordenanzas contribuye a fortalecer la capacidad municipal para cumplir con el mandato legal, ajustando su aplicación a las particularidades territoriales y organizativas de cada comuna, respetando siempre los límites del marco legal vigente.

A nivel de políticas públicas, se ha desarrollado como instrumento relevante, la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) de 2021. A pesar de que algunos municipios han comenzado a valorizar sus residuos orgánicos, actualmente se valoriza menos del 1% de los casi cuatro millones de toneladas generadas cada año.

Respecto de los instrumentos de apoyo y gestión, la Ley REP cuenta con el Fondo para el Reciclaje (FPR), uno de los fondos concursables del Ministerio del Medio Ambiente, que nace como un mecanismo de apoyo y financiamiento de proyectos para prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización. A su vez, existen otros instrumentos de apoyo tanto financiero como de certificación institucional para los municipios en materia de gestión de residuos sólidos, los cuales pueden ser de utilidad para el desarrollo de los sistemas locales. Estos se detallan a continuación, indicando el organismo del Estado que los tiene a su cargo:

Tabla1: Ministerio de Medio Ambiente

Fondo para el Reciclaje (FPR)	Es un fondo concursable del Ministerio del Medio Ambiente, establecido por la Ley N°20.920. Pueden postular municipalidades y asociaciones de municipalidades del país
Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM)	Sistema integral de carácter voluntario que permite a los municipios instalarse en el territorio como un modelo de gestión ambiental. Considera apoyo en fomento al reciclaje y gestión de residuos
Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos (SNCAE)	Sistema de carácter voluntario que entrega una certificación pública a los establecimientos educacionales que implementan exitosamente estrategias de educación ambiental en sus comunidades escolares.

Fuente: Elaboración Propia

En el caso de la comuna de Concepción, objeto de este estudio, se ha desarrollado un "modelo mixto" que busca "integrar de forma eficiente el manejo de residuos peligrosos domiciliarios (RESPEL) y los residuos valorizables". Este sistema es operado y coordinado por la Oficina de Residuos Valorizables y Peligrosos municipal.

- Gestión de Residuos Valorizables: La comuna ha implementado iniciativas municipales encaminadas hacia una gestión más sostenible. El pilar de este sistema

es la infraestructura de acopio, que consiste en puntos limpios para recibir papel, cartón, PET, latas y envases Tetrapak, los cuales operan como puntos verdes fijos y móviles. Una característica operativa clave de este modelo es la alianza social, ya que los materiales recolectados son entregados a sindicatos de recicladores locales.

- **Gestión de Residuos Peligrosos (RESPEL):** El modelo de Concepción es dual. Por un lado, la municipalidad opera su propia infraestructura, gestionando un "Centro Municipal de Acopio para residuos peligrosos", el cual funciona bajo un estricto "Protocolo Operacional". Por otro lado, complementa esta gestión mediante "convenios para la recolección de aceites usados, neumáticos y residuos electrónicos". Estos convenios se han suscrito con empresas especializadas del sector, como Hidronor, Bio Bío Recicla, Recyclápolis, Rendering, Cristoro y EcoChile.

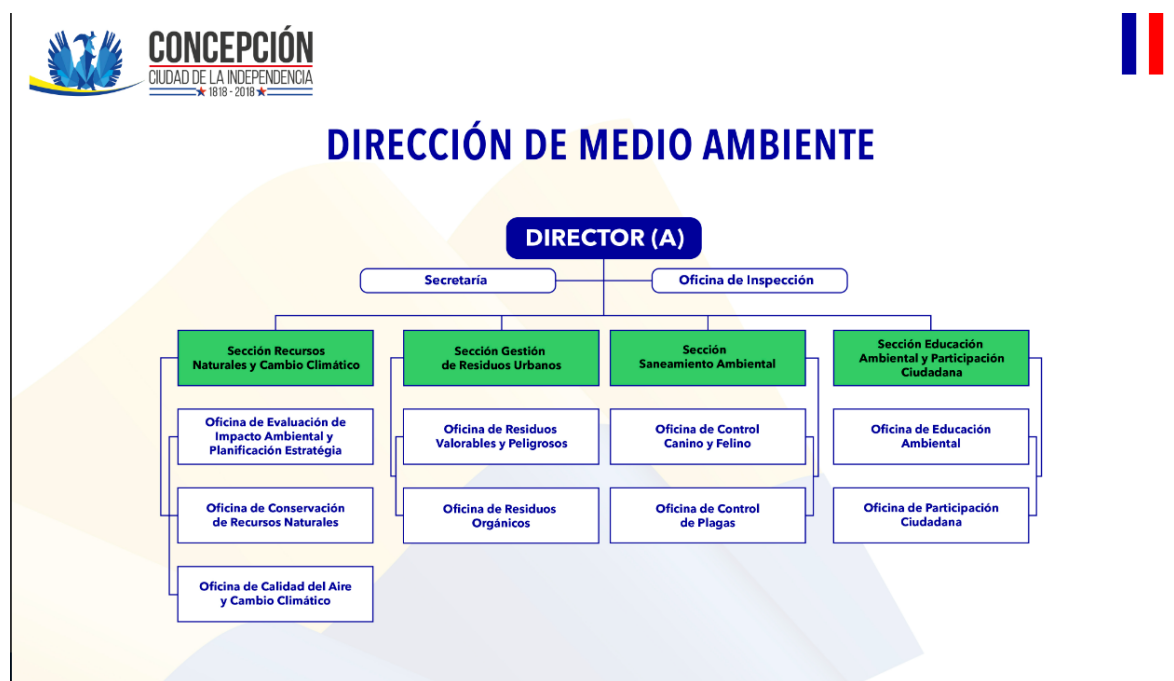
Estos modelos operativos municipales no funcionan de manera aislada; dependen de un sistema de gestión y apoyo financiero a nivel nacional. La Ley REP estableció el Fondo para el Reciclaje (FPR), un "fondo concursable del Ministerio del Medio Ambiente" que actúa como mecanismo de apoyo y financiamiento de proyectos para municipalidades. Adicionalmente, existen otros instrumentos de apoyo de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), como el Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) y el Programa de Mejoramiento Urbano (PMU), así como fondos del Gobierno Regional (FNDR y FRIL) que pueden ser utilizados para financiar la infraestructura necesaria. Finalmente, un aspecto clave del modelo operativo en Chile es su fragmentación institucional. El diagnóstico nacional concluye que la gestión de residuos enfrenta una crisis estructural, agravada por modelos de carácter reactivo y marcos institucionales fragmentados. Existe una "dispersión de competencias" que dificulta la coordinación y la eficiencia de las políticas públicas. Los Sistemas de Gestión y Modelos Operativos en Chile, si bien parten de una responsabilidad legal centralizada en la municipalidad (Ley N° 18.695), no constituyen un sistema monolítico, sino un mosaico de adaptaciones locales. El principal instrumento técnico y legal para esta adaptación es la ordenanza municipal, que permite a cada comuna ajustar la normativa nacional a sus necesidades territoriales específicas. El modelo híbrido que tiene la gestión municipal moderna no es autosuficiente, sino que depende de una red de actores y del acceso a sistemas nacionales de financiamiento (como el Fondo para el Reciclaje y los fondos SUBDERE para implementar y sostener sus operaciones de valorización).

Capítulo III: Diagnóstico de la Gestión de Residuos en Concepción

3.1. Gestión de la Fracción Orgánica

La Dirección de Medio Ambiente (D.M.A.) es una repartición con estructura orgánica y personal conforme al Reglamento de Organización Municipal vigente. Se encarga de la gestión ambiental del municipio conforme a la Política y a la Estrategia Ambiental Municipal vigentes. El municipio está certificado en el nivel más alto dentro del Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM), del Ministerio de Medio Ambiente, desarrollando la fase de “Gobernanza Ambiental Climática Comunal”, lo que la sitúa entre las mejores de Chile. Esto significa que mantiene una gestión ambiental certificada en las siguientes áreas: a) Gestión de residuos domiciliarios orgánicos, huertos vecinales y residuos valorizables y peligrosos; b) Control de plagas, zoonosis y tenencia responsable de mascotas; c) Protección de lagunas, humedales y bosque nativo; d) Cambio climático y emergencias; e) Participación ciudadana eco circuitos y educación ambiental; y f) Evaluación de proyectos de inversión en la comuna que, conforme a la ley, deben ingresar al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

Figura 6: Organigrama de dirección de medio ambiente



Fuente: Municipalidad de Concepción

La D.M.A. fomenta el trabajo transversal de las distintas reparticiones municipales con competencias de relevancia ambiental para abordar el control de la situación ambiental de la comuna. El énfasis en el trabajo de la DMA se encuentra en la detección y solución de problemas que permitan el saneamiento ambiental de los barrios y el uso sustentable de sus recursos naturales patrimoniales, en coordinación con las competencias atinentes del

conjunto de las reparticiones de la Corporación edilicia. Finalmente, la estrategia de la D.M.A. incorpora el componente social mediante el fomento de la corresponsabilidad ambiental. Se busca establecer una gobernanza donde la gestión municipal sirva como modelo educativo, promoviendo la participación ciudadana activa en la vigilancia y ejercicio de los derechos ambientales. Esto es relevante para la propuesta de gestión de residuos de esta tesis, ya que cualquier manual técnico requiere de la validación y participación de la comunidad y las organizaciones sociales para ser efectivo

3.1.1. Marco Estratégico y Operativo

La Dirección de Medio Ambiente (D.M.A.) de Concepción opera bajo un modelo de gestión sistémico que trasciende el cumplimiento básico de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades. Su marco operativo se alinea con la Estrategia Ambiental Comunal y los compromisos internacionales adquiridos, como la pertenencia a la "Coalición Internacional de Ciudades por el Aire Limpio". La operatividad se estructura en tres ejes críticos que abarcan el ciclo de vida completo de los residuos, integrando variables técnicas, normativas y sociales.

1. Eje de Gestión de la Fracción Orgánica y Mitigación Climática

Este eje responde a la problemática de que aproximadamente el 58% de los residuos domiciliarios en Chile son orgánicos. La estrategia municipal se alinea anticipadamente con las metas de la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO 2040), buscando desviar estos flujos del relleno sanitario para evitar la anaerobiosis incontrolada.

Por ende, reconociendo que los residuos orgánicos constituyen la fracción mayoritaria de la generación domiciliaria y son los principales responsables de la generación de lixiviados y emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en los sitios de disposición final, el municipio ha implementado desde el año 2016 un robusto programa de valorización mediante compostaje y vermicompost a domiciliario. Desde una perspectiva de balance de masas y mitigación climática, los resultados son significativos: la desviación acumulada de 9.553 toneladas de residuos orgánicos entre los años 2016 y 2024 ha prevenido la generación anaeróbica de metano (CH₄), evitando la emisión de aproximadamente 144 toneladas de este gas. Considerando el alto potencial de calentamiento global del metano, esta gestión se traduce en una reducción de la huella de carbono comunal equivalente a 3.313 toneladas de CO₂ equivalente. Este programa, que ha entregado 6.785 equipos y beneficiado a más de 18.000 habitantes, trasciende la mera gestión de residuos para integrar conceptos de soberanía alimentaria y protección del patrimonio genético mediante la implementación de huertos comunitarios y la recuperación de semillas, cerrando así el ciclo de nutrientes a escala local y fomentando la autogestión vecinal. (Municipalidad de Concepción, 2024).

2. Eje de Economía Circular y Ley REP

La gestión de residuos inorgánicos (envases y embalajes) atraviesa un proceso de transformación estructural, pasando de un modelo municipal voluntario a un modelo financiado y gestionado por los productores bajo la Ley 20.920 (REP).

La comuna ha avanzado desde un modelo de reciclaje voluntario hacia un sistema formalizado e integrado con los Sistemas de Gestión, materializado en el convenio con el GRANSIC "RESIMPLE". A partir de septiembre de 2024, se ha operacionalizado una logística de recolección selectiva "puerta a puerta" de alta complejidad en los macro sectores de Barrio Norte, alcanzando una cobertura inicial del 29% del territorio comunal. Esta operación se complementa con una red de infraestructura de acopio que incluye siete Puntos Verdes y Puntos Limpios de alta capacidad, permitiendo la recuperación anual de más de 11 toneladas de materiales prioritarios como plásticos PET, papeles, cartones y metales. Un aspecto crítico de este eje es la integración sociotécnica de los recicladores de base, específicamente a través del Sindicato de Recicladores del Biobío, lo cual da cumplimiento a la Ley 21.031; esto asegura que la cadena de valorización no solo sea eficiente desde el punto de vista logístico, sino que también reconozca y formalice la labor de pretratamiento realizada históricamente por estos gestores, validando su rol esencial en la recuperación de materiales.

