

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARIOS ENTRE VALPARAÍSO Y USURBIL UNA PROPUESTA DE
MEJORA PARA CHILE**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniera en
PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES Y AMBIENTALES

Alumna:

Johana Ibarra Soto

Profesor Guía:

Boris Uribe Améstica

RESUMEN

KEYWORDS: RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) - RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) – SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO (SGI) - RECOGIDA PUERTA A PUERTA (PaP) - ECONOMÍA CIRCULAR - NORMATIVA AMBIENTAL

Se realiza un análisis comparativo entre los sistemas de gestión de residuos sólidos domiciliarios (RSD) en Valparaíso, Chile, y Usurbil, Euskadi, para identificar buenas prácticas adaptables al contexto chileno. En particular, se destacan el modelo de recogida Puerta a Puerta (PaP), las estrategias de economía circular y la valorización de residuos implementadas en Euskadi. Estos enfoques han demostrado éxito en incrementar la participación ciudadana y cumplir con metas normativas.

A partir de este análisis, se proponen medidas como la descentralización de la gestión, el fomento del compostaje y/o vermicompostaje comunitario, la introducción de incentivos económicos y tecnológicos, con énfasis en la educación ambiental como pilar fundamental para alcanzar un modelo de gestión más sostenible y eficiente en Chile..

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 3 |
| SIGLA Y SIMBOLOGÍA | 6 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS | 2 |
| OBJETIVO GENERAL | 2 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO | 3 |
| 1.1. ANTECEDENTES GENERALES | 5 |
| 1.1.1. Residuos sólidos | 6 |
| 1.1.2. Tipos de RS | 6 |
| 1.1.3. Métodos de valorización y/o eliminación de RS | 6 |
| 1.1.4. Prevención de riesgos laborales y ambientales en la gestión de RSD | 8 |
| 1.1.5. Generación de residuos sólidos domiciliarios en Chile | 10 |
| 1.1.6. Generación y sistema de gestión de residuos de la comuna de Valparaíso | 11 |
| 1.1.7. Disposición final región de Valparaíso | 12 |
| 1.1.8. Relleno Sanitario El Molle | 12 |
| 1.1.9. Diagnóstico de la situación actual asociativa y regional | 13 |
| 1.2. NORMATIVA RELACIONADA CON RSD | 13 |
| 1.2.1. Lineamientos de la OCDE | 13 |
| 1.2.2. Normativa nacional | 14 |
| 1.2.3. Normativa Española | 25 |
| 1.2.4. Normativa de Euskadi | 38 |
| 1.3. EL SUELO | 41 |
| 1.3.1. Prácticas de conservación de suelo | 43 |
| 1.3.2. pH | 43 |
| 1.3.3. Acidez del suelo | 44 |
| 1.3.4. Importancia ecológica del pH | 45 |
| 1.3.5. Humedad en el suelo y su influencia en la vegetación | 45 |
| 1.3.6. Minerales del suelo | 46 |
| 1.3.7. Materia orgánica | 47 |
| 1.3.8. Microbiología del suelo | 47 |
| 1.3.9. Compostaje | 48 |
| 1.3.10. Vermicompostaje | 49 |
| CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA | 53 |
| 2.1. APLICACIONES RELACIONADAS | 55 |

| | | |
|--------|---|-----------|
| 2.1.1 | Origen y descripción del modelo puerta a puerta | 56 |
| 2.1.2. | Sistema puerta a puerta de recogida de residuos de Usurbil, Euskadi | 56 |
| 2.1.3. | Sistema de Gestión Integrado (SGI) | 57 |
| 2.1.4. | Vermicompostaje individual y comunitario | 66 |
| 2.2. | COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN | 68 |
| 2.2.1. | Comparación de normativa de residuos entre Chile, España y la comunidad autónoma de Euskadi. | 68 |
| 2.2.2. | Entrevistas a usuarios de Valparaíso y Euskadi | 68 |
| 2.3. | PROPUESTAS DE MEJORAS | 72 |
| 2.3.1. | Área correspondiente en la implementación de sistemas de recogida de residuos domiciliarios | 72 |
| 2.3.2. | Recomendaciones para optimizar la gestión de residuos en Chile, adaptando aspectos del modelo vasco | 72 |
| | CAPÍTULO 3: CÁLCULOS Y RESULTADOS | 77 |
| 3.1. | CÁLCULO DE LA DEMANDA ACTUAL DE COMPOST Y/O VERMICOMPOST REGIONAL | 79 |
| 3.1.1. | Tamaño y ubicación del mercado objetivo | 79 |
| 3.1.2. | Método de cálculo y análisis | 79 |
| 3.2. | RESULTADO CÁLCULO NÚMERO DE VERMICOMPOSTERAS | 80 |
| | DISCUSIÓN | 82 |
| | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 84 |
| | REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA | 85 |
| | ANEXOS | 97 |
| | ANEXO A: IMÁGENES | 98 |
| | ANEXO B: DATOS PORCENTUALES | 112 |
| | ANEXO C: RESÚMENES Y DATOS | 113 |
| | ANEXO D: ESQUEMAS CONCEPTUALES | 126 |

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

| | |
|--------|--|
| CEARS | : Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos |
| ENRO | : Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos |
| HORECA | : Hostelería Restaurantes y Cafeterías |
| INE | : Instituto Nacional de Estadísticas |
| INN | : Instituto Nacional de Normalización |
| IDAE | : Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía |
| FEDER | : Fondo Europeo de Desarrollo Regional |
| ISO | : Organización Internacional de Normalización |
| LER | : Lista Europea de Residuos |
| MOP | : Ministerio de Obras Públicas |
| OCDE | : Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico |
| OMS | : Organización Mundial de la Salud |
| RS | : Residuos Sólidos |
| RSD | : Residuos Sólidos Domiciliarios |
| RSU | : Residuos Sólidos Urbanos |
| SAG | : Servicio Agrícola Ganadero |
| SMA | : Superintendencia del Medio Ambiente |
| eSIR | : Sistema Electrónico de Información de Residuos |
| UTFSM | : Universidad Técnica Federico Santa María |
| RAEE | : Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos |
| RAP | : Responsabilidad Ampliada del Productor |
| REP | : Responsabilidad Extendida del Productor |
| RETC | : Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes |
| PaP | : Puerta a Puerta |
| PPGR | : Plan de Prevención de la Gestión de Residuos |
| PEMAR | : Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos |
| GRM | : Generación de Residuos Municipales |
| MTD | : Mejores Técnicas disponibles |
| MDL | : Mecanismo de Desarrollo Limpio |
| UTM | : Unidades Tributarias Mensuales |
| UTA | : Unidades Tributarias Anuales |

SIMBOLOGÍA

| | |
|-----|------------------|
| \$ | : Peso chileno |
| % | : Porcentaje |
| μ | : micro |
| c | : centi |
| cm | : centímetro |
| d | : deci |
| g | : gramo |
| kg | : kilogramo |
| l | : litro |
| m | : metro |
| ml | : mililitro |
| mm | : milímetro |
| ° C | : grados Celcius |
| T° | : Temperatura |

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos domiciliarios constituye uno de los mayores desafíos ambientales a nivel global, particularmente en países con alta densidad poblacional y recursos limitados. En Chile, la gestión de RSD se caracteriza por la prevalencia de la disposición en rellenos sanitarios, con bajas tasas de reciclaje y valorización. En contraste, Euskadi ha logrado posicionarse como un referente en gestión de residuos mediante la adopción de modelos como el Puerta a Puerta (PaP), el Sistema Integrado de Gestión (SIG) de residuos sólido urbanos y el compostaje comunitario, respaldados por un marco normativo avanzado y una sólida educación ambiental.

Este trabajo analiza ambos sistemas para identificar lecciones clave y formular recomendaciones aplicables al contexto chileno, con énfasis en la viabilidad técnica, económica y cultural de las propuestas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer mejoras al sistema de gestión de residuos domiciliarios en Chile, tomando como referencia la normativa y las buenas prácticas implementadas en Euskadi, para optimizar procesos de reciclaje, recolección y disposición final de residuos y reducir.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar diferencias entre norma de Chile y Euskadi.

Analizar el sistema de gestión en Valparaíso, reconocer desafíos y oportunidades.