3.2. Impacto Cuantitativo orgánico (2024)

El análisis de la gestión operativa durante el año 2024 evidencia la consolidación del programa de valorización de la fracción orgánica, mediante la expansión de la cobertura de equipamiento domiciliario y la diversificación de los flujos de recuperación. Los indicadores cuantitativos del periodo se detallan a continuación, desglosados por ejes de intervención:

Cobertura de Equipamiento y Monitoreo Operativo Durante el periodo 2024, la Dirección de Medio Ambiente gestionó la adquisición de 1.000 nuevas unidades de compostaje y vermicompostaje, logrando la entrega efectiva de 260 equipos a la comunidad. Con esta ejecución, el programa alcanzó un total acumulado histórico (2016-2024) de 6.785 equipos entregados, beneficiando directamente a una población estimada de 18.319 habitantes en la comuna.

Foto1: Planta Piloto de Vermicamas y Composteras Comunitarias



Fuente: Municipalidad de Concepción

Para asegurar la sostenibilidad técnica del modelo, se ejecutaron 856 seguimientos domiciliarios durante el año, lo que permitió verificar la operatividad de los sistemas y brindar asistencia técnica in situ a los usuarios. A la fecha, el catastro municipal valida que 3.346 equipos se mantienen en funcionamiento activo y continuo.

Capacitación y Educación Ambiental El componente educativo registró una participación significativa, capacitando a un total de 663 personas durante el año a través de modalidades mixtas:

- **Modalidad Presencial:** Se capacitaron 451 vecinos en ciclos de talleres prácticos, distribuidos en temáticas de compostaje (401 participantes), huertos domiciliarios (303 participantes) y manejo de residuos (226 participantes).
- **Modalidad Online:** Se instruyó a 212 personas mediante plataformas digitales, ampliando el alcance del programa hacia nuevos segmentos de la población.

Foto 2: Seguimientos del proceso de compostaje casa a casa



Fuente: Municipalidad de Concepción

Recuperación de Flujos Específicos y Planta Piloto La estrategia 2024 diversificó la captación de materia orgánica incorporando flujos comerciales y de ferias libres, logrando los siguientes volúmenes de recuperación:

- Borrás de Café: Se recolectaron 2.884 kg (2,88 toneladas) provenientes de locales comerciales adheridos al programa, superando las cifras del año anterior.
- Residuos de Ferias Libres: Se recuperaron 1.870 kg (1,87 toneladas) de descartes vegetales desde ferias y distribuidoras de frutas y verduras.

Tabla 2: Reciclaje de borras de café de locales comerciales penquistas.

Años / Recuperación de Borrás de Café	Toneladas de Borrás de Café
2023	2.436
2024	2.884
Total	5.290

Fuente: Municipalidad de Concepción

Tabla 3: Recuperación de residuos Orgánicos: Reciclaje de Residuos Orgánicos desde las ferias libres y distribuidoras de frutas y verduras.

Años / Recuperación de Residuos Orgánicos	Toneladas de Residuos Orgánicos
2023	17.976
2024	1.870
Total	19.846

Fuente: Municipalidad de Concepción

Estos insumos abastecieron la Planta Piloto de Compostaje y Vermicompostaje, la cual procesó un total de 1.865,84 kg de residuos orgánicos durante el periodo. Como resultado del proceso de valorización, se generaron aproximadamente 560 kg de humus de lombriz, proyectándose además una cosecha de 1.800 kg de compost maduro destinado al mejoramiento de suelos en huertos comunitarios y rurales.

En términos de impacto global, la estrategia municipal ha logrado desviar un total acumulado de 9.553 toneladas de residuos orgánicos desde su inicio hasta el cierre de 2024. Esta gestión ha evitado la disposición final en relleno sanitario, previniendo la emisión de 144 toneladas de metano (CH₄) a la atmósfera. Considerando que el metano tiene un Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) de 23 veces superior al del dióxido de carbono, según los parámetros técnicos establecidos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), este volumen mitigado equivale a una reducción directa en la huella de carbono comunal de 3.313 toneladas de CO₂ equivalente.

Tabla 4: Tabla de Balance Ambiental y Económico (Acumulado 2016-2024)

Indicador de Gestión	Cantidad / Valor	Unidad	Descripción del Impacto
Desviación de Residuos	9.553	Toneladas	Total, acumulado de residuos orgánicos desviados del relleno sanitario.
Prevención de Metano (CH4)	144	Toneladas	Emisiones directas de gas metano evitadas por descomposición anaeróbica.
Mitigación de Huella de Carbono	3.313	Ton CO2 equivalente	Equivalencia en dióxido de carbono de las emisiones prevenidas.
Ahorro Municipal	\$362.995.441	CLP (Pesos)	Recursos públicos ahorrados por concepto de disposición final no realizada.

Fuente: Municipalidad de Concepción

Desde la perspectiva financiera, esta desviación de residuos se traduce en una eficiencia del gasto público, generando un ahorro acumulado para el municipio estimado en \$362.995.441 por concepto de costos de disposición final evitados.

3.3. Gestión de Residuos Valorizables: Modelo Mixto y Transición a la Ley REP

Durante el año 2024, la gestión de residuos inorgánicos valorizables en la comuna de Concepción experimentó una recuperación total consolidada de 2.352 toneladas. Este resultado es producto de un modelo de gestión mixto que integra los flujos provenientes de la infraestructura municipal (fija y móvil), los convenios históricos con empresas privadas y la implementación progresiva de la Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP) iniciada en el segundo semestre.

Tabla 5: Gestión de RESPEL y Residuos Especiales (2024)

Tipo de Residuo	Cantidad Recuperada (kg)	Equivalencia (Toneladas)	Impacto ambiental (kg CO2e)	Canal de Gestión Principal
Vidrios	949.000	949	189.800 kg	Convenio Cristoro
Papel y Cartón	878.159	878	2.019.766 kg	Puntos Verdes / Recicladores
Plásticos (PET/Otros)	221.740	222	332.610 kg	Convenio Replas / Puntos Limpios
Aceites Fritos	140.208	140	381 kg	Convenio Rendering/Covemar
Latas / Metales	119.697	120	836.682 kg	Puntos Verdes
TOTAL	2.308.804	2.309	3.379.239 kg	Modelo Integral Mixto

Fuente: Municipalidad de Concepción

El desglose operativo evidencia que el mayor volumen recuperado corresponde a vidrios y papeles/cartones, gestionados a través de alianzas estratégicas consolidadas, mientras que los envases y embalajes ligeros han comenzado una transición hacia la gestión formalizada por los Grandes Sistemas de Gestión Colectivos (GRANSIC).

3.3.1. Infraestructura de Acopio (Puntos Verdes Fijos y Móviles)

El sistema de recolección segregada de la comuna se sustenta en una red de infraestructura de acopio diseñada para captar la fracción inorgánica valorizable generada por la comunidad. Este sistema opera bajo un modelo de gestión mixto que combina puntos fijos de acceso permanente con estrategias itinerantes de acercamiento a los barrios.

Red de Puntos Verdes Fijos La instalación de Puntos Verdes tiene como objetivo principal la recuperación y segregación en origen de residuos inorgánicos, específicamente papeles, cartones, botellas plásticas (PET 1) y latas de aluminio y conservas. La operatividad de esta

red se realiza en alianza con el Sindicato de Recicladores Bio Bío, quienes reciben el material recolectado por el personal de la Dirección de Medio Ambiente para su posterior pretratamiento y valorización.

Actualmente, la red comunal consta de 7 puntos de recuperación (5 de administración municipal y 2 de gestión comunitaria), emplazados estratégicamente en los siguientes sectores:

1. Sector Lorenzo Arenas: Centro de Acopio Municipal de Reciclaje (Diego de Almagro 540, Laguna Redonda).
2. Sector Centro: Intersección de calles Bulnes con Ongolmo.
3. Sector Lomas de San Sebastián: Costado del Colegio Almondale.
4. Sector Parque Ecuador: Costado del Club de Tenis.
5. Sector Centro: Instalaciones de Recicladoras de Base (Avda. Prat con Cruz).
6. Sector Plaza Perú: Intersección de San Martín con Diagonal (gestión Junta de Vecinos).
7. Sector Cerro la Pólvara: Junta de Vecinos Cerro la Pólvara.

Foto 3: Puntos verdes municipales en la vía pública



Fuente: Propia

Adicionalmente, se realizan recuperaciones en eventos masivos (Feria Artesanal, Fiestas Patrias, Teletón), cuyos residuos son derivados directamente a las instalaciones de base en Calle Prat 1245.

Para ampliar la cobertura territorial, la estrategia se complementa con un sistema de Puntos Verdes Móviles. Este servicio se activa a solicitud de las Juntas de Vecinos, instalándose en los barrios por periodos de una semana o más, bajo coordinación con los sectorialitas municipales.

Foto 4: Puntos Verdes móviles



Fuente: Propia

Durante el año 2024, con esta modalidad itinerante se han recuperado toneladas de residuos valorizables (papel, cartón, latas y plásticos PET 1) en 26 puntos de la comuna. Principalmente desde las Juntas de vecinos y de diversos eventos municipales. Cada Junta de vecinos solicita el Punto verde móvil para su sector en coordinación con el sectorial, estando una semana o más en el lugar. En el periodo 2024, la recuperación de 10.268 kg de residuos valorizables evitó la emisión de 28.796 kg de CO2 equivalente, cifra que representa una reducción de la huella de carbono estimada en 29 toneladas de CO2eq.

Tabla 6: Volúmenes de residuos valorizables recuperados año 2024 Punto verde móvil

RESIDUOS VALORIZABLES	AÑO 2024 (Kilogramos)	AÑO 2024 (toneladas)	Kg CO2 EQ. Que no se han emitido al ambiente
PAPEL - CARTON	4.802	5	11.046
PLÁSTICOS	3.725	4	5.588
LATAS	1.740	2	12.163
TOTAL	10.268	11	28.797 kg CO2 EQ. / 29 ton de CO2eq.

Fuente: Municipalidad de Concepción

Al integrar los flujos provenientes de la infraestructura fija, móvil y los convenios de colaboración, la gestión de residuos valorizables en la comuna de Concepción generó un impacto ambiental positivo significativo durante el periodo 2024. En total, se logró desviar 2.319 toneladas (2.319.072 kg) de residuos inorgánicos que, de otro modo, habrían sido dispuestos en el Relleno Sanitario.

Esta gestión operativa se traduce en una reducción directa de la huella de carbono comunal, evitando la emisión de 3.218 toneladas de CO2 equivalente (3.217.854 kg) a la atmósfera². Este indicador refleja una contribución concreta a la mitigación del efecto invernadero local

y la protección de la capa de ozono. Finalmente, cabe destacar que la totalidad de los residuos no peligrosos recuperados fue derivada a los recicladores de base de la comuna, asegurando su reincorporación efectiva a la cadena de valorización.

3.3.2. Implementación de la Ley REP (Iniciativa RESIMPLE)

La implementación de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley 20.920) en la comuna de Concepción marcó un hito en la modernización de la gestión de residuos durante el año 2024. Este proceso se formalizó a través de un convenio con el Gran Sistema de Gestión Colectivo (GRANSIC) ReSimple, permitiendo la transición desde un modelo de reciclaje voluntario hacia uno sistemático y financiado por los productores.

Operatividad del Sistema de Recolección Selectiva El sistema inició sus operaciones el 2 de septiembre de 2024, desplegando un servicio de recolección selectiva "casa a casa" enfocado en la recuperación de envases y embalajes. La cobertura inicial abarcó el 29% del territorio comunal, focalizándose en los macro sectores 7, 8 y 9 correspondientes al área de Barrio Norte.

Foto5: Distribución de soluciones de acopio de residuos valorizables



Fuente: ReSimple

Para facilitar la segregación en origen, se distribuyeron soluciones de acopio (maxisacos de 1 m3) a las viviendas y edificios participantes, habilitando la recolección diferenciada de materiales prioritarios como papeles, cartones, latas de aluminio, envases de hojalata, plásticos (PET, PEAD, PP) y cartones para bebidas (Tetrapak)

Foto 6: Soluciones de acopio



Fuente: ReSimple

En sus primeros cuatro meses de funcionamiento, la iniciativa demostró una curva de adopción acelerada por parte de la comunidad. Se logró recuperar un total de 33.229 kg (33,2 toneladas) de residuos valorizables. El análisis mensual de los datos refleja un crecimiento exponencial en la participación ciudadana y la eficiencia de la recolección.