Proponer un plan para implementar estrategias del sistema Puerta a Puerta en Valparaíso, adaptado a su infraestructura, recursos y participación ciudadana.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES GENERALES

Chile enfrenta importantes desafíos en la gestión de residuos debido al incremento en la generación. Aunque la Ley N° 20.920, que introduce la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y promueve el reciclaje, representa un avance significativo, los municipios aún se enfrentan a limitaciones económicas y operativas [44]. Estas limitaciones han llevado a una alta dependencia de los vertederos y/o rellenos sanitarios (RS) y a una baja valorización de los residuos [38].

Adicionalmente, el Decreto 189/2008 regula las condiciones sanitarias y de seguridad en los RS, estableciendo estándares técnicos para minimizar los riesgos asociados a la disposición final. Este marco normativo incluye criterios de ubicación para prevenir la contaminación de recursos naturales, requisitos de impermeabilización y manejo de lixiviados, sistemas de monitoreo y control ambiental. A pesar de la robustez técnica del decreto, su implementación se enfrenta a desafíos económicos y técnicos que limitan su alcance, especialmente en municipios con recursos limitados [46].

En comparación, la comunidad autónoma de Euskadi ha logrado un progreso considerable mediante normativas nacionales y autonómicas. En España, la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, establece un marco normativo que impulsa la transición hacia una economía circular, fomentando la reducción, reutilización, reciclaje y valorización de los residuos. Además, busca alinear las políticas de gestión con los objetivos ambientales de la Unión Europea y contribuir a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones [32].

Por otro lado, el Real Decreto Legislativo 1/2016 aprueba el texto refundido de la ley de prevención y control integrados de la contaminación, cuyo objetivo principal es establecer un marco legal para prevenir, reducir y controlar la contaminación generada por actividades industriales. Esta ley garantiza un alto nivel de protección ambiental mediante la regulación de emisiones al aire, agua y suelo, así como el uso eficiente de los recursos naturales. Además, se enfoca en el otorgamiento de autorizaciones ambientales integradas para instalaciones que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente, promoviendo la adopción de las mejores técnicas disponibles MTD para minimizar la contaminación.

Euskadi, con sus avances normativos y decretos específicos que regulan el tratamiento de residuos y fomentan la economía circular, se convierte así en un referente

para un análisis comparativo en materia de gestión de residuos y políticas de sostenibilidad. Este enfoque integrado y su regulación detallada en áreas como el compostaje comunitario o el sistema PaP, ofrecen lecciones clave para mejorar la gestión de residuos en Chile y avanzar hacia un modelo más sostenible.

1.1.1. Residuos sólidos

Los RS son sustancias u objetos que deberían ser valorizados, evitando eliminación.

La valorización incluye reutilización o aprovechamiento del producto, reciclaje a modo de aprovechar los recursos materiales y/o como fuente de energía [8].

1.1.2. Tipos de RS

Se pueden clasificar según origen y riesgo. Ver anexo D diagrama D-1.

1.1.3. Métodos de valorización y/o eliminación de RS

La forma más común de eliminar la basura es en vertederos, rellenos sanitarios, incineración y actualmente en Chile en menor medida se aprovecha como fuente energética y abono orgánico.

1.1.3.1. Tratamientos para RS

Las alternativas para tratar residuos deben ser analizadas en todos sus aspectos, decidiendo su implementación según corresponda. Las más comunes son elaboración de alimento animal, fuente energética y fertilizante de suelos en la valorización de la parte orgánica.

1.1.3.2. Tecnologías

Los procesos que se explican a continuación [8]:

Minimización de residuos (reducción y/o reciclaje de materiales): incluye medidas de reutilización en el origen, como también la segregación y la recuperación de materiales en instalaciones centralizadas de clasificación y/o tratamiento.

Recolección y transferencia: se refiere a la recogida y traslado, desde el punto de generación del residuo, hasta el sitio de disposición final o eventualmente a una estación de transferencia.

Transferencia y transporte: en caso de localidades distantes al relleno, suelen utilizarse estaciones de transferencia, de manera que el transporte de los residuos en su disposición final se realice en camiones de mayor capacidad.

Tratamiento: se refiere a la modificación de las características físicas, químicas o biológicas del residuo, como forma de eliminar sus propiedades nocivas, reducir su volumen y/o hacerlo susceptible a recuperación de materiales valorizables.

Disposición final: un relleno sanitario por ejemplo debe garantizar un aislamiento a largo plazo de los residuos, eliminar los gases generados, evitar que líquidos percolados contaminen las aguas subterráneas, realizando un seguimiento luego del cierre. Los procesos se analizan en diferentes perspectivas como; descripción detallada de la tecnología o proceso posible de utilizar, ventajas y desventajas de su incorporación, análisis de costo/beneficio, factibilidad de implementación, experiencia en el país y mejoras propuestas. Las tecnologías y su descripción se resumen en anexo C tabla C-1 según OCDE.

1.1.3.3. Vertederos

Es la forma más económica de disponer residuos, pero depende de la existencia de emplazamientos adecuados. La recogida y el transporte corresponden al 75% del costo total del proceso. Los vertederos funcionan almacenando residuos por capas en sitios excavados. Las capas se compactan y una vez que tiene la altura de tres metros, se agrega suelo y se vuelve a prensar.

1.1.3.4. Relleno sanitario

El DS N°189, define RS como una instalación de eliminación en la cual se disponen residuos sólidos domiciliarios y asimilables, diseñada, construida y operada para minimizar molestias y riesgos para la salud y la seguridad de la población y daños para el medio ambiente, en la cual las basuras son compactadas en capas al mínimo volumen practicable y son cubiertas diariamente, cumpliendo con las disposiciones del reglamento [46].

1.1.3.5. Incineración

Los incineradores más comunes son hornos o cámaras refractarias en las que se queman los residuos. La reacción genera calor y dióxido de carbono, óxidos de azufre, nitrógeno y otros contaminantes gaseosos, cenizas volátiles y partículas sin quemar. La emisión de cenizas volátiles se controla con filtros, lavadoras y precipitadores electrostáticos [15].

1.1.4. Prevención de riesgos laborales y ambientales en la gestión de RSD

La gestión inadecuada de RSD, como el uso de vertederos y/o RS a cielo abierto, genera riesgos significativos para la salud pública y el medio ambiente. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), factores como la contaminación del aire, agua no potable y falta de saneamiento contribuyen a millones de muertes anuales en niños menores de cinco años. Estas prácticas, motivadas por limitaciones económicas, tienen impactos a largo plazo, incluyendo enfermedades infecciosas, problemas cardiovasculares y desintegración social [30].

Principales riesgos y sus impactos

Riesgos para la salud pública

- Vectores sanitarios: los vertederos y/o RS mal gestionados favorecen la proliferación de insectos y roedores, propagando enfermedades infecciosas en comunidades cercanas.
- Problemas laborales: los recolectores, en contacto directo con residuos, enfrentan riesgos de cortes, infecciones y problemas musculoesqueléticos debido a la manipulación manual de cargas.

Contaminación ambiental

- Hídrica y del suelo: el lixiviado generado por la descomposición de residuos puede infiltrarse en suelos y aguas subterráneas, afectando su calidad.
- Atmosférica: la emisión de gases como metano contribuye al cambio climático, y el manejo inadecuado de materiales peligrosos como disolventes incrementa los riesgos de incendios.
- Paisajística: La acumulación de residuos deteriora el paisaje y genera riesgos estructurales como deslizamientos e inestabilidad del terreno.

Riesgos operativos en recolección y transporte

Los accidentes en las operaciones de recolección y transporte de residuos son comunes debido a condiciones inseguras y la exposición constante a vehículos en movimiento. Los cargadores frecuentemente trabajan sin equipo de protección adecuado, lo que aumenta el riesgo de lesiones graves.

Medidas preventivas

Para mitigar los riesgos asociados a la gestión de RSD, se recomiendan las siguientes acciones:

- Evaluación de riesgos: realizar análisis periódicos para identificar agentes químicos y biológicos presentes en los residuos.
- Formación: proveer formación continua a colaboradores sobre técnicas seguras de manipulación de residuos y operación de maquinaria.
- EPP: garantizar el uso obligatorio de equipos de protección personal certificados, como guantes, chalecos reflectantes y máscaras para evitar inhalación de partículas.
- Infraestructura: mejorar sistemas de ventilación, compactación y señalización en vertederos y/o RS y plantas de tratamiento.
- Transporte seguro: implementar programas de manejo defensivo para conductores y restringir la recolección en calles con alto flujo vehicular durante horarios de riesgo [34].

Casos en Euskadi

Planta TMB de Bilbao

En la planta de Tratamiento Mecánico Biológico TMB de Bilbao el año 2014 hubo un brote de "fiebre Q" asociado a despojos de ovejas mal gestionados. Tras una desinfección efectiva, se implementaron medidas como el uso de mascarillas, restricciones de acceso y mejoras en la separación de materiales, destacando la importancia de la prevención.

Derrumbe vertedero Zaldivar

El 6 de febrero de 2020, el vertedero de Zaldivar colapsó, provocando el desplome de 140.000 m² de escombros y residuos. Este trágico suceso sepultó a dos trabajadores, Alberto Sololuze y Joaquín Beltrán, cuyo cuerpo sólo pudo recuperarse seis meses después.

Actualmente, se desarrolla un segundo proceso judicial contra Verter Recycling 2002, empresa propietaria del vertedero de Zaldibar, por presuntos delitos medioambientales. Anteriormente, tres responsables fueron condenados a seis meses por homicidio imprudente. El Gobierno Vasco realiza labores subsidiarias de sellado y mejora del vertedero para garantizar su estabilidad, con un presupuesto incrementado de 700.000 a 2,6 millones de euros debido a la falta de información proporcionada por la empresa.

Los trabajos, divididos en dos fases, priorizan las áreas más críticas y buscan prevenir infiltraciones de agua y estabilizar el sitio. Este incidente ha reforzado la necesidad de reducir residuos, fomentar el reciclaje y avanzar hacia una economía circular, en línea con el Plan de Prevención y Gestión de Residuos de Euskadi 2030 [23]. Además, se ha iniciado un expediente sancionador contra Verter Recycling 2002, con la intención de recuperar los costos generados por las intervenciones subsidiarias.

1.1.5. Generación de residuos sólidos domiciliarios en Chile

Chile cuenta con 128 sitios activos de disposición final, incluyendo rellenos sanitarios, vertederos y basurales, así como una red de centros de acopio, puntos limpios y verdes [64].

Entre 2012 y 2017, experimentó un aumento del 9,98% en la generación de RSD alcanzando alrededor de 7.480.000 millones de toneladas en 2017. La producción per cápita se incrementó de 1,15 kg/hab/día a 1,22 kg/hab/día [19].

En Chile, la generación RSD representa un desafío creciente vinculado al aumento de la población y al desarrollo urbano. Según el diagnóstico de 2018, el país generó un total anual de 7.487.559 toneladas de RSD, cifra obtenida a partir de contratos de recolección y datos del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). La Región Metropolitana concentró el 41,8% de los RSD generados, seguida por la Región de Valparaíso con un 11,5%.

El promedio nacional de generación per cápita en 2018 fue de 1,02 kg/día. Sin embargo, en regiones densamente urbanizadas, como Valparaíso, este valor tiende a superar el promedio, influenciado por factores como el turismo estacional y la concentración de actividades económicas.

La disposición final sigue siendo la práctica predominante en Chile, abarcando el 96,49% de los residuos gestionados en 2018 [74]. A pesar de ello, las tasas de reciclaje se mantenían en niveles bajos, alcanzando solo el 1,71% a nivel nacional, un panorama que contrasta con las metas de valorización establecidas por la Ley REP 20.920. Esta normativa, vigente desde 2016, busca promover la reutilización y el

reciclaje como herramientas fundamentales para una gestión más sostenible de los residuos.

Para 2024, datos actualizados señalan que la generación de residuos no peligrosos en Chile llegó a 19,6 millones de toneladas en 2021, de las cuales el 46,1% corresponde a residuos sólidos municipales [69]. Aunque se han registrado avances en infraestructura y educación, el reciclaje sigue siendo limitado, con solo el 20% de los residuos valorizados, mientras el resto se destina a rellenos sanitarios o vertederos. Además, materiales como cartón, vidrio y plástico aún enfrentan desafíos significativos en su valorización debido a la falta de infraestructura y recolección eficiente [5].

1.1.6. Generación y sistema de gestión de residuos de la comuna de Valparaíso

La Región de Valparaíso, como una de las principales generadoras de residuos en el país, produce aproximadamente 859.017 toneladas anuales para una población de 2.422.733 habitantes. De este volumen, más del 90% se dispone en rellenos sanitarios, evidenciando una alta dependencia de este método de manejo. Sin embargo, el reciclaje en la región avanza de manera lenta, con tasas aún por debajo del promedio nacional.

En la Región se identifican siete sitios de disposición final activos, se pueden ver en anexo C Tabla C-2 [75].

En la comuna, los habitantes generan un 72,3 % de RSD orgánicos, según lo indicado en el anexo B, gráfico B-1, que detalla la distribución por tipo de residuos correspondiente al año 2011 [8]. Un estudio reciente de la Corporación Ciudades reporta que solo un 9,7% de los residuos sólidos no peligrosos son reciclados en la región de Valparaíso, cifra inferior al promedio nacional del 13,5% [5].

Entre 2011 y 2016, los costos asociados a la recolección, transporte y disposición final de residuos al relleno sanitario El Molle ascendían a \$35.906 y \$5.784, respectivamente [8]. Durante ese período, la municipalidad se encargaba directamente de la recolección y transporte, utilizando 26 camiones con caja compactadora y eleva contenedores, cuatro vehículos con poli brazo y tres camiones adicionales arrendados. Estos vehículos tenían una capacidad útil estimada de 15 m³. La frecuencia de recolección en el sector urbano era de siete veces a la semana en las zonas planas, mientras que en los cerros se realizaba entre dos y tres veces, aunque existían áreas sin cobertura debido a la falta de regularización y urbanización. Sin embargo, cambios en las políticas de gestión permitieron establecer una frecuencia de recolección de dos veces por semana en estos sectores. En total, cada vehículo realizaba 14 viajes semanales al relleno sanitario.

El progreso de las cantidades generadas y recicladas en la comuna de Valparaíso, se pueden observar en anexo B, gráfico B-2 y en el anexo A figuras A-1 y A-2 sitios de reciclaje de botellas de plástico y vidrio.

1.1.7. Disposición final región de Valparaíso

La distribución regional gestionada de residuos se muestra en el anexo B, gráfico B-3. Las proporciones atendidas por los principales rellenos sanitarios y su cumplimiento normativo se puede ver en anexo C tabla C-3.

El volumen generado a nivel regional y comunal se encuentra en el anexo C tabla C-4.

1.1.8. Relleno Sanitario El Molle

La evolución desde su fundación en 1980 del RS El Molle se puede ver en anexo D diagrama D-2.

El RS El Molle, abarca una extensión aproximada de 52 hectáreas. Cuenta con pozos de extracción dual para biogás y lixiviados, sistemas de tuberías colectoras y trampas para condensado, asegurando un manejo eficiente del biogás y minimizando riesgos operacionales.

Además, los sistemas de compactación y control en celdas operativas garantizan la estabilidad estructural del relleno.

Actualmente, el RS El Molle recibe residuos de las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Concón y Quilpué. La recolección anual en 2011 alcanzó las 90.096 toneladas, mientras que, en etapas iniciales, se registró una disposición de 272.512 toneladas anuales, acumulando más de 6,7 millones de toneladas al cierre de su vida útil proyectada hasta 2034. La capacidad instalada del relleno permite manejar volúmenes significativos de residuos, consolidándose como un elemento clave en la gestión regional.

Gestión de biogás

Desde 2006, se implementó en el relleno sanitario un sistema de extracción de biogás bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL, vinculado al Protocolo de Kioto. En sus inicios, el biogás capturado se incineraba para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; posteriormente, su uso se diversifica hacia la generación eléctrica.

Para 2018, la capacidad de generación eléctrica alcanza los 4,5 MW, conectada a la red de distribución de Chilquinta, estimando un aumento de la generación a 5,6 MW

al 2024. Este proyecto se destaca por su alta eficiencia en la conversión de metano en energía, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad y la reducción de emisiones [75].