Tabla 7: Kilos recuperados año 2024

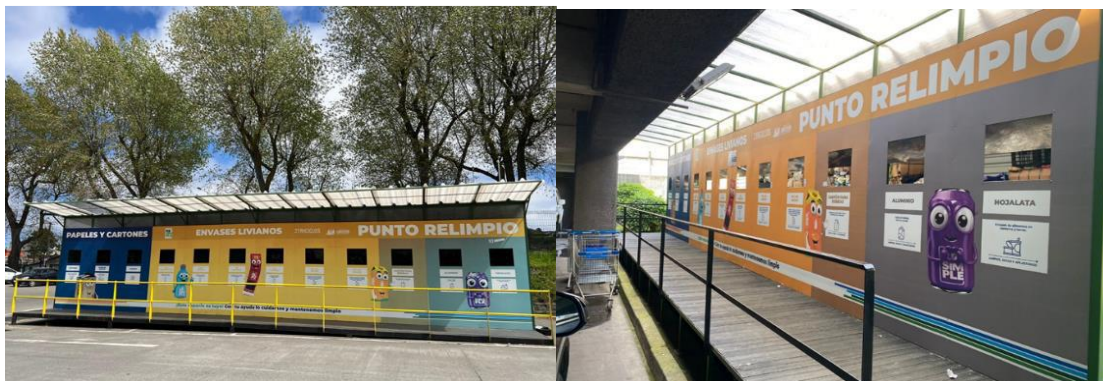
septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total
288	7.621	9.109	16.211	33.229

Fuente: ReSimple

Este incremento sostenido valida la efectividad del modelo de recolección en puerta, evidenciando un aumento del volumen recuperado superior al 5.000% entre el primer y el cuarto mes de operación.

Como soporte a la recolección domiciliaria, la estrategia incluyó la instalación de 2 Puntos Limpios de alta capacidad ubicados estratégicamente en Avenida Andalién y Avenida San Juan Bosco. Esta infraestructura pública permite a los vecinos que no están cubiertos por la ruta de retiro domiciliario, o que requieren disponer de volúmenes mayores, acceder al sistema de gestión formalizado. Un tercer punto limpio se encuentra en proceso de instalación para ampliar la red de acopio.

Foto:7 Puntos Limpios ReSimple



Fuente: ReSimple

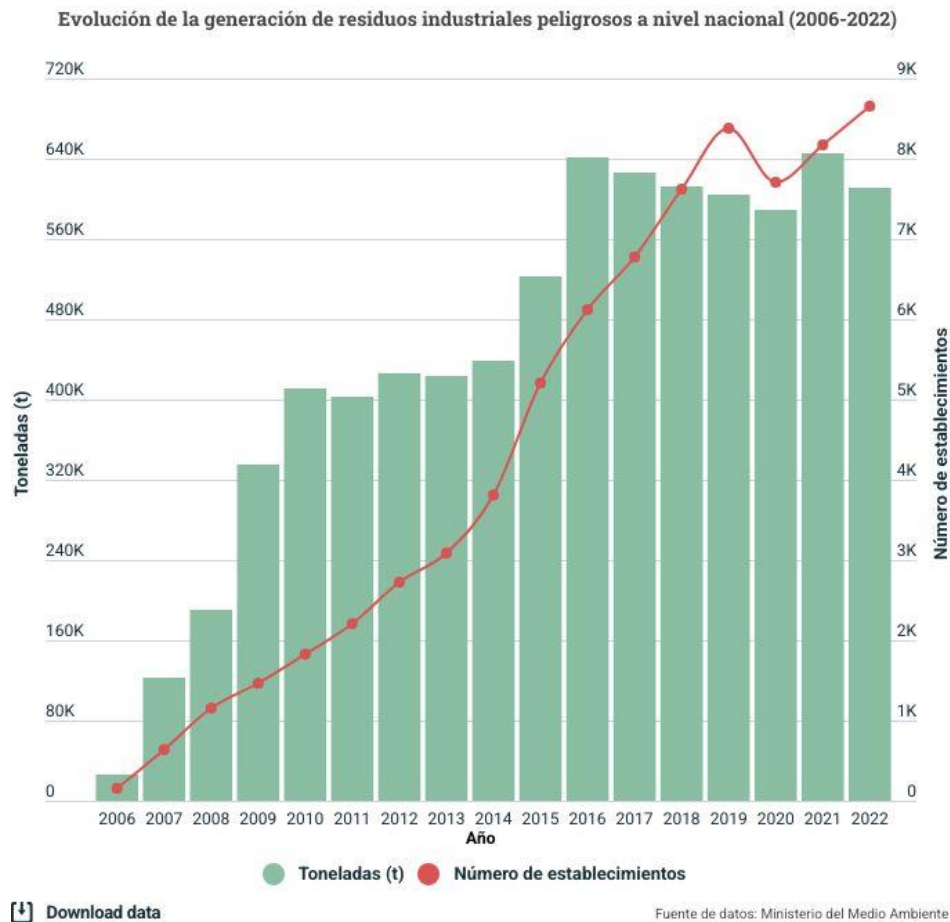
Para asegurar la sostenibilidad jurídica y operativa del nuevo modelo, el municipio actualizó la Ordenanza Municipal N°6, incorporando en el Capítulo V (Artículos 103 al 118) la obligación de los vecinos de segregar sus residuos en origen y fomentar activamente el reciclaje, alineando la normativa local con los requerimientos de la Ley REP.

3.4. Gestión de Residuos Peligrosos (RESPEL)

Se entiende por RESPEL industrial a aquellos sobrantes de la actividad productiva cuyas características químicas o biológicas suponen una amenaza para el bienestar humano y los ecosistemas. Estos residuos pueden ser tóxicos, inflamables, corrosivos, reactivos o persistentes, lo que significa que no se descomponen fácilmente y pueden causar daños duraderos.

La generación de residuos peligrosos en Chile ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas dos décadas, pasando de 26.841 toneladas en 2006 a superar las 600.000 toneladas anuales en el periodo 2021-2022. Estos residuos, caracterizados por su toxicidad, inflamabilidad y persistencia en el ambiente, representan un desafío crítico para la salud pública y los ecosistemas si no son tratados adecuadamente.

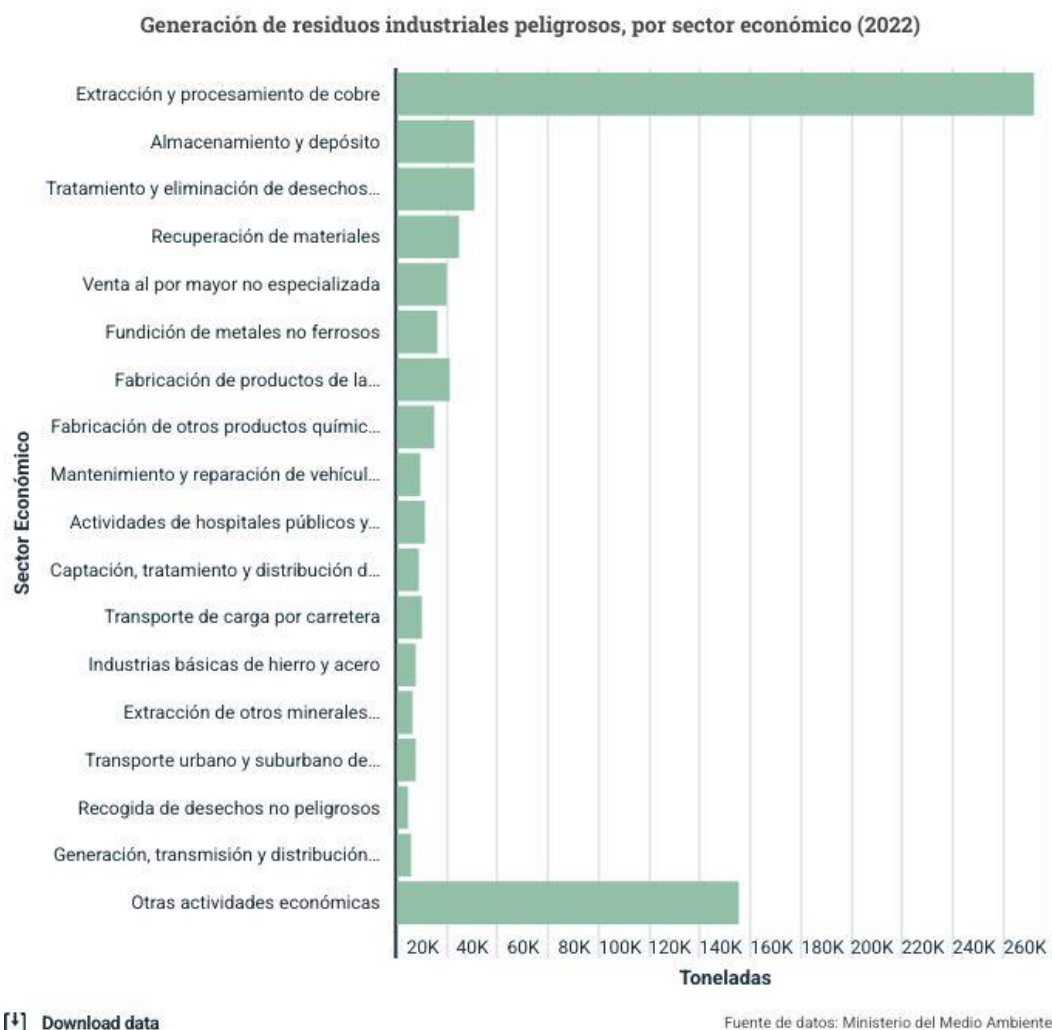
Figura 7: Evolución de la generación de residuos industriales peligrosos a nivel nacional (2006-2022)



Fuente: Ministerio de medio ambiente

La generación de residuos peligrosos muestra un aumento sostenido desde el año 2006 al 2021, los que pasaron de 26.841 toneladas a 645.734 toneladas, disminuyendo el año 2022 a 611.610 toneladas. Los valores de la generación de los dos últimos años 2021-2022, existe una reducción de 34.124 toneladas, así como también en el número de establecimientos con una disminución de 8167 a 592 establecimientos.

Figura 8: Generación de residuos industriales peligrosos, por sector económico (2022)



Fuente: Ministerio de medio ambiente

Para el año 2022, las principales fuentes de generación de estos desechos provienen de la extracción y procesamiento de cobre con más de 251 mil toneladas y de la categoría de otras actividades económicas, que generó alrededor de 135 mil toneladas. Les siguen las actividades de tratamiento y eliminación de desechos peligrosos y la recuperación de materiales con 30,7 mil toneladas y 30,6 mil toneladas respectivamente.

3.4.1. Protocolo Operacional del Centro de Acopio Municipal

El funcionamiento del Centro de Acopio Municipal de Residuos de Concepción se rige por un protocolo estandarizado diseñado para asegurar la trazabilidad legal y operativa de los residuos, en conformidad con el Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos (D.S. N° 148/2003).

El alcance operativo del recinto abarca la recepción y manejo de residuos provenientes de generadores específicos: vecinos residentes, talleres mecánicos y las propias direcciones municipales. Para garantizar el control de estos flujos, se ha definido una estructura de responsabilidades clara:

- **Responsable del Proceso:** La gestión recae en la jefa de la Oficina de Residuos Valorizables. Su función es asegurar la vigencia de la resolución sanitaria de transporte, realizar la declaración en el sistema SIDREP y gestionar la documentación legal.
- **Personal Operacional:** Se divide en dos grupos. El cuerpo de guardias, encargado de la recepción y el registro inicial (filtro de entrada), y el equipo de reciclaje, responsable de la segregación física y el acondicionamiento de la carga.

3.4.2. Flujo de Recepción, Clasificación y Almacenamiento

El ciclo de manejo interno de los residuos se divide en etapas críticas de control y procesamiento para minimizar riesgos ambientales y de seguridad.

A. Recepción y Admisión (Bitácora) El proceso inicia con el ingreso del usuario, donde el personal de guardia aplica el primer filtro de seguridad. Es obligatorio el registro en una bitácora de ingreso, consignando el tipo de material y la fecha.