1.1.9. Diagnóstico de la situación actual asociativa y regional

Aunque el relleno sanitario representa un avance significativo en la gestión de RSD en Chile, enfrenta importantes desafíos relacionados con su dependencia en la disposición final de residuos y la limitada implementación de estrategias que permitan prolongar su vida útil. En el anexo C tabla C-5 muestra el tipo de servicio de recolección, a nivel regional, que puede ser privada, pública o mixta.

La región aún tiene un camino por recorrer en la promoción del reciclaje y la reducción de los residuos que llegan al relleno, considerando que una proporción significativa podría ser valorizada previamente. Entre las principales carencias identificadas, destaca la falta de alternativas adecuadas para la disposición final de residuos según lo establecido en el DS 189/2005 [5].

1.2. NORMATIVA RELACIONADA CON RSD

La normativa sobre RSD abarca diversas perspectivas que, en la práctica, convergen en objetivos comunes. Los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE, incluido Chile, adoptan los lineamientos ambientales promovidos por esta organización. Además, cada país cuenta con regulaciones locales vigentes que complementan estos lineamientos, adaptándose a sus necesidades y contextos específicos.

1.2.1. Lineamientos de la OCDE

La OCDE por medio de la dirección del medio ambiente promueve la productividad de recursos, residuos y el uso sostenible de los materiales.

En anexo C, tablas C-6 a C-9 resumen conclusiones y recomendaciones realizadas por la OCDE en gestión sustentable de materiales, manejo ambientalmente racional de residuos, movimientos transfronterizos de residuos, prevención y minimización.

1.2.2. Normativa nacional

El gobierno central también tiene facultades para normar mediante decretos y resoluciones, según lo establece la constitución [9]. Existen once ministerios con competencia directa o indirecta en el manejo, control y supervisión de los residuos sólidos, cuya regulación se detalla en diversas leyes, reglamentos e instrumentos jurídicos [74]. En el Anexo D, se presenta un resumen esquemático de la normativa directamente relacionada en el diagrama D-3 y de la normativa indirectamente relacionada en el diagrama D-4.

1.2.2.1. Ley N° 20.920. Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje

Es conocida como la Ley REP, fue promulgada en Chile en 2016 con el fin de crear un marco legal para la gestión de residuos, el fomento al reciclaje y la responsabilidad extendida del productor. Tiene como objetivo principal promover la reducción, recolección y valorización de residuos, enfocándose en productos que, al terminar su vida útil, generan grandes cantidades de desechos.

Dispone que los productores son responsables del ciclo de vida completo de sus productos, lo que incluye la gestión de los residuos generados cuando estos productos dejan de ser útiles. Esta regulación se aplica a productos prioritarios como neumáticos, aceites lubricantes, baterías, envases y embalajes, y aparatos electrónicos, entre otros. Los productores deben cumplir con metas de recolección y valorización establecidas por decretos específicos, como el DS 12/2021 para envases y embalajes y el DS 8/2021 para neumáticos. Para garantizar el cumplimiento de estas metas, pueden implementar sistemas de gestión individuales o colectivos, que permiten la trazabilidad de los residuos y aseguran una gestión ambientalmente adecuada. La Superintendencia del Medio Ambiente SMA es la entidad encargada de fiscalizar el cumplimiento de la ley y aplicar sanciones a quienes no respeten las normativas [50]. Además, la Ley 20.920 fomenta la economía circular al impulsar la reutilización y el reciclaje, lo que promueve el desarrollo de infraestructura, la creación de empleo y la inversión en tecnologías de reciclaje [44].

1.2.2.2. Ley 21.368. Regula la entrega de plásticos de un solo uso y las botellas plásticas, y modifica los cuerpos legales que indica

Fue publicada el 13 de agosto de 2021 en Chile, establece un marco regulatorio para la reducción de plásticos de un solo uso y la regulación de botellas plásticas desechables. Esta normativa es un paso significativo en la lucha contra la contaminación plástica, enfocándose en minimizar el impacto ambiental de estos productos en los ecosistemas terrestres y marinos.

El objetivo principal de la Ley 21.368 es proteger el medio ambiente y reducir la generación de residuos limitando el uso de productos desechables en establecimientos de venta de alimentos. La ley fomenta la reutilización de envases y exige la certificación de plásticos de un solo uso, incluyendo la regulación de botellas plásticas desechables. Así, abarca a una amplia gama de establecimientos, desde restaurantes hasta supermercados, que deben ajustar sus prácticas a las disposiciones de esta normativa.

Entre las definiciones clave incluidas en el artículo 2, se encuentran términos como “botella plástica”, “botella retornable”, “plástico certificado” y “productos de un solo uso”. Esta terminología permite delimitar claramente los productos sujetos a las restricciones, como vasos, cubiertos y envases que no están diseñados para su reutilización.

En cuanto a las limitaciones para la entrega de productos de un solo uso, el artículo 3 prohíbe su distribución en los establecimientos de expendio de alimentos, independientemente del material del que estén hechos. Esto implica que los clientes que consuman en el local deben recibir productos reutilizables. Para el consumo fuera del establecimiento, el artículo 4 permite el uso de materiales desechables, siempre que sean valorizables o cumplan con certificaciones específicas de compostabilidad o reciclabilidad. Además, los establecimientos deben promover la valorización de estos residuos, educando a los consumidores sobre su correcta disposición.

La ley también impone obligaciones de certificación a los productores. Según el artículo 6, los productos de plástico deben cumplir con estándares de sostenibilidad, por lo que los productores e importadores deben obtener un certificado que acredite la compostabilidad o reciclabilidad de sus productos, de acuerdo con el reglamento de la ley. Además, estos productos deben estar etiquetados adecuadamente para facilitar su identificación por los consumidores.

El Título III de la ley regula específicamente las botellas plásticas desechables. El artículo 7 establece que todas las botellas plásticas desechables comercializadas en el país deben contener, al menos en parte, plástico reciclado recolectado y procesado en Chile, lo cual busca no solo reducir la demanda de plástico virgen, sino también

fortalecer la industria del reciclaje local. Además, el artículo 8 obliga a los comercializadores de bebidas a ofrecer alternativas en botellas retornables y a fomentar su uso mediante campañas de sensibilización.

Existen excepciones y disposiciones de fiscalización establecidas en la ley. Por ejemplo, los importadores de bebidas y pequeños productores están exentos de algunas obligaciones en cuanto a la composición de las botellas plásticas. La fiscalización de esta normativa corresponde a las municipalidades, que tienen la facultad de imponer multas en caso de incumplimiento. El artículo 12 detalla las sanciones por la entrega inadecuada de productos de un solo uso y la comercialización de botellas sin certificación, con multas que se aplican según la gravedad de la infracción y la reincidencia.

Además de las regulaciones sobre productos y botellas, la ley incluye disposiciones para la educación ambiental y la promoción del compostaje (artículos 15 y 16). El Ministerio del Medio Ambiente debe implementar programas de educación para sensibilizar a la ciudadanía sobre el impacto negativo del uso de productos desechables, fomentando así el uso de alternativas reutilizables. La normativa también impulsa el compostaje tanto industrial como domiciliario, en colaboración con los municipios.

La implementación de la Ley 21.368 enfrenta varios desafíos. Estos incluyen la necesidad de que los establecimientos adapten sus prácticas, la creación de infraestructura adecuada para el reciclaje y el compostaje, y la sensibilización de los consumidores sobre el valor de los productos reutilizables. Asimismo, el monitoreo y la fiscalización efectiva por parte de las municipalidades es esencial para asegurar el cumplimiento y la efectividad de la normativa.

La Ley 21.368 proporciona un marco integral para mitigar los efectos ambientales de los plásticos de un solo uso y las botellas desechables, promoviendo el uso de productos sostenibles y una mayor responsabilidad por parte de productores, comercializadores y consumidores. Esta ley se alinea con las políticas internacionales de reducción de residuos plásticos y representa un cambio cultural hacia prácticas de consumo más responsables y sostenibles. La cooperación entre autoridades, establecimientos y ciudadanos es fundamental para el éxito de esta legislación en la protección del medio ambiente [48].