Para la admisión de residuos peligrosos o de manejo especial, se exigen condiciones estrictas de confinamiento para evitar derrames:

- **Pilas:** Deben entregarse confinadas exclusivamente dentro de botellas plásticas, prohibiéndose el uso de bolsas o cajas.
- **Aceites Vegetales:** Solo se reciben en botellas plásticas cerradas.
- **Restricciones:** No se admite el ingreso de residuos voluminosos de línea blanca mayor, como refrigeradores o lavadoras.

B. Segregación y Acondicionamiento La etapa de procesamiento técnico se concentra semanalmente y es ejecutada por el equipo de reciclaje. Las operaciones varían según el tipo de residuo:

- **Residuos Eléctricos y Electrónicos (RAEE):** Se procede al desmantelamiento de los equipos para la extracción segura de baterías internas y la separación de plásticos, los cuales se acopian en maxisacos diferenciados.
- **Pilas:** Se realiza una segregación secundaria y limpieza para retirar impropios (basura u otros elementos) antes de su acopio final.

- **Aceites Minerales:** Se realiza el trasvasije desde los envases menores hacia contenedores industriales (*bins*) de 1 metro cúbico. Los envases vacíos resultantes se gestionan como residuos peligrosos por contacto ("envases contaminados").

C. Almacenamiento y Etiquetado Todo material acopiado debe cumplir con las normas de embalaje seguro para su posterior transporte. Las pilas limpias se disponen en *bins* de madera, mientras que filtros y aceites menores se confinan en tambores o bidones plásticos sellados con papel film. De acuerdo con la normativa vigente, cada unidad de almacenamiento (maxisacos, pallet o bins) debe contar con su rotulado obligatorio (señalética) indicando la característica de peligrosidad según el D.S. 148.

3.4.3. Proceso de Transporte y Declaración (SIDREP)

La logística de salida asegura la cadena de custodia desde el generador municipal hasta el destinatario final autorizado.

Logística de Transporte El retiro de residuos se coordina generalmente para los jueves, utilizando dos camiones de alto tonelaje que cuentan con Resolución Sanitaria vigente. El umbral operativo para activar un despacho es completar una carga de entre 4 a 10 maxisacos de residuos eléctricos/electrónicos o carga combinada.

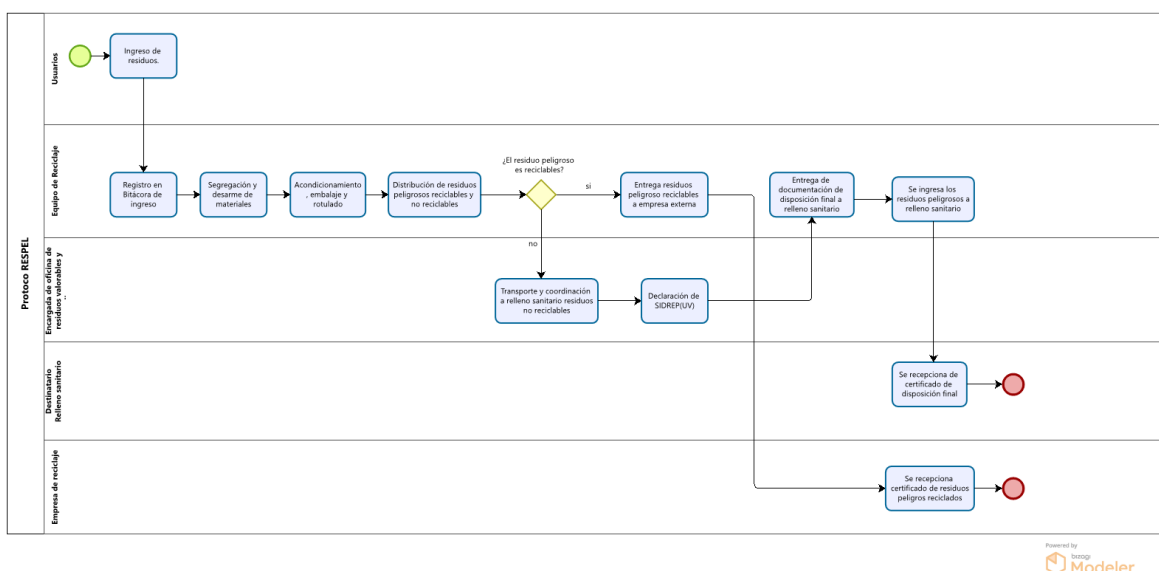
Declaración y Trazabilidad (SIDREP) El proceso administrativo es responsabilidad de la jefa de Oficina y se ejecuta el día previo al retiro para cumplir con la normativa de trazabilidad:

1. **Solicitud:** Se coordina vía correo electrónico con el destinatario final (ej. Hidronor) para obtener la Orden de Ingreso.
2. **Declaración Oficial:** Se realiza la declaración de la Hoja SINADER en el sistema ventanilla única SIDREP, detallando kilos y tipología de material.
3. **Documentación de Transporte:** La carga se despacha acompañada de un set documental que incluye la Declaración SINADER impresa, la Hoja de Datos de Seguridad (HDS) del residuo, la Orden de Ingreso y el registro municipal interno.

3.4.4. Protocolo Operacional y Estructura de Responsabilidades (Matriz RACI)

Con el objetivo de asegurar la estandarización operativa y el cumplimiento de la normativa de trazabilidad dispuesta en el D.S. 148/2003, se modeló el procedimiento de gestión de RESPEL utilizando un diagrama de flujo de actividades (BPMN) y una Matriz de Asignación de Responsabilidades (RACI). Estas herramientas permiten visualizar la secuencia lógica de las operaciones y delimitar de manera inequívoca la función de cada actor dentro del sistema de gestión.

Figura 9: Diagrama de Flujo del Protocolo RESPEL



Fuente: Propia

Tal como se presenta en la Figura 7, el proceso se encuentra estructurado en carriles de actuación que segregan las funciones operativas de las administrativas. El ciclo inicia con el Usuario, quien activa el proceso mediante el ingreso físico de los residuos al recinto. Posteriormente, el Equipo de Reciclaje asume el control en la fase operativa, ejecutando una secuencia lineal de actividades críticas:

1. **Registro y Control:** Se formaliza la entrada mediante el registro en la Bitácora de Ingreso, asegurando el inventario inicial.
2. **Procesamiento:** Se procede a las tareas de segregación y desarme (específicamente en el caso de RAEE), seguidas del acondicionamiento, embalaje y rotulado de seguridad de los residuos.

3. **Distribución:** En esta etapa, el flujo presenta una compuerta de decisión basada en la naturaleza del residuo. Si el material es **reciclable**, se deriva directamente a una empresa externa para su valorización. Por el contrario, si el residuo **no es reciclable** (clasificado como desecho peligroso para disposición final), la responsabilidad operativa se transfiere al nivel administrativo.

En la fase final, la Encargada de la Oficina de Residuos Valorables y Peligrosos gestiona la logística de salida, coordinando el transporte y realizando la declaración obligatoria en el sistema de Ventanilla Única (SIDREP). El proceso concluye con la recepción de los certificados legales, ya sea de reciclaje o de disposición final en relleno sanitario, cerrando de este modo la cadena de custodia.

Tabla 8 Matriz de Asignación de Responsabilidades (RACI)

ACTIVIDAD/ROLES	Usuarios	Equipo de Reciclaje	Encargada de oficina de residuos valorizables y peligrosos	Destinatario Relleno sanitario	Empresa de reciclaje
Ingreso de residuos.	R	I	A		
Registro en Bitácora de ingreso	I	R	A		
Segregación y desarme de materiales		R	A		
Acondicionamiento, embalaje y rotulado		R	A		
Distribución de residuos peligrosos reciclables y no reciclables		R	A		
Transporte y coordinación a relleno sanitario residuos no reciclables			AR	I	
Entrega residuos peligroso-reciclables a empresa externa		R	A		I
Declaración de SIDREP(UV)			AR		
Entrega de documentación de disposición final a relleno sanitario		R	A	I	
Se ingresa los residuos peligrosos a relleno sanitario		R	A	I	

Se recepciona certificado de disposición final		A	I	R	
Se recepciona certificado de residuos peligrosos reciclados		I	A		R

Fuente: Propia

De manera complementaria, la Tabla 8 detalla la gobernanza del proceso, clasificando la intervención de cada actor bajo la metodología RACI

- **Rol de Ejecución (R - Responsible):** El Usuario es el ejecutor inicial al ingresar el residuo. El Equipo de Reciclaje actúa como el principal ejecutor operativo, siendo responsable de las tareas físicas de manipulación, como la segregación, el embalaje y la entrega física a terceros.
- **Rol de Autoridad y Aprobación (A - Accountable):** La Encargada de la Oficina de Residuos Valorables y Peligrosos ostenta el rol de autoridad final (*Accountable*) sobre todo el proceso. Su función es garantizar que las etapas operativas cumplan con la normativa. Además, asume un rol dual de ejecución y responsabilidad (AR) en tareas administrativas críticas, como la coordinación del transporte y la declaración en SIDREP, asegurando la trazabilidad legal ante la autoridad sanitaria.
- **Actores Externos (I - Informed / R - Responsible):** Las entidades externas (Relleno Sanitario y Empresas de Reciclaje) actúan como receptores finales. Son responsables de la recepción física y de la emisión de certificados, manteniendo informada a la unidad municipal sobre el destino final de la carga.

Esta estructura de responsabilidades asegura que no existan vacíos de control: mientras el equipo operativo se encarga del manejo técnico seguro dentro del recinto, la jefatura asegura la consistencia administrativa y legal del sistema hacia el exterior.

3.4.5. Aclaración de Coherencia de Cifras y Saneamiento de la Línea Base de RESPEL

Previo al análisis cuantitativo de la gestión actual, es imperativo realizar un saneamiento de la línea base histórica para resolver la aparente inconsistencia entre las cifras históricas y los datos operativos del año 2024. Históricamente, las estadísticas municipales agregaban el volumen de residuos inorgánicos masivos, como el vidrio gestionado mediante el convenio con Cristoro, junto con los verdaderos Residuos Peligrosos (RESPEL). Esta consolidación metodológica errónea generaba reportes de recuperación sobredimensionados que superaban los 2.400.000 kg.

Al aislar estrictamente los RESPEL de origen domiciliario (pilas, aceites y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos) gestionados por el Centro de Acopio Municipal y las empresas especializadas, se evidencia la magnitud de esta distorsión y se explica la diferencia radical con los volúmenes actuales. La siguiente tabla detalla este proceso de depuración de datos, el cual es fundamental para garantizar la coherencia de las cifras y transparentar la cobertura real del sistema antes de proponer medidas de mejora.

Tabla 9: Saneamiento de la Línea Base de RESPEL

Flujo de Residuo	Reporte Histórico Distorsionado	Diagnóstico Real Aislado (2024)	Destinatario Final Autorizado
Inorgánico Masivo	> 2.400.000 kg (Vidrios/Otros)	Excluido de RESPEL (949.000 kg de vidrio)	Cristoro
RESPEL Auténtico	Mezclado sin trazabilidad	41.020 kg	Hidronor / Rendering / Recyclápolis

Fuente: Elaboración propia en base a auditoría de datos de la Dirección de Medio Ambiente.

3.4.6. Análisis Cuantitativo de la Gestión Municipal (2024)

El modelo de gestión del Centro de Acopio opera bajo métricas de consolidación de carga definidas para optimizar la logística de transporte:

- **Capacidad de Acopio de Pilas:** El sistema está diseñado para acumular y consolidar lotes de entre tres a cuatro toneladas de pilas antes de su disposición final.
- **Flujo de RAEE:** La logística de salida se activa habitualmente al alcanzar un volumen de 10 maxisacos de residuos electrónicos (E-Waste)
- **Punto Verde y Reciclables:** Para residuos no peligrosos (papel, cartón, PET 1), la frecuencia de rotación es alta, con retiros desde el Centro de Acopio cada dos días hacia las recicladoras de base, asegurando flujo continuo.