1.2.2.3. Ley N° 21.349. Establece normas sobre composición, etiquetado y comercialización de los fertilizantes y bioestimulantes

Dispone normas que regulan la composición, etiquetado y comercialización de fertilizantes y bioestimulantes en Chile. El objetivo principal es garantizar la calidad de

estos productos y su impacto en la agricultura y el medio ambiente. Se aplica a todas las personas, tanto naturales como jurídicas, que se dedican a la fabricación, producción, comercialización, importación y exportación de fertilizantes y bioestimulantes. Además, el Ministerio de Agricultura es el encargado de dictar las disposiciones necesarias para implementar la ley, enfocándose en asegurar la trazabilidad de estos productos a lo largo de todo su ciclo de vida.

Una parte fundamental de la ley es la creación de un Registro Único Nacional bajo la administración del SAG, en el cual deben inscribirse todos los involucrados en la comercialización y producción de fertilizantes y bioestimulantes. Este registro busca garantizar la transparencia en el mercado y regular adecuadamente la calidad de los productos, desde su producción hasta su uso final. Asimismo, se establecen parámetros claros sobre la composición, pureza y presencia de contaminantes en los fertilizantes, asegurando que los productos etiquetados cumplan con los estándares necesarios para su correcto uso en la agricultura.

El etiquetado de estos productos es clave para la ley, y debe ser claro, en español y contener toda la información relevante sobre los nutrientes principales y secundarios, así como la forma correcta de uso. En cuanto a la fiscalización, el SAG es responsable de controlar la calidad de los fertilizantes y bioestimulantes, y puede realizar inspecciones en cualquier momento. Si se detectan irregularidades en la composición o etiquetado, los responsables se enfrentan a multas que pueden ir desde 100 hasta 1.000 UTM, dependiendo de la gravedad de la infracción.

La ley también regula la exportación e importación de estos productos, asegurando que los fertilizantes importados cumplan con las normativas chilenas de calidad a través de controles estrictos del SAG. Esta medida busca proteger tanto a los productores agrícolas nacionales como a los consumidores, garantizando que los fertilizantes y bioestimulantes sean de alta calidad [54].

1.2.2.4. Decreto 189. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios.

Establece un marco normativo esencial para las condiciones sanitarias y de seguridad en los RS en Chile. Su objetivo principal es garantizar un manejo adecuado de los residuos sólidos domiciliarios y asimilables, minimizando los riesgos para la salud pública y el medio ambiente. Este decreto aborda aspectos clave relacionados con la planificación, operación y cierre de los RS, promoviendo estándares de seguridad y sostenibilidad.

El decreto regula los procedimientos técnicos necesarios para la gestión de los RS, definiendo estándares claros que deben cumplir las personas o entidades responsables de su manejo. La fiscalización de estos estándares está a cargo de las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, lo que asegura una supervisión adecuada en todo el territorio nacional.

Entre los aspectos técnicos destacados, el diseño y operación de los RS requieren un enfoque detallado. Los proyectos deben incluir medidas específicas para la impermeabilización del suelo, el manejo de lixiviados y biogás, y la implementación de sistemas de monitoreo ambiental. Estas disposiciones tienen como propósito evitar la contaminación del agua, el aire y el suelo. Asimismo, se exige la cobertura diaria de los residuos con materiales como tierra para prevenir olores y la proliferación de vectores.

En cuanto a la ubicación, el decreto establece criterios estrictos para minimizar los impactos ambientales y riesgos sanitarios. Prohíbe la instalación de rellenos en áreas susceptibles a inundaciones, con suelos inestables o cercanas a fuentes de agua potable. Específicamente, se imponen distancias mínimas de 600 metros respecto a captaciones de agua potable y de 60 metros a cuerpos de agua superficiales, garantizando una protección adecuada de los recursos hídricos.

El manejo de lixiviados y biogás es otro punto central del decreto. Se obliga a implementar sistemas de impermeabilización en la base de los rellenos para evitar filtraciones. La recirculación de lixiviados está permitida únicamente si no compromete la estabilidad del sitio ni genera contaminación secundaria. En cuanto al biogás, su captación y control son obligatorios para prevenir explosiones y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El decreto también exige monitoreos periódicos de biogás, lixiviados y aguas subterráneas para detectar posibles fugas y garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales. Los resultados de estos monitoreos deben ser reportados regularmente a las autoridades competentes, asegurando un control riguroso y continuo.

En la fase de cierre, se detallan los procedimientos necesarios para restaurar los sitios y establecer un monitoreo post-operacional durante al menos 20 años. Estas medidas buscan garantizar la estabilidad ambiental y prevenir problemas a largo plazo, proporcionando un enfoque integral para la gestión sostenible de residuos.

Entre sus fortalezas, el Decreto 189 se distingue por su enfoque técnico e integral, proporcionando lineamientos exhaustivos para todas las fases de operación de un RS. Además, prioriza la prevención de riesgos a través de estándares claros para el manejo de lixiviados y biogás, así como criterios estrictos para la ubicación de estas instalaciones. También fomenta la sostenibilidad ambiental mediante la promoción de la recuperación de materiales reciclables.

Sin embargo, la implementación del decreto enfrenta desafíos significativos. Los costos asociados a las medidas exigidas, como la impermeabilización y el monitoreo continuo, pueden resultar prohibitivos para municipios con recursos limitados. Además, su aplicación efectiva requiere personal técnico especializado y una coordinación interinstitucional eficiente. Aunque fomenta la recuperación de materiales, su enfoque se centra más en la disposición final que en la prevención de la generación de residuos.

El Decreto 189 representa un avance importante en la gestión de residuos sólidos en Chile. Su marco normativo prioriza la seguridad, salud pública y sostenibilidad ambiental, estableciendo estándares robustos para los rellenos sanitarios. No obstante, su efectividad dependerá de políticas complementarias que promuevan la prevención, la economía circular y el fortalecimiento de capacidades técnicas y financieras para su implementación adecuada [46].

1.2.2.5. Decreto 61. Aprueba reglamento de Ley N° 21.349, que establece normas sobre su composición, etiquetado y comercialización de los fertilizantes y biocombustibles

El Decreto 61, implanta normas claras y específicas sobre la composición, etiquetado y comercialización de fertilizantes y bioestimulantes en Chile. En cuanto a la composición de los productos, el decreto exige que estos contengan los nutrientes indicados en sus etiquetas, como nitrógeno, fósforo, potasio y otros micronutrientes como zinc y cobre, y estén libres de contaminantes peligrosos como los metales pesados. Estos contaminantes pueden ser dañinos para la salud humana, animal o la calidad del suelo, por lo que se establecen estrictos parámetros de pureza para garantizar la seguridad y eficacia de estos productos.

En cuanto al etiquetado, el decreto especifica que debe ser claro, estar en español e incluir información sobre la composición del producto, la dosis recomendada y las advertencias necesarias para su uso seguro. El objetivo es que los agricultores tengan la información suficiente para tomar decisiones informadas sobre los insumos que utilizan en sus cultivos. Los productos destinados a la agricultura orgánica también deben señalar en el etiquetado, en conformidad con la Ley N° 20.089, que regula la certificación de productos orgánicos.

También establece la creación de un Registro Único Nacional, administrado por el SAG. Este registro permite la trazabilidad del producto, garantizando su calidad desde la producción hasta su uso final. El SAG tiene la autoridad para realizar inspecciones y análisis de muestras, y puede aplicar sanciones si se detectan incumplimientos, como multas o la prohibición de venta.

Por otra parte regula la importación y exportación de estos productos, asegurando que los fertilizantes y bioestimulantes importados cumplan con las normativas chilenas, mientras que los productos exportados deben cumplir con los estándares del país de destino.

En términos de beneficios para la agricultura y el medio ambiente, el Decreto 61 contribuye a mejorar la eficiencia de los cultivos al garantizar que los productos utilizados sean de alta calidad y estén libres de contaminantes. Esto promueve el uso responsable de insumos agrícolas, reduciendo la dependencia de productos químicos de baja calidad y minimizando su impacto negativo sobre el suelo y el agua, lo que favorece una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente [55].

1.2.2.6. Decreto 12. Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de envases y embalajes

Emitido por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile y publicado en el Diario Oficial el 16 de marzo de 2021, establece metas de recolección y valorización, junto con otras obligaciones, para envases y embalajes en el marco de la Ley REP.

El objetivo principal es aumentar progresivamente la recolección y valorización de envases y embalajes, promoviendo prácticas de reciclaje y sostenibilidad en la gestión de residuos.

Se establecen metas diferenciadas para envases y embalajes domiciliarios y no domiciliarios, con porcentajes que incrementan anualmente durante 12 años, variando según el material (cartón para líquidos, metal, papel y cartón, plástico, vidrio).

Los productores deben cumplir con las metas establecidas mediante sistemas de gestión, ya sean individuales o colectivos. Además, tienen responsabilidades como:

- Informar sobre las tarifas y los integrantes de los sistemas de gestión.
- Instalar y operar instalaciones de recepción y almacenamiento de residuos, según la población de cada comuna.
- Implementar la recolección selectiva de residuos domiciliarios.

La Superintendencia del Medio Ambiente es la entidad encargada de fiscalizar el cumplimiento de las metas y obligaciones. El incumplimiento puede resultar en sanciones, incluyendo multas de hasta 10.000 UTA anuales.

El decreto entró en vigencia el 16 de marzo de 2021, con ciertas obligaciones, como las metas de recolección y valorización, comenzando a regir 30 meses después de la publicación, es decir, a partir de septiembre de 2023.

Este decreto representa un avance significativo en la gestión sostenible de residuos en Chile, promoviendo la economía circular y la responsabilidad ambiental de los productores [45].

1.2.2.7. Decreto 8. Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de neumáticos

El Decreto regula la recolección, valorización y reciclaje de neumáticos en el marco de la Ley REP. Es clave para la gestión de los residuos generados por los neumáticos en desuso, un tipo de residuo altamente contaminante debido a su durabilidad y dificultad para ser descompuesto de manera natural.

Fija metas progresivas de recolección y valorización de neumáticos en desuso para asegurar una gestión adecuada de los residuos generados por los productores y comercializadores. Estas metas son diferenciadas según el tipo de neumático, incluyendo vehículos livianos, pesados, así como neumáticos agrícolas e industriales, con el objetivo de lograr la valorización de un porcentaje significativo de los neumáticos en el mercado en un plazo de 12 años. Además, el decreto clasifica los neumáticos en domiciliarios, provenientes de vehículos particulares, y no domiciliarios, generados en el sector industrial o flotas comerciales, estableciendo distintas obligaciones para su recolección y reciclaje.

Los productores e importadores de neumáticos tienen la responsabilidad de garantizar la recolección y gestión de los neumáticos al final de su vida útil, pudiendo cumplir con estas obligaciones a través de sistemas de gestión colectivos o individuales que organicen el almacenamiento, recolección y transporte de neumáticos usados. Los comercializadores deben informar a los consumidores sobre las opciones de recolección y asegurar la trazabilidad de los neumáticos a lo largo de su ciclo de vida.

El decreto también promueve la valorización de neumáticos recolectados, incentivando tanto el reciclaje de materiales como su valorización energética y/o el uso en procesos industriales. Este enfoque busca reducir la cantidad de neumáticos en vertederos y fomentar la economía circular mediante la reutilización de materiales. La SMA es la encargada de fiscalizar el cumplimiento de estas obligaciones, aplicando sanciones económicas a los productores que no cumplan con las metas establecidas [39].

En términos de impacto ambiental, el DS 8/2021 representa un avance significativo en la gestión de residuos de neumáticos, que son altamente contaminantes si no se manejan adecuadamente. Este decreto contribuye a mitigar los efectos negativos de los neumáticos en desuso en el medio ambiente, promoviendo su reciclaje y

reutilización, lo que a su vez reduce la extracción de recursos naturales y las emisiones de gases de efecto invernadero [52].

1.2.2.8. Decreto 148. Aprueba reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos

Tiene como principal objetivo proteger la salud pública y el medio ambiente a través de un manejo adecuado de los residuos peligrosos. Esto abarca varias etapas, incluyendo la identificación, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de estos residuos. Para facilitar la comprensión y aplicación de las normativas, el reglamento proporciona definiciones claras sobre los residuos peligrosos y otros términos relevantes. Además, establece criterios específicos para clasificar estos residuos, basándose en sus características físico-químicas y su potencial impacto en la salud y el medio ambiente.

Los generadores de residuos peligrosos tienen la responsabilidad de gestionar sus residuos de manera segura y cumplir con las regulaciones establecidas. Esto implica realizar una caracterización adecuada de los residuos, establecer un plan de manejo y asegurar el cumplimiento de las normativas durante el almacenamiento y el transporte. En cuanto a las condiciones de almacenamiento y transporte, el reglamento especifica que el almacenamiento debe ser seguro, evitando cualquier riesgo de derrames o contaminación, y que se deben llevar a cabo inspecciones periódicas. Asimismo, el transporte de residuos peligrosos debe estar a cargo de empresas autorizadas y realizarse con vehículos adecuados para prevenir fugas y accidentes.

El reglamento también establece procedimientos para el tratamiento y la disposición final de los residuos peligrosos, promoviendo el uso de tecnologías probadas que minimicen los riesgos para la salud pública y el medio ambiente. Se alienta la valorización de residuos como una alternativa sostenible.

En caso de incumplimiento de las disposiciones establecidas, se contempla un régimen de sanciones que busca garantizar la responsabilidad tanto de los generadores como de los operadores en la cadena de manejo de residuos peligrosos. Para asegurar el cumplimiento de las normativas, se establece la obligación de realizar monitoreos y auditorías periódicas, así como la responsabilidad de las autoridades sanitarias de supervisar las actividades relacionadas con el manejo de estos residuos.

La educación y capacitación son aspectos fundamentales del reglamento, ya que se fomenta el aprendizaje tanto para generadores como para operadores en el manejo de residuos peligrosos. Esto es esencial para que todos los involucrados comprendan adecuadamente las implicaciones y los procedimientos correctos para la gestión de estos residuos. Además, el decreto promueve la colaboración entre diversas entidades

gubernamentales y organizaciones, reconociendo que la coordinación es clave para abordar los desafíos asociados al manejo de residuos peligrosos [49].

1.2.2.9. Decreto 594. Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo en Chile

Establece el reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo en Chile, con el objetivo de fijar las condiciones mínimas de seguridad y salud que deben cumplirse en estos espacios. Este marco normativo promueve un entorno laboral seguro y saludable, buscando prevenir accidentes y enfermedades laborales, y garantizando el bienestar de los empleados a través del cumplimiento de las normas de higiene.

Este decreto se aplica a todos los lugares de trabajo, tanto públicos como privados, que cuenten con personal a cargo, abarcando actividades industriales, comerciales y de servicios. Dentro de sus principales disposiciones, se establecen criterios específicos para la construcción, diseño y mantenimiento de los espacios laborales, asegurando que se respeten las normas de seguridad y salud. Esto incluye aspectos fundamentales como la ventilación, iluminación adecuada, suficiente espacio y accesibilidad para todos los trabajadores.

Asimismo, el decreto exige a los empleadores implementar medidas preventivas para identificar y controlar los riesgos laborales, promoviendo la capacitación de los trabajadores en materia de seguridad. También se establece la obligación de proporcionar equipos de protección personal adecuados, según el tipo de actividad desempeñada, garantizando así la protección individual de cada empleado. Además, se señala la necesidad de realizar evaluaciones periódicas de las condiciones de trabajo y el monitoreo de la salud de los trabajadores, con el objetivo de detectar y prevenir posibles riesgos.

Los empleadores tienen la responsabilidad de mantener registros de los accidentes laborales y enfermedades profesionales, así como de las medidas adoptadas para prevenir estos eventos. Para asegurar el cumplimiento de estas disposiciones, el decreto contempla sanciones para aquellos empleadores que no se adhieran a las normas establecidas, fomentando así la responsabilidad en la implementación de los estándares de seguridad y salud [51].

1.2.2.10. Norma 2880. Calidad de compost

En Chile, no existe normativa para vermicompostaje, ni para su proceso ni producto terminado.