Durante el periodo actual del presente año, la Municipalidad de Concepción ha gestionado la recolección y desvío de 41.020 kg (aproximadamente 41 toneladas) de residuos especiales y de manejo diferenciado. Según los datos reportados, la gestión se ha centrado en dos flujos críticos:

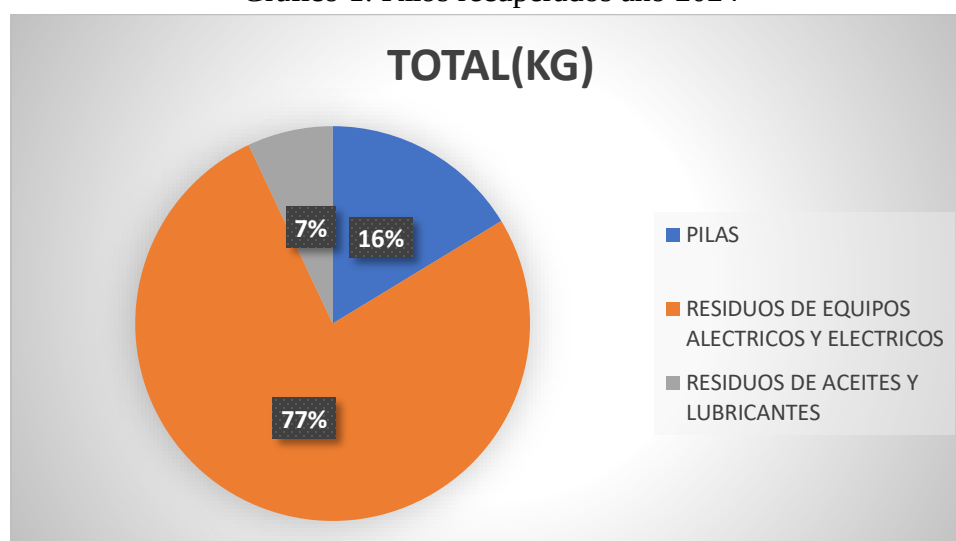
- 1. Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): Representan la fracción mayoritaria con un total de 31.460 kg, equivalentes al 77% del total recolectado. Esta cifra destaca la alta participación en campañas de reciclaje electrónico.
- 2. Pilas: Se han recuperado 6.690 kg, correspondientes al 16% del total, evitando que estos elementos de alta toxicidad lleguen a rellenos sanitarios convencionales.
- 3. Residuos de aceites y lubricantes: En cuanto a los aceites y lubricantes, se logró la recuperación de 2.870 kg, cifra que representa el 7% del total. Esta gestión asegura el desvío de estos residuos peligrosos, impidiendo su disposición en vertederos comunes y mitigando el riesgo de contaminación de suelos y acuíferos.

Tabla 10: Kilos recuperados año 2024

TIPO DE RESIDUO	TOTAL(KG)
PILAS	6690
RESIDUOS DE EQUIPOS ELÉCTRICOS	31460
RESIDUOS DE ACEITES Y LUBRICANTES	2870
	41020

Fuente: Municipalidad de Concepción

Gráfico 1: Kilos recuperados año 2024



Fuente: Municipalidad de Concepción

La realidad local en el caso de Concepción es un contraste con la macro-cifra nacional dominada por la minería, la gestión a escala comunal en Concepción aborda una problemática distinta: los Residuos Peligrosos de origen Domiciliario y Urbano. Mientras la industria minera gestiona grandes volúmenes de un solo tipo de residuo, la Municipalidad de Concepción, a través de su centro RESPEL y convenios con empresas como HIDRONOR y BIOBIORECICLA, enfrenta el desafío de la atomización y variedad. En lo que va del año, la comuna ha logrado desviar 41 toneladas de residuos (principalmente RAEE y pilas).

Aunque esta cifra parece menor comparada con los volúmenes industriales nacionales, su impacto ambiental es cualitativo: evita que contaminantes de alta toxicidad (como metales pesados de baterías y electrónicos) generados por los ciudadanos terminen en vertederos comunes o microbasurales, cumpliendo así con los objetivos de la Ley 20.920.

3.5. Discusión y Síntesis del Diagnóstico

El análisis de la gestión de residuos en la comuna de Concepción revela una estructura técnica avanzada, pero que enfrenta barreras críticas para alcanzar una economía circular efectiva. A continuación, se discuten los hallazgos del diagnóstico bajo una perspectiva sistémica, contrastando la realidad local con el marco normativo nacional.

3.5.1. La Brecha entre la Infraestructura y la Cultura del Descarte

A pesar de que el diagnóstico identifica que un 39% de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) generados en la comuna son potencialmente valorizables, la tasa de recuperación efectiva se mantiene limitada. Esta disparidad sugiere que la disponibilidad de Puntos Verdes y convenios de reciclaje es una condición necesaria pero no suficiente. Como señala Valenzuela (Valenzuela, 2024), la persistencia de una “**cultura del descarte**” actúa como el principal freno: el ciudadano promedio en Chile aún no internaliza la responsabilidad sobre el residuo, operando bajo una lógica de desprendimiento inmediato que favorece el envío a relleno sanitario por sobre la segregación.

En el caso de Concepción, la falta de incentivos económicos directos (como el modelo de pago por generación) refuerza esta conducta. Mientras que el municipio logra ahorros significativos (M\$362 anuales) por la desviación de orgánicos, el generador domiciliario no percibe un beneficio tangible, lo que ralentiza la adopción de hábitos sustentables a escala masiva.

3.5.2. El Riesgo Latente en el "Vacio de Control" de los RESPEL

Uno de los nudos críticos más complejos es la gestión de los Residuos Peligrosos (RESPEL) de origen domiciliario. El diagnóstico evidencia que el **Decreto Supremo 148** genera una zona gris regulatoria al eximir a pequeños generadores (menos de 12 ton/año) de presentar planes de manejo. Esta exención, sumada a la falta de educación ambiental específica, provoca que contaminantes químicos, pilas y aceites sean dispuestos en el flujo de residuos comunes.

Aunque el Centro de Acopio Municipal ha logrado desviar 41 toneladas de residuos especiales y RAEE en 2024 mediante protocolos SIDREP, esta cifra es marginal comparada con la densidad poblacional de la comuna, lo que indica que una vasta gama de otros residuos peligrosos (pinturas, solventes, pesticidas, medicamentos vencidos) no está siendo capturada por el sistema municipal y termina en el flujo de residuos sólidos urbanos. La presencia de estos elementos en rellenos sanitarios no diseñados para cargas tóxicas aumenta la peligrosidad de los lixiviados, representando una amenaza a largo plazo para los acuíferos de la cuenca del Biobío.

3.5.3. Fragmentación Institucional y Desigualdad en la Ley REP

La implementación de la Ley 20.920 (Ley REP) en la comuna de Concepción, a través del sistema de gestión colectivo ReSimple, ha alcanzado una cobertura nominal del 100% de la población. No obstante, el diagnóstico evidencia que la universalidad del servicio no garantiza su eficiencia. Se observa una brecha operativa crítica derivada de problemas de logística que afectan la regularidad y calidad de la recolección selectiva en diversos sectores. Esta situación genera una percepción de desigualdad en el servicio ambiental. Aunque el sistema está formalmente desplegado, las fallas en las rutas de recolección y la falta de optimización logística obligan a una gran parte de la ciudadanía a retornar a modelos de autogestión o a depender de puntos limpios fijos. Esta "universalidad incompleta" representa un riesgo para el cumplimiento de las metas nacionales de valorización, ya que la

irregularidad del servicio desincentiva la participación ciudadana y debilita la confianza en el nuevo modelo de economía circular.

3.5.4. Síntesis del Problema Central

En síntesis, el diagnóstico permite concluir que el sistema de gestión de residuos en Concepción se encuentra en una fase de transición crítica. El problema central no radica en la inexistencia de técnica o voluntad institucional respaldada por la certificación SCAM y el éxito en la fracción orgánica sino en la falta de integración entre la logística municipal y el comportamiento ciudadano.

El modelo actual es reactivo: depende de que el ciudadano "lleve" el residuo al sistema. Para transitar hacia una gestión integral eficiente, se requiere evolucionar hacia un modelo proactivo, donde la trazabilidad de los RESPEL sea absoluta y la recolección selectiva sea un servicio universal y obligatorio, mitigando las externalidades ambientales que la cultura del descarte sigue imponiendo sobre el territorio.

Capítulo IV: Propuesta de Mejoras para la Gestión Integral de Residuos

4.1. Lineamientos Estratégicos de la Propuesta

La formulación de esta propuesta de mejora no se plantea como una solución aislada, sino como una reingeniería estratégica del sistema de gestión de residuos de la comuna de Concepción. El diagnóstico previo ha revelado que, a pesar de contar con una infraestructura técnica robusta y certificaciones ambientales de alto nivel, el sistema adolece de una desconexión crítica con el comportamiento ciudadano. Esta "falla de origen" radica en la persistencia de un modelo de gestión reactivo, donde el municipio asume la carga operativa y económica de la disposición final, mientras que el generador mantiene una cultura del descarte que invisibiliza el impacto de sus residuos.

Por tanto, los lineamientos estratégicos de este capítulo se fundamentan en la necesidad de transitar hacia un modelo proactivo y preventivo. Se propone atacar tres frentes simultáneos: primero, la institucionalización de la educación ambiental, utilizando el modelo de vinculación comunitaria para erradicar los microbasurales y aumentar la tasa de valorización; segundo, la implementación de un esquema de incentivos y sanciones económicas que emule la eficiencia de los sistemas europeos, permitiendo la reinversión de recursos en el propio sistema; y tercero, la profesionalización absoluta del manejo de Residuos Peligrosos (RESPEL) bajo estándares internacionales para garantizar la protección de los recursos naturales.

Para garantizar la coherencia lógica y la trazabilidad de este Plan Maestro, las soluciones operativas han sido estructuradas para responder de manera directa y proporcional a las tres brechas críticas identificadas en el diagnóstico comunal (Capítulo III):

- Para mitigar la Brecha 1 (La persistencia de la "cultura del descarte"): Se desarrolla la Propuesta 1 (Educación Ambiental Estratégica). Al transformar la educación ambiental en un pilar operativo y contractual de las licitaciones, se ataca directamente el problema de comportamiento que causa que el 39% de los residuos valorizables terminen en el relleno sanitario.
- Para solucionar la Brecha 2 (La falta de participación ciudadana y fallas logísticas): Se diseña la Propuesta 2 (Incentivos Económicos y App "Eco Puntos"). Esta medida rompe la invisibilidad del costo de la gestión de residuos, otorgando beneficios tributarios reales que incentivan al ciudadano a segregar en origen y corregir las deficiencias de recolección de los sistemas REP.
- Para neutralizar la Brecha 3 (El "vacío de control" y riesgo de lixiviados en los RESPEL): Se formula la Propuesta 3 (Gestión Integral bajo Convenio de Basilea). Esta acción profesionaliza el almacenamiento superando las deficiencias del confinamiento básico actual (botellas plásticas), y descentraliza la recepción mediante Puntos Móviles, cerrando la fuga de contaminantes peligrosos desde los hogares periféricos.

4.2. Propuesta 1: Educación Ambiental Estratégica y Vinculación Comunitaria (Basada en el Modelo de Villa Alemana)

Tomando como referencia el caso de éxito de Villa Alemana, se propone que la educación ambiental en Concepción deje de ser una actividad de difusión para convertirse en un **pilar operativo contractual**. Para que el 39% de los residuos valorizables identificados en Concepción dejen de llegar al relleno sanitario, la educación debe ser el eje operativo. Esta propuesta detalla cómo y cuándo ejecutar esta gestión como por ejemplo en Villa Alemana, la integración de planes de educación ambiental como requisito obligatorio en las licitaciones de servicios de reciclaje permitió una reducción masiva en la generación de residuos, bajando de 86.000 toneladas en 2017 a menos de 20.000 en 2023.

- **Ejecución y Temporalidad:** La gestión se implementará a través de la actualización de las ordenanzas municipales y bases de licitación. Se exigirá que las empresas operadoras ejecuten un Programa de Separación en Origen (PSO) que incluya la presencia de monitores ambientales permanentes en los barrios. Estos monitores realizarán visitas puerta a puerta y talleres en Juntas de Vecinos mensualmente, con el objetivo de elevar la tasa de recolección de envases y embalajes, que a nivel nacional suele ser baja.
- **Gestión de Microbasurales y Programa TREC:** Para resolver la problemática de los microbasurales identificados en las quebradas y espacios públicos de Concepción, se propone emular el programa de Trabajadores Recolectores de Escombros y Cachureos (TREC). El municipio deberá certificar y autorizar a transportistas particulares para el retiro programado de residuos voluminosos y escombros, asegurando su disposición en la Planta de Separación Municipal. Esta gestión se realizará mediante "bateas barriales" operadas en días y horarios específicos, donde funcionarios municipales monitorearán la descarga para rescatar materiales valorizables antes de su disposición final, evitando así la formación de vertederos ilegales.
- **Resultados Esperados:** Villa Alemana logró reducir su generación de residuos de 86.000 a menos de 20.000 toneladas anuales con este enfoque. En Concepción, esto permitiría optimizar las rutas de recolección selectiva, que hoy presentan fallas logísticas, al contar con una ciudadanía que sabe exactamente cómo y cuándo entregar sus residuos.