La norma 2880-2005 regula la calidad del producto a comercializar bajo el nombre de compost, indica parámetros y sus concentraciones máximas, especifica las autoridades competentes, la ficha técnica que debe llevar el producto, entre otros [29].

Se define la producción de compost, que es un producto distinto al humus y a la turba, presentándose como una opción alternativa a la quema, principalmente de residuos agrícolas y forestales, y por consiguiente a la emisión de contaminantes atmosféricos y a la pérdida de materia orgánica, por calcinación, en los suelos.

Se debe presentar informes de resultados de laboratorios acreditados, de al menos los siguientes ensayos: coliformes fecales, *Salmonella* sp., humedad, relación C/N, conductividad eléctrica, pH y CIC [31].

Los métodos de ensayos normados a utilizar en el análisis bacteriológico son los indicados en anexo C tabla C-10 [76].

Los procedimientos de la norma de vermicompost mexicana, similar a esta norma son [12]:

Análisis físico-químico

- Determinación de pH
- Determinación de salinidad por conductividad eléctrica
- Determinación de humedad
- Determinación de Cenizas
- Determinación de materia orgánica
- Determinación de carbono orgánico
- Determinación de nitrógeno total Kjeldahl
- Determinación de la relación carbono-nitrógeno
- Determinación de CIC mediante el método de acetato de amonio
- Determinación de la densidad aparente

Análisis bacteriológico, técnica del número más probable (NMP)

- Determinación de *Escherichia coli* y *Salmonella* sp.

1.2.3. Normativa Española

1.2.3.1. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular

La Ley tiene como objetivo consolidar un marco regulatorio que minimice el impacto ambiental de los residuos y promueva el uso eficiente de los recursos, impulsando la transición hacia una economía circular en España. Esta normativa reemplaza la Ley 22/2011 y se alinea con directrices europeas clave, como la Directiva Marco de Residuos (2008/98/CE) y otras normativas sobre plásticos de un solo uso. Así, busca cumplir con las metas de sostenibilidad establecidas en la Agenda 2030, en áreas como la acción por el clima y la vida submarina.

Entre los aspectos centrales de esta ley se encuentran objetivos específicos para la prevención de residuos y el fomento del reciclaje y la reutilización, con el fin de reducir el impacto negativo de ciertos materiales, especialmente los plásticos, en el medio ambiente. Asimismo, la normativa refuerza la jerarquía de gestión de residuos, priorizando la prevención y la reutilización sobre el reciclado, la valorización y, finalmente, la eliminación de residuos. Este enfoque contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de los vertederos y combate el cambio climático.

La ley también establece un sistema de Responsabilidad Ampliada del Productor RAP, que asigna a los fabricantes la responsabilidad de gestionar los productos tras su consumo, tanto en términos organizativos como financieros. Esta medida incluye a sectores específicos, como los productores de plásticos de un solo uso, textiles y muebles, y se apoya en registros electrónicos para garantizar la transparencia y trazabilidad de los residuos generados.

En cuanto a las medidas fiscales, la normativa introduce impuestos específicos para reducir el consumo de productos de plástico no reutilizables y gravar el depósito de residuos en vertederos e incineradoras, con el fin de desincentivar estas prácticas poco sostenibles y promover métodos de reciclaje y valorización material más ecológicos.

Adicionalmente, se contemplan nuevas disposiciones para la recuperación de suelos contaminados, permitiendo la inscripción voluntaria de las descontaminaciones realizadas y estableciendo mecanismos de responsabilidad para propietarios de suelos con contaminación histórica. Estos procedimientos cuentan con un sistema de seguimiento para asegurar su cumplimiento.

La implementación del Sistema Electrónico de Información de Residuos (eSIR) es otro componente clave, ya que facilita el seguimiento de los residuos y suelos

contaminados mediante una plataforma digital de alcance nacional, que contribuye a la transparencia en la gestión de residuos y mejora la eficiencia en su control. En conjunto, la Ley 7/2022 establece una base normativa integral para impulsar la economía circular y la sostenibilidad en España. A través de medidas innovadoras y un enfoque holístico en la gestión de residuos y la descontaminación de suelos, esta normativa facilita una transición económica que reduce el impacto ambiental y cumple con los compromisos internacionales y europeos. Para que esta ley tenga un impacto positivo real en la protección del medio ambiente y la salud pública, resulta esencial la colaboración de todos los agentes: gobierno, empresas y sociedad civil [32].

1.2.3.2. Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero orma 2880. Calidad de compost

El Real Decreto 646/2020 establece las condiciones y procedimientos para la gestión de residuos en vertederos, con el objetivo de minimizar los impactos ambientales y promover una gestión sostenible. Este decreto tiene como principal propósito regular los requisitos para la eliminación de residuos mediante vertederos, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales. Además, cumple con las directrices europeas de gestión de residuos y protección ambiental, buscando reducir el uso de vertederos y alinear sus metas con la economía circular y la jerarquía de residuos de la Unión Europea.

Para ello, el Real Decreto clasifica los residuos que pueden ser depositados en vertederos en tres tipos: residuos inertes, que no presentan alteraciones significativas en su composición; residuos no peligrosos, que no contienen sustancias peligrosas y tienen un impacto ambiental mínimo si se gestionan correctamente; y residuos peligrosos, que requieren una gestión especializada. Asimismo, regula los tipos de vertederos según el tipo de residuo que pueden albergar: vertederos para residuos inertes, vertederos para residuos no peligrosos y vertederos para residuos peligrosos.

Este decreto también define los requisitos técnicos y ambientales para la ubicación y diseño de los vertederos, que deben cumplir con estudios de impacto ambiental previos, sistemas de aislamiento para proteger las aguas subterráneas y superficiales, y mecanismos de control de emisiones de gases y lixiviados para prevenir la contaminación del aire y del agua. Además, cualquier vertedero debe contar con una autorización administrativa otorgada por la autoridad competente, la cual se somete a inspecciones y vigilancia periódicas para asegurar su cumplimiento con las normativas ambientales.

Uno de los principios clave de este Real Decreto es la reducción de la eliminación de residuos en vertederos, en consonancia con la jerarquía de residuos de la UE, que prioriza la prevención, reutilización, reciclaje y recuperación energética. Solo cuando estas opciones no son viables, los residuos deben destinarse a vertederos, siempre cumpliendo con ciertos requisitos previos, como su tratamiento adecuado y su clasificación para asegurar que solo aquellos residuos que no puedan ser gestionados de otra forma lleguen al vertedero.

La gestión de lixiviados y gases es otro componente fundamental de esta normativa. El Real Decreto exige que los vertederos dispongan de sistemas para el tratamiento de lixiviados, los líquidos contaminantes generados a partir de los residuos, y para la captura y tratamiento de gases, como el metano, un potente gas de efecto invernadero. Además, los gestores de residuos deben cumplir con requisitos específicos para la cesión de residuos a vertederos, incluyendo la correcta clasificación y tratamiento de los residuos y el suministro de información detallada sobre su composición y condiciones de tratamiento previo.

Este Real Decreto está alineado con las directivas europeas sobre gestión de residuos, particularmente la Directiva 2008/98/CE y la Directiva 1999/31/CE sobre vertederos, que establecen marcos regulatorios para reducir la cantidad de residuos destinados a vertederos y fomentar la prevención, reutilización y reciclaje de materiales. Además, impone a los operadores de vertederos la responsabilidad de gestionar los residuos de manera segura y eficiente, asegurando que no contaminen el medio ambiente y cumpliendo con todas las condiciones establecidas en la normativa.

El Real Decreto 646/2020 representa un avance significativo hacia una gestión de residuos más sostenible en España. Mediante la regulación de la eliminación de residuos en vertederos, este decreto busca reducir el impacto ambiental, prevenir la contaminación del aire, agua y suelo, y fomentar el reciclaje y la reutilización de materiales. Además, cumple con las exigencias europeas en gestión de residuos y contribuye a los objetivos de la economía circular [59].