4.3. Propuesta 2: Optimización mediante Incentivos Económicos y Reinversión (Adaptación del Modelo Suizo a Chile)

La presente propuesta busca romper la invisibilidad del costo de la gestión de residuos en Concepción. Actualmente, la "cultura del descarte" se ve favorecida por un sistema donde el costo de recolección y disposición final no guarda relación directa con el volumen generado por el habitante. Para revertir esta inercia, se propone adoptar el modelo suizo de **"Pago por Generación" (Pay-As-You-Throw)**, adaptado a la realidad socioeconómica local, con el fin de transformar el comportamiento ciudadano mediante incentivos financieros y una estructura de reinversión circular.

- **Sistema de "Eco puntos" por Reciclaje:** Los ciudadanos que entreguen residuos en los puntos verdes fijos o móviles recibirán créditos canjeables por descuentos en los Derechos de Aseo Municipal. La "ganancia" económica para el municipio proviene de la reducción de los costos de disposición final (aproximadamente \$38.000 por tonelada enviada a relleno sanitario).
- **Mecanismo de Descuento Directo en la Contribución:** Se propone vincular la entrega de residuos valorizables directamente al Rol de Avalúo de la Propiedad. Mediante la implementación de una "Tarjeta Verde Vecinal" o una aplicación móvil municipal, cada vez que un ciudadano entregue material segregado (vidrio, cartón, PET) en los Puntos Limpios o Puntos Verdes Móviles, el material será pesado y registrado digitalmente.
- **Tasa Proporcional de Generación:** Inspirado en el modelo suizo de pagar por cada kilo de basura, se propone una ordenanza que grave con multas proporcionales a los hogares que mezclen residuos peligrosos (pilas, aceites) con la basura común. Los ingresos generados por estas multas específicas no ingresarán a las arcas generales, sino que se destinarán a un fondo exclusivo para el mantenimiento y mejora tecnológica de los Puntos Limpios, cerrando así el ciclo financiero del sistema.
- **Aplicación del Beneficio:** El sistema calculará automáticamente el valor del ahorro operativo generado al municipio (por toneladas no enviadas a relleno sanitario) y lo traducirá en un descuento directo y proporcional en la cuota semestral de los Derechos de Aseo Domiciliario. De esta forma, el vecino visualiza en su boleta de contribuciones una rebaja real, pasando de un modelo punitivo a uno de recompensa inmediata.
- **Rentabilidad Ambiental:** Al reciclar más del 30% como lo hace Suiza, Concepción dejaría de emitir miles de toneladas de CO2 equivalente (actualmente se mitigan

3.313 ton CO₂eq), transformando un gasto operativo en un capital ambiental valorizable para proyectos de bonos de carbono.

4.3.1. Focalización Territorial

Bajo la propuesta descrita, el municipio definirá las ubicaciones estratégicas donde ReSimple deberá instalar los nuevos puntos de acopio (fijos o móviles) para hacer efectiva su exención de pago. Se priorizan sectores históricamente segregados de los servicios de reciclaje:

1. Sector Collao - Nonguén (Prioridad 1):

- Problemática: Zona de alta expansión habitacional con calles estrechas que dificultan el "puerta a puerta" tradicional.
- Ubicación del Punto: Se propone la instalación en el acceso al Valle Nonguén o inmediaciones del Estadio, aprovechando el flujo turístico y vecinal.

2. Sector Pedro de Valdivia Bajo (Prioridad 2):

- Problemática: Presencia de microbasurales en la ribera y baja cobertura de servicios estándar.
- Ubicación del Punto: Instalación controlada en el perímetro de las Juntas de Vecinos, bajo resguardo para evitar vandalismo.

3. Barrio Universitario / Agüita de la Perdiz (Prioridad 3):

- Problemática: Topografía compleja (cerro) donde el camión recolector grande no accede fácilmente.
- Ubicación del Punto: Instalación de un punto de acopio transitorio en la parte baja del sector (acceso), facilitando que los vecinos bajen sus reciclables sin depender del camión domiciliario.

4.4. Propuesta 3: Gestión Integral de RESPEL según el Convenio de Basilea

La gestión de Residuos Peligrosos (RESPEL) de origen domiciliario en la comuna de Concepción se encuentra actualmente en una etapa rudimentaria. Si bien cumple con funciones básicas de acopio, presenta deficiencias críticas en términos de calidad operativa y alcance territorial. El protocolo actual utiliza métodos de confinamiento de baja tecnología como el almacenamiento de pilas en botellas plásticas y su acopio en bins de madera que, aunque mitigan el riesgo inmediato, no constituyen un estándar industrial de estabilización a largo plazo según las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) recomendadas internacionalmente para prevenir la migración de metales pesados.

Además, el modelo actual es pasivo: depende de que el ciudadano se traslade al Centro de Acopio, generando un "vacío de control" en los sectores periféricos. Esta falta de proactividad logística perpetúa la presencia de contaminantes tóxicos en los lixiviados del relleno sanitario convencional.

Para subsanar estas brechas, se propone una reingeniería basada en el Manejo Ambientalmente Racional (MAR) del Convenio de Basilea, estructurada en tres ejes

operativos: Estandarización Técnica, Modelo de Financiamiento Colaborativo y Descentralización Móvil.

4.4.1. Eje Técnico: Protocolo de Manejo Seguro

Para elevar el estándar de seguridad y cumplir con el D.S. 148, se establece la implementación de un protocolo de segregación basado estrictamente en la compatibilidad química, prohibiendo la mezcla de residuos por volumen. Cada flujo contará con área de pesaje y etiquetado con señalética de peligrosidad, operando bajo las siguientes especificaciones técnicas:

- **Pilas y Baterías (Confinamiento de Seguridad):** Se sustituirá el uso de botellas improvisadas por contenedores de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) con sellado hermético. Estos deberán incluir una carga de material inerte (vermiculita) para absorber posibles fugas de electrolitos y evitar la ignición espontánea. Los contenedores se dispondrán sobre pallets antiderrame, eliminando el acopio directo en madera.
- **Aceites Minerales y Lubricantes (Contención de Fugas):** Se implementarán estaciones de trasvasije profesional sobre bandejas de contención (con capacidad del 110% del volumen almacenado) para evitar infiltraciones al suelo. El almacenamiento se realizará exclusivamente en contenedores industriales de 1 m³ (IBC) certificados, garantizando la integridad del residuo hasta su retiro por empresas especializadas (como Hidronor o Bio Bío Recicla).
- **Desmantelamiento Avanzado de RAEE:** Considerando que el volumen recuperado de 31.460 kg (2024) demuestra un alto potencial, se profesionalizará la etapa de pretratamiento. Se establecerá una línea de desmontaje exhaustiva para la extracción segura de baterías de litio internas y capacitores con sustancias peligrosas antes de la compactación. Las carcasas plásticas serán segregadas en maxisacos diferenciados para evitar la contaminación cruzada, asegurando que solo el material inerte sea derivado a reciclaje.

4.4.1.1. Requerimientos del Sistema Propuesto

Para garantizar la viabilidad técnica y operativa de esta propuesta, el sistema de gestión debe cumplir con los siguientes parámetros de diseño de ingeniería:

A. Requerimientos Funcionales (RF) *(Definen las acciones operativas específicas del sistema)*

- **RF-01 Trazabilidad de Ingreso:** El sistema debe permitir el registro estandarizado e individualizado de cada ingreso de RESPEL, capturando el tipo de residuo, peso (kg) y procedencia (generador domiciliario o punto móvil).
- **RF-02 Segregación por Compatibilidad Química:** El modelo debe facilitar la separación in situ de los residuos estrictamente según su compatibilidad química, prohibiendo la consolidación por volumen de sustancias incompatibles.
- **RF-03 Pretratamiento de RAEE:** El diseño debe contemplar una estación de desmantelamiento para asegurar la extracción obligatoria de baterías de litio y componentes tóxicos antes de la compactación de carcasas inertes.
- **RF-04 Consolidación para Ventanilla Única:** El flujo de información debe consolidar automáticamente los datos volumétricos requeridos para la declaración periódica obligatoria en el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SIDREP).

B. Requerimientos No Funcionales (RNF) *(Definen las restricciones normativas y atributos de calidad)*

- **RNF-01 Cumplimiento Normativo:** Toda la infraestructura, señalética y manejo debe someterse estrictamente a los umbrales de peligrosidad y confinamiento exigidos por el Decreto Supremo N°148 (MINSAL, 2003).
- **RNF-02 Estándar de Materialidad:** Los contenedores primarios para reactivos deben ser de HDPE herméticos con cama de vermiculita. Los fluidos deben confinarse en contenedores IBC de 1 m³ situados sobre bandejas antiderrame (capacidad de retención del 110%).
- **RNF-03 Tiempos de Respuesta Logística:** La coordinación de transporte hacia destinatarios finales debe activarse de manera preventiva al alcanzar el 80% de la capacidad nominal de acopio de los contenedores, evitando la saturación del recinto.
- **RNF-04 Seguridad Ocupacional:** Todo operador del sistema debe operar bajo un protocolo de Elementos de Protección Personal (EPP) estandarizado para riesgo químico y contar con capacitación certificada.

4.4.2. Eje de Financiamiento: Convenio de Exención por Cobertura

Dado que el costo de implementar esta infraestructura técnica es elevado, se propone un cambio en el modelo de negocio municipal. En lugar de compra directa, se utilizará un **Convenio de Canje de Derechos Municipales** con los Sistemas de Gestión (GRANSIC) de Aceites y Aparatos Electrónicos:

- **Mecanismo:** El municipio ofrecerá una exención del pago de derechos de ocupación de Bien Nacional de Uso Público a los gestores que instalen y mantengan los contenedores de alto estándar (IBC y HDPE) descritos anteriormente.
- **Inversión Externa:** De esta forma, la "profesionalización" del acopio no impacta el presupuesto municipal, sino que es absorbida por los productores (Ley REP) a cambio de facilidades logísticas y de uso de suelo otorgadas por la municipalidad.

4.4.3. Eje Territorial: Descentralización mediante "Puntos Limpios Móviles RESPEL"

Para resolver la falta de cobertura en zonas periféricas, el convenio exigirá a los operadores la implementación de **rutas de acopio móvil trimestrales**. Estas unidades, equipadas con las mismas medidas de seguridad que el centro fijo, visitarán sectores críticos identificados en el diagnóstico:

- **Sector Nonguén y Collao:** Para captar aceites y electrónicos de zonas residenciales en expansión.
- **Pedro de Valdivia Bajo:** Para prevenir la disposición de baterías y químicos en la ribera del río.

4.4.4. Análisis de Riesgos y Seguridad Operacional

La gestión de Residuos Peligrosos (RESPEL) conlleva riesgos inherentes tanto para la salud ocupacional de los operadores como para el medio ambiente. Para dar cumplimiento normativo y garantizar la viabilidad de la propuesta, se ha desarrollado la siguiente Matriz de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos (IPER), centrada en las operaciones del Centro de Acopio Municipal y los Puntos Limpios Móviles.

Esta matriz clasifica los riesgos según su probabilidad de ocurrencia y su impacto (Severidad), estableciendo las medidas de mitigación y los Elementos de Protección Personal (EPP) obligatorios.