1.2.3.3. Orden TED/834/2023, de 18 de julio, por la que se establecen los requisitos mínimos de tratamiento previo al depósito de residuos municipales en vertedero

La Orden tiene el fin de reducir los impactos ambientales y fomentar una gestión de residuos sostenible. Esta normativa, que se centra específicamente en la gestión de residuos municipales para vertederos, complementa la legislación general, como la Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular

y el Real Decreto 646/2020, que regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

El principal objetivo de la Orden TED/834/2023 es asegurar que los residuos municipales reciban un tratamiento adecuado antes de su depósito en el vertedero. Esto busca minimizar la cantidad de residuos que terminan en vertederos, en línea con la jerarquía de residuos de la Unión Europea, que prioriza la prevención, reutilización y reciclaje. La normativa también apunta a reducir el impacto ambiental de los vertederos, limitando los efectos perjudiciales sobre el suelo, aire y aguas subterráneas, y fomentando la reutilización y el reciclaje mediante un marco específico de tratamiento previo para estos residuos.

En su ámbito de aplicación, la Orden regula el tratamiento previo de los residuos sólidos urbanos RSU, generados en hogares y pequeñas actividades comerciales y de servicios, así como los residuos de limpieza viaria y jardinería urbana, en ciertos casos gestionados como residuos municipales. Entre los requisitos de tratamiento previo, destaca la obligación de clasificar y separar los residuos según su tipo, para garantizar una adecuada gestión de los materiales reciclables. Además, se exige reducir la cantidad de residuos destinados a vertedero, tratando aquellos susceptibles de reciclaje o valorización energética, y realizar un tratamiento mecánico-biológico, como el compostaje o la clasificación, para disminuir el volumen y facilitar el manejo seguro de los residuos. La estabilización de residuos orgánicos también es obligatoria, a fin de evitar la generación de lixiviados y gases contaminantes en el vertedero.

La Orden también establece que ciertos residuos no pueden ser depositados en vertederos sin un tratamiento previo adecuado. Esto incluye residuos orgánicos no estabilizados y residuos peligrosos, los cuales requieren un tratamiento especializado antes de su disposición final. La normativa se alinea con las directivas europeas en gestión de residuos, como la Directiva 1999/31/CE sobre vertederos y la Directiva 2008/98/CE sobre residuos, que establecen la obligación de reducir el volumen de residuos destinados a vertederos y promover el reciclaje y la recuperación de materiales.

Las entidades responsables de la gestión de residuos municipales, tales como ayuntamientos, empresas de gestión y operadores de vertederos, tienen obligaciones específicas bajo esta Orden. Deben garantizar el control y verificación del tratamiento previo de los residuos antes de su envío a vertedero, documentar y registrar los tratamientos realizados, y notificar a las autoridades competentes la cantidad de residuos que se destinan a vertedero, junto con los detalles del tratamiento previo recibido. Las autoridades competentes, principalmente autonómicas, son responsables de supervisar que los residuos depositados en vertederos cumplan con los requisitos de esta orden, realizando inspecciones y verificando el cumplimiento de los estándares ambientales.

La implementación de esta normativa busca reducir el volumen de residuos municipales en vertederos, contribuyendo así a los objetivos de la economía circular, que promueve la reutilización, reciclaje y valorización energética de materiales en lugar de su eliminación. La Orden establece plazos para que los gestores de residuos implementen estos tratamientos previos, permitiendo una transición gradual hacia una gestión más eficiente y sostenible.

La Orden TED/834/2023 refuerza el compromiso de España con una gestión de residuos más sostenible, limitando la cantidad de residuos destinados a vertederos y promoviendo el reciclaje y la valorización. Este tratamiento previo es esencial para minimizar la generación de lixiviados, gases y otros contaminantes, y para asegurar que los vertederos cumplan con los estándares ambientales y reduzcan su impacto negativo en el entorno [60].

1.2.3.4. Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado

Establece los requisitos y procedimientos para el transporte de residuos dentro del territorio español, con el objetivo de garantizar una gestión segura y eficiente de estos materiales y minimizar sus impactos en el medio ambiente y la salud pública. Este decreto complementa la legislación general sobre residuos, como la Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular, y está alineado con la Directiva Europea 2008/98/CE y otras normativas de la Unión Europea sobre el transporte de residuos.

El principal objetivo del Real Decreto 553/2020 es regular el traslado de residuos en España para asegurar que este proceso se realice de manera segura, protegiendo tanto la salud pública como el entorno. Para ello, establece medidas específicas para minimizar los riesgos asociados al transporte, tales como accidentes, fugas, emisiones contaminantes o manipulaciones incorrectas, y mejorar la trazabilidad de los residuos durante su traslado para garantizar su gestión adecuada.

El ámbito de aplicación del Real Decreto abarca el traslado de cualquier tipo de residuo dentro de España, afectando tanto a residuos peligrosos como no peligrosos, y se establecen requisitos específicos para cada tipo. Los residuos peligrosos, debido a sus características, están sometidos a una regulación más estricta, que exige mayores controles y medidas de seguridad. En contraste, los residuos no peligrosos, aunque requieren un manejo adecuado, presentan menores riesgos para la salud y el medio ambiente.

Entre los requisitos generales para el transporte de residuos, el Real Decreto establece que los operadores deben contar con una licencia de transporte otorgada por la autoridad competente en cada comunidad autónoma. Además, los residuos deben estar correctamente identificados durante el transporte mediante etiquetas o documentos que especifiquen su naturaleza y características, y deben ser trasladados en condiciones que minimicen los riesgos, utilizando vehículos adecuados y medidas de seguridad para evitar derrames o emisiones peligrosas. Los residuos deben ir acompañados de la documentación necesaria, como el documento de traslado de residuos, que facilita el control y la trazabilidad durante todo el proceso.

El traslado de residuos peligrosos incluye requisitos adicionales, como un seguimiento más riguroso a lo largo de la ruta de transporte, documentación específica que detalla su naturaleza, precauciones necesarias y destino final, así como una vigilancia estricta de los vehículos y conductores, quienes deben cumplir con las normativas de seguridad correspondientes.

La normativa también impone una obligación de registro y control, tanto para las empresas gestoras de residuos como para las autoridades. Las empresas deben llevar un registro detallado de los residuos transportados, incluyendo su origen, destino, cantidad y condiciones de transporte, mientras que las autoridades tienen la facultad de realizar inspecciones y auditorías para asegurar el cumplimiento de la normativa.

En cuanto a la responsabilidad y cumplimiento, el decreto establece una responsabilidad compartida entre los transportistas y las empresas generadoras de residuos. Los transportistas deben garantizar que el traslado se realice en condiciones seguras, mientras que las empresas generadoras son responsables de que los residuos estén adecuadamente clasificados y etiquetados antes del traslado, cumpliendo con los requisitos legales.

Existen algunas excepciones en el régimen de control para residuos que representan un menor riesgo. Por ejemplo, los residuos no peligrosos o los traslados dentro de una misma instalación pueden estar exentos de ciertas formalidades documentales, aunque siempre bajo condiciones de seguridad controladas.

El incumplimiento de las disposiciones establecidas en el Real Decreto puede dar lugar a sanciones, incluyendo multas económicas y sanciones administrativas como la retirada de licencias de transporte o la prohibición de realizar ciertas actividades. Además, aunque el decreto se centra en el transporte dentro de España, también hace referencia al transporte transfronterizo, el cual debe cumplir con las normas europeas y protocolos internacionales, como el Convenio de Basilea [61].

1.2.3.5. Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos

Establece los requisitos y condiciones para que las empresas y entidades responsables de la gestión de residuos en España proporcionen garantías financieras. Estas garantías aseguran que los costes de gestión y tratamiento de los residuos estén cubiertos, especialmente en casos de incumplimiento de las obligaciones por parte de los gestores. La normativa responde a la necesidad de prevenir situaciones en las que los gestores de residuos no puedan afrontar la responsabilidad financiera derivada de su actividad, evitando que los costos recaigan sobre el medio ambiente o la sociedad.

Enmarcado en la política de residuos de la Unión Europea, este Real Decreto busca reforzar la seguridad financiera en la gestión de residuos y asegurar que los recursos se utilicen para una gestión adecuada, minimizando riesgos ambientales y de salud pública. Su objetivo principal es garantizar que los gestores de residuos, tanto públicos como privados, dispongan de fondos suficientes para cubrir los costes asociados a la gestión, tratamiento y eventual restauración ambiental de los residuos. La norma establece así un marco para evitar que las entidades responsables eludan sus responsabilidades financieras y previene