Tabla 11: Matriz de Riesgos Operacionales y Ambientales para el Manejo de RESPEL

Riesgo Identificado	Descripción del Peligro	Probabilidad	Impacto	Medidas de Mitigación y Controles (Según D.S. 148)
Derrame de Aceites Minerales	Fugas durante el trasvase o rotura de contenedores temporales, generando infiltración y contaminación de suelos/napas.	Media	Alto	Controles de Ingeniería: Uso exclusivo de contenedores IBC de 1 m ³ sobre bandejas antiderrame con capacidad del 110% del volumen. Administrativos: Inspección visual diaria de válvulas.EPP: Guantes de nitrilo caña larga, pechera impermeable, calzado de seguridad antideslizante.
Ignición / Reacción Química	Cortocircuito térmico o fuga de electrolitos por acopio inadecuado de pilas y baterías de litio, generando conatos de incendio.	Baja	Alto	Controles de Ingeniería: Confinamiento estricto en contenedores de HDPE sellados con lecho de vermiculita (aislante e inerte). Prohibición de acopio en madera. Administrativos: Segregación estricta por compatibilidad química. Presencia de extintores PQS tipo ABC y D en la zona de acopio.
Exposición a Sustancias Tóxicas	Contacto dérmico o inhalación de vapores/polvos de metales pesados durante el desmantelamiento de RAEE.	Media	Medio	Controles de Ingeniería: Estación de desmantelamiento ventilada y mesas de trabajo con superficies lavables. Administrativos: Protocolo estandarizado de extracción de condensadores y baterías. Capacitación semestral en manejo de tóxicos.EPP: Mascarilla con filtros para vapores/polvos (N95/P100), gafas de seguridad, guantes de poliuretano anticorte.
Pérdida de Trazabilidad Legal	Errores en la categorización, pesaje o fallas en la declaración en el sistema SIDREP,	Baja	Alto	Administrativos: Registro redundante (físico en bitácora y digital). Auditoría documental cruzada semanal por parte de la Jefatura de Oficina antes de emitir la

	derivando en multas o sumarios sanitarios.			declaración en Ventanilla Única.
Accidentes Logísticos en Vía Pública	Volcamiento o derrames durante la recolección en los "Puntos Limpios Móviles RESPEL" en zonas periféricas.	Media	Medio	Controles de Ingeniería: Vehículos de transporte con compartimentos estancos y kit de respuesta a derrames a bordo. Administrativos: Diseño de rutas estandarizadas evitando calles de alta pendiente en mal estado. Conductores con licencia especial para cargas peligrosas.

Fuente: Propia

4.5. Análisis de Viabilidad Económica y Financiera

Para validar la factibilidad de la reingeniería propuesta para la comuna de Concepción, se presenta un análisis económico estructurado bajo los conceptos de Gasto de Capital (CAPEX), Gasto Operativo (OPEX) y el Período de Retorno de la Inversión (Payback).

Un elemento central de este diseño financiero es el aprovechamiento del Eje de Financiamiento Colaborativo (Convenio de Canje con GRANSIC) detallado en el apartado 4.4.2. Al externalizar los costos de adquisición y mantenimiento de la infraestructura pesada de RESPEL a cambio de la exención de derechos de ocupación de Bien Nacional de Uso Público, el CAPEX municipal se reduce drásticamente, traspasando dicha carga financiera a los productores regulados por la Ley REP (ReSimple).

4.5.1. Metodología y Supuestos de Estimación Financiera

Dado que el Plan Maestro propuesto se encuentra en fase de diseño técnico y aún no ha sido sometido a procesos formales de licitación, los valores económicos presentados en este análisis corresponden a proyecciones referenciales. Para otorgar rigor financiero al modelo, la estructuración del Gasto de Capital (CAPEX) y Gasto Operacional (OPEX) se fundamenta en los siguientes supuestos y fuentes de mercado (periodo 2024-2025):

- **Costo de Disposición Final (Línea Base de Ahorro):** *Fuente y justificación:* Se ha establecido un valor referencial de \$38.000 CLP por tonelada de residuo. Este indicador consolida la tarifa promedio estipulada en los contratos públicos vigentes de recolección y disposición final de residuos sólidos domiciliarios que mantiene la Municipalidad de Concepción con las instalaciones autorizadas de la zona (tales como el Relleno Sanitario Copiulemu). El monto integra tanto la tarifa directa de ingreso al recinto por tonelada dispuesta (*gate fee*) como la ponderación de los costos logísticos y de transporte asociados al recorrido intercomunal de los camiones recolectores. De este modo, el valor constituye una base empírica, técnica y

demostrable para el cálculo del "costo evitado" (ahorro fiscal) que percibe el municipio por cada tonelada que logra desviar del relleno sanitario gracias a las iniciativas de valorización.

- **Costos Externalizados al GRANSIC (Apalancamiento):** *Fuente y justificación:* El modelo asume la aplicación exitosa del Convenio de Canje de Derechos Municipales. Según cotizaciones de mercado en proveedores industriales chilenos (ej. Multienvases Online), un contenedor IBC 1000L nuevo con certificación UN y bandeja antiderrame oscila entre \$425.000 y \$660.000 CLP, mientras que los tambores HDPE herméticos promedian \$100.000 CLP. Al traspasar este CAPEX al GRANSIC, la municipalidad evita un gasto superior a los \$6.000.000 CLP solo en infraestructura inicial de acopio RESPEL.
- **Ahorro Operativo por Mitigación de Microbasurales:** *Fuente y justificación:* Se estimó un ahorro anual de \$4.500.000 CLP correspondiente a los costos operativos evitados por concepto de limpieza correctiva de vertederos ilegales (como los identificados en el sector Pedro de Valdivia Bajo y riberas). Este valor referencial mensualiza un gasto base de \$375.000 CLP, el cual agrupa los costos históricos y proyectados por concepto de arriendo de maquinaria menor (minicargadores tipo Bobcat) y fletes extraordinarios de bateas para la remoción de escombros. Para otorgar rigor a esta estimación, los valores se proyectaron utilizando tarifas referenciales de adjudicaciones históricas extraídas del portal de compras públicas del Estado (Mercado Público) para la Región del Biobío durante el periodo 2024-2025. Gracias a la implementación del modelo preventivo y el programa de recolección de voluminosos propuesto, este gasto correctivo se elimina del presupuesto municipal.
- **Costos de Implementación Tecnológica (CAPEX Municipal):** *Fuente y justificación:* Los valores fueron proyectados utilizando el histórico de adjudicaciones del portal de compras públicas del Estado (Mercado Público). Para el desarrollo de la App "Eco Puntos" con integración a bases de datos, las licitaciones municipales promedian entre \$5.000.000 y \$15.000.000 CLP, adoptándose un valor conservador de \$8.500.000 CLP. Para los kits de pesaje digital (balanza industrial homologada + Tablet QR), el costo de mercado comercial asignado es de \$350.000 CLP por punto de atención.
- **Proyección de OPEX y Desviación:** *Fuente y justificación:* Los honorarios del equipo de Monitores Ambientales se estiman en \$1.000.000 CLP mensuales, acorde a las escalas vigentes de prestación de servicios técnicos municipales. Por su parte, la meta proyectada de 850 toneladas anuales desviadas se sustenta en la evidencia de la iniciativa ReSimple comunal, la cual demostró un aumento superior al 5.000% en la captación de materiales durante sus primeros cuatro meses.

4.5.2. Costos de Inversión Inicial (CAPEX)

El CAPEX requerido por el municipio se concentra exclusivamente en el desarrollo de la plataforma tecnológica para el sistema de incentivos y en las campañas base de educación ambiental obligatorias para mitigar la cultura del descarte.

Tabla 12: Desglose de la Inversión Inicial (CAPEX Municipal)

Ítem Técnico / Detalle de la Inversión	Propuesta Asociada	Costo Unitario (CLP)	Cantidad	Costo Total (CLP)
Desarrollo de software e integración de App "Eco Puntos" con base de datos del Rol de Avalúo	Propuesta 2	\$8.500.000	1 global	\$8.500.000
Kit de pesaje digital e identificación QR para Puntos Verdes y Puntos Móviles	Propuesta 2	\$350.000	10 unidades	\$3.500.000
Producción de material pedagógico, señalética Basilea y talleres piloto de inicio (PSO)	Propuesta 1	\$2.000.000	1 global	\$2.000.000
Campaña masiva de difusión puerta a puerta para el lanzamiento del plan maestro	Propuesta 1	\$1.500.000	1 global	\$1.500.000
TOTAL, CAPEX MUNICIPAL				\$15.500.000

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Costos Operativos Anuales (OPEX)

El gasto operacional contempla los costos recurrentes para mantener el sistema proactivo en marcha, incluyendo el incentivo al personal técnico y el soporte de la plataforma digital.

Tabla 13: Proyección de Costos Operativos Anuales (OPEX)

Componente Operativo / Recurso	Frecuencia	Costo Mensual (CLP)	Costo Anual (CLP)
Honorarios del equipo de Monitores Ambientales Comunitarios en terreno	Mensual	\$1.000.000	\$12.000.000
Soporte técnico, servidores y actualización de la App municipal "Eco Puntos"	Mensual	\$150.000	\$1.800.000
Suministros operativos menores (etiquetas de peligrosidad D.S. 148, bitácoras, insumos de seguridad)	Anual	Tarifa plana	\$800.000
Costos logísticos complementarios para rutas trimestrales de Puntos Móviles	Trimestral	\$650.000	\$2.600.000
TOTAL, OPEX ANUAL MUNICIPAL			\$17.200.000

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4. Análisis de Beneficios, Ahorros y Retorno de Inversión (Payback)

La rentabilidad de este proyecto no se evalúa bajo una lógica comercial de generación de ingresos directos, sino bajo el concepto de costos evitados (ahorro fiscal) y eficiencia del gasto público en la gestión de residuos urbanos.

A. Cálculo del Beneficio Bruto Anual:

- Ahorro por toneladas desviadas: $850 \text{ t} \times \$38.000/\text{t} = \$32.300.000 \text{ CLP/año}$.
- Ahorro operativo por mitigación de microbasurales: **\$4.500.000 CLP/año**.
- Beneficio Bruto Anual Total: **\$36.800.000 CLP/año**.

B. Cálculo del Beneficio Neto Anual: Para determinar el Beneficio Neto Anual, se restan los costos operativos (OPEX) del Beneficio Bruto:

- $\$36.800.000 \text{ (Ahorros)} - \$17.200.000 \text{ (OPEX)} = \$19.600.000 \text{ CLP/año}$.

C. Período de Retorno (Payback): El período de recuperación del capital invertido (CAPEX) se calcula dividiendo la inversión inicial por el beneficio neto anualizado:

- $\text{Payback} = \$15.500.000 / \$19.600.000 = 0,79 \text{ años}$.

El análisis financiero demuestra que la inversión requerida por la Municipalidad de Concepción se recupera en 9,5 meses de operación regular. A partir del décimo mes, el sistema genera un excedente neto de **\$19.600.000 CLP anuales**, fondos que quedan completamente disponibles para ser reinvertidos en el mejoramiento tecnológico de los Puntos Limpios comunales o en la ampliación de los beneficios tributarios a los vecinos. Esto valida transversalmente la sustentabilidad y viabilidad económica del modelo propuesto.

4.6. Plan de Implementación y Control Documental

La transformación del sistema de gestión de residuos de la comuna de Concepción desde un enfoque reactivo hacia un modelo proactivo y preventivo requiere de una estrategia de despliegue articulada. Las tres propuestas formuladas en este estudio: Educación Ambiental Estratégica (Propuesta 1), Incentivos Económicos mediante Pago por Generación (Propuesta 2) y la Gestión Integral de RESPEL bajo el Convenio de Basilea (Propuesta 3) no operan como soluciones aisladas, sino como componentes interdependientes de un único Plan Maestro Comunal.

La viabilidad del sistema técnico depende críticamente de que la infraestructura física (contenedores y puntos móviles) sea complementada simultáneamente con la sensibilización ciudadana y los estímulos financieros que aseguren la separación en origen.

4.6.1. Cronograma de Implementación (Carta Gantt)

El despliegue global del plan se proyecta en un horizonte temporal de seis (6) meses, estructurado de forma secuencial en tres fases críticas: Preparación Normativa y Compras, Despliegue Operativo y Difusión, y Marcha Blanca y Control. Este cronograma asegura que las bases regulatorias locales estén vigentes antes de la instalación física de los nuevos componentes en el territorio.

Tabla 14: Cronograma de Implementación

Fase / Actividad	Propuesta Asociada	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Fase 1: Preparación Normativa y Compras							
Actualización Ordenanza (Incentivos y Multas)	Propuesta 2	X	X				
Licitación/Convenios GRANSIC (Contenedores)	Propuesta 3		X	X			
Contratación de Monitores Ambientales	Propuesta 1			X			
Fase 2: Despliegue Operativo y Difusión							
Campaña Puerta a Puerta y Juntas de Vecinos	Propuesta 1				X	X	
Instalación de infraestructura RESPEL (IBC/HDPE)	Propuesta 3				X		
Habilitación de App/Tarjeta "Eco Puntos"	Propuesta 2					X	
Fase 3: Marcha Blanca y Control							
Lanzamiento de Puntos Móviles RESPEL (Nonguén)	Propuesta 3						X
Auditoría del sistema de descuentos de aseo	Propuesta 2						X

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2. Matriz de Roles y Responsabilidades de los Actores

Para evitar la fragmentación institucional identificada en el diagnóstico y asegurar la gobernanza del sistema, se delimitan las responsabilidades de los principales actores involucrados en la ejecución del cronograma:

- **Dirección de Medio Ambiente (D.M.A.):** Actúa como el organismo rector y fiscalizador del plan. Es responsable de coordinar a las distintas oficinas técnicas, supervisar el cumplimiento de los contratos de recolección y validar las métricas de desviación de residuos.
- **Oficina de Residuos Valorizables y Peligrosos:** Encargada de la gestión administrativa directa, la supervisión de las operaciones del Centro de Acopio bajo el estándar Basilea, y el control de la trazabilidad documental ante la plataforma SIDREP.
- **Sistemas de Gestión (GRANSIC / ReSimple):** Responsables del financiamiento, provisión, mantenimiento y recolección selectiva de las soluciones de acopio de alto estándar (contenedores IBC y HDPE) instaladas en la comuna, en virtud del Convenio de Canje de Derechos Municipales.
- **Monitores Ambientales (Sección Educación Ambiental):** Personal técnico en terreno encargado de ejecutar los Programas de Separación en Origen (PSO), auditar la calidad de la segregación barrial y resolver las dudas operativas de la ciudadanía.

4.6.3. Control de Cambios documental

Con el fin de garantizar la reproducibilidad de los procesos y cumplir con las exigencias de la Seremi de Salud y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), toda la documentación técnica, manuales de procedimiento y protocolos de seguridad del plan maestro operarán bajo un estricto control de cambios.

Los documentos se gestionarán mediante un registro de versiones estructurado de la siguiente manera:

1. **Versión 1.0 (Línea Base):** Protocolos originales aprobados por la Dirección de Medio Ambiente para dar inicio a la fase de marcha blanca.
2. **Versión 1.X (Revisiones Operativas):** Modificaciones menores derivadas de optimizaciones logísticas en terreno, tales como ajustes en las rutas trimestrales de los Puntos Móviles o actualizaciones en los horarios de atención.
3. **Versión 2.0 (Modificaciones Estructurales):** Actualizaciones mayores obligatorias provocadas por cambios en el marco regulatorio nacional, tales como variaciones en los umbrales de exención del Decreto Supremo N° 148 o la fijación de nuevas metas de recolección por parte del Ministerio del Medio Ambiente para la Ley REP.

La Jefatura de la Oficina de Residuos Valorizables mantendrá una bitácora digital indexada donde constará la fecha de la modificación, el argumento técnico del cambio y la firma de la autoridad ambiental comunal que autoriza la nueva versión.

4.6.4. Evidencias Reproducibles e Instrumentos Operativos

El control diario de las operaciones técnicas se sustentará en tres instrumentos normalizados, diseñados para estandarizar las tareas del personal y levantar datos auditables. El contenido y diseño de estas herramientas se detalla en la sección final de este documento:

- **Anexo A - POE-01 (Procedimiento Operativo Estandarizado):** Protocolo técnico detallado para las operaciones de pretratamiento y desmantelamiento avanzado de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), orientada a la extracción segura de celdas de litio y capacitores peligrosos.
- **Anexo B - Formulario de Trazabilidad de Flujos:** Planilla de registro de masa (kg), clasificación química y rotulado de seguridad para la consolidación de carga previa al despacho hacia el destinatario final autorizado.
- **Anexo C - Checklist de Inspección Diaria de Seguridad RESPEL:** Lista de verificación de las condiciones de confinamiento, control preventivo de lixiviados y estado de las bandejas de contención de fluidos en el recinto municipal.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

La gestión de residuos en la comuna de Concepción se encuentra en una etapa de transición crítica. Si bien el municipio ha logrado hitos significativos, como la acreditación en el nivel más alto del Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM) y el éxito rotundo del programa de residuos orgánicos que ha evitado la emisión de 3.313 toneladas de CO₂ equivalente desde 2016, el sistema aún enfrenta barreras estructurales que impiden alcanzar una verdadera economía circular.

Las principales conclusiones del estudio son:

- Brecha Cultural y Operativa: Aunque el 39% de los residuos domiciliarios de la comuna son potencialmente valorizables, la tasa de recuperación sigue siendo limitada debido a una persistente "cultura del descarte" en la ciudadanía y a la falta de incentivos económicos que premien la segregación en origen.
- Vulnerabilidad en el manejo de RESPEL: Existe un riesgo latente derivado del "vacío de control" normativo del D.S. 148, que exige a pequeños generadores de presentar planes de manejo. Esto provoca que residuos peligrosos de alta toxicidad terminen en rellenos sanitarios comunes, amenazando la calidad de los acuíferos de la zona.
- Desafíos de la Ley REP: La implementación de la iniciativa ReSimple ha mostrado un crecimiento exponencial en la recuperación de materiales (con un aumento superior al 5.000% en solo cuatro meses); sin embargo, persisten fallas logísticas que generan una percepción de desigualdad en el servicio entre diferentes sectores de la comuna.
- Hacia un Modelo Proactivo: La solución no reside únicamente en mejorar la técnica, sino en evolucionar de un modelo municipal reactivo a uno proactivo. Esto requiere la institucionalización de la educación ambiental como pilar contractual, la adopción de incentivos financieros como el "pago por generación" y la profesionalización del manejo de residuos peligrosos bajo estándares internacionales como el Convenio de Basilea.

En definitiva, Concepción tiene la infraestructura y el marco institucional para liderar la gestión ambiental en Chile, pero debe cerrar la brecha entre la capacidad técnica y el comportamiento ciudadano para asegurar la sostenibilidad del territorio a largo plazo.

Finalmente, se valida la hipótesis planteada, ya que los datos demuestran que la recolección selectiva (como el piloto ReSimple) aumenta la recuperación exponencialmente, pero requiere de los incentivos económicos y educativos propuestos para ser sostenible en el tiempo.

5.2. Limitaciones del Estudio

A pesar de la exhaustividad del diagnóstico y la viabilidad del diseño propuesto, la presente investigación reconoce ciertas limitaciones técnicas y operativas que deben considerarse al momento de la ejecución:

- **Dependencia del Comportamiento Ciudadano:** Las estimaciones de ahorro fiscal y el Payback del proyecto se sustentan en una meta conservadora de desviación de 850 toneladas. Sin embargo, la adopción de la "Tarjeta Verde Vecinal" y la respuesta a los incentivos económicos dependen de variables socioculturales que podrían ralentizar la curva de recuperación de materiales en los primeros meses.
- **Restricciones Topográficas y Logísticas:** La implementación de la ruta trimestral de los Puntos Limpios Móviles RESPEL enfrenta desafíos geográficos en sectores como Agüita de la Perdiz o cerros periféricos, donde el ancho de vía restringe el acceso de camiones con compartimentos estancos, obligando a diseñar rutas peatonales complementarias.
- **Dependencia de Acuerdos Público-Privados:** El apalancamiento del CAPEX (inversión cero en contenedores de alto estándar) está estrictamente condicionado a la voluntad y capacidad de negociación del municipio para establecer el Convenio de Canje con los Sistemas de Gestión (GRANSIC).

5.3. Trabajo Futuro

A partir de los hallazgos y el diseño del Plan Maestro propuesto, se abren nuevas líneas de acción para el desarrollo continuo de la gestión ambiental comunal:

- **Ejecución y Monitoreo del Piloto Nonguén:** Se recomienda como paso inmediato la implementación controlada de la Propuesta 3 (Punto Móvil RESPEL) en el sector de Nonguén, utilizando los formatos de trazabilidad desarrollados (Anexos A, B y C) para calibrar los tiempos de respuesta logística antes de un despliegue a nivel comunal.
- **Desarrollo de un Centro de Pretratamiento Local:** A mediano plazo, se sugiere evaluar la viabilidad técnica y económica de instalar una planta municipal de pretratamiento avanzado de RAEE y neutralización primaria de RESPEL, lo que permitiría reducir aún más los costos de transporte hacia destinatarios finales externos (como Hidronor).
- **Trazabilidad Digital (Huella de Carbono Individual):** En una fase avanzada de la App "Eco Puntos", se propone integrar un módulo de cálculo de Huella de Carbono que permita a cada vecino de Concepción visualizar en tiempo real los kilogramos de CO₂ equivalente que está mitigando con su reciclaje, fortaleciendo la educación ambiental a través de la gamificación.

Bibliografía

- (1) Valenzuela, Jeannette (8 de enero de 2024). “Crisis de la basura: “Si no cambiamos la cultura del descarte todo va a seguir igual””, Noticias Universidad de Concepción.
- (2) Ministerio del Medio Ambiente. (2024). Informe del Estado del Medio Ambiente (Capítulo 5). Gobierno de Chile. <https://iema.mma.gob.cl/>.
- (3) Katz, A. (2025). El problema de la gestión de los residuos sólidos: soluciones desde 4 comunas de Chile. ONG FIMA. <https://www.fima.cl/wp-content/uploads/2025/09/El-problema-de-la-gestion-de-residuos.pdf>.
- (4) Municipalidad de Concepción. (2024). Informe de Gestión Dirección de Medio Ambiente: Programa de Reciclaje y Residuos Orgánicos. Concepción, Chile.
- (5) Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal. (1989). Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes.
- (6) Ley N° 20.920. (2016). Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Anexo

ANEXO A: POE-01 - Procedimiento Operativo Estandarizado para Pretratamiento de RAEE

Objetivo: Establecer los pasos seguros para el desmantelamiento de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y la extracción de componentes peligrosos (D.S. N°148).

Elementos de Protección Personal (EPP) Obligatorios: Gafas de seguridad, guantes anticorte (poliuretano), mascarilla N95, calzado de seguridad. **Procedimiento:**

1. **Recepción en Estación de Trabajo:** Posicionar el RAEE sobre la mesa de trabajo con superficie lavable y encender el sistema de ventilación.
2. **Apertura y Desmantelamiento Inicial:** Utilizar herramientas manuales aisladas para retirar carcasas plásticas o metálicas. **Prohibido** el uso de herramientas de impacto que puedan fracturar componentes internos.
3. **Identificación y Extracción de Celdas:** Localizar baterías (Ion-Litio, Ni-Cd, Plomo) y extraerlas cuidadosamente evitando dañar el recubrimiento. Cortar cables desde la base.
4. **Confinamiento Inmediato:** Depositar las baterías extraídas inmediatamente en el contenedor de HDPE con lecho de vermiculita.
5. **Segregación de Inertes:** Derivar las carcasas y plásticos libres de metales pesados al maxisaco correspondiente para su envío a reciclaje estándar.

ANEXO B: Formulario Municipal de Trazabilidad de Flujos RESPEL

Este documento debe ser llenado semanalmente por la Jefatura para consolidar la información antes de la declaración en SIDREP.

Fecha de Ingreso	Tipo de Residuo (D.S. 148)	Peso Bruto (kg)	Procedencia (Punto Móvil / Centro)	Embalaje Utilizado	Firma Operador
//202 —	RAEE (Electrónicos)	_____ —	_____ _____	Maxisacos	_____ _____
//202 —	Pilas / Baterías Litio	_____ —	_____ _____	Contenedor HDPE	_____ _____
//202 —	Aceites Minerales	_____ —	_____ _____	Estanque IBC 1000L	_____ _____
//202 —	Envases Contaminados	_____ —	_____ _____	Tambor 200L sellado	_____ _____

ANEXO C: Checklist de Inspección Diaria de Seguridad RESPEL

Fecha de Inspección: //202_ Operador Responsable: _____

1. Área de Almacenamiento de Fluidos (Aceites y Lubricantes) ☐ Bandejas de contención secundarias limpias y sin líquidos acumulados. ☐ Válvulas de contenedores IBC selladas y sin goteo visible. ☐ Señalética de peligro inflamable/tóxico visible y despejada.

2. Área de Reactivos (Pilas y Baterías) ☐ Contenedores primarios de HDPE cerrados herméticamente. ☐ Cama de vermiculita seca y en volumen adecuado. ☐ Ausencia de olores fuertes, humo o signos de aumento de temperatura.

3. Seguridad General y EPP ☐ Extintores (PQS ABC/D) en su lugar, sin obstrucciones y con presión adecuada. ☐ Operadores en turno cuentan con EPP completo e inspeccionado. ☐ Bitácora de ingreso de usuarios al día y firmada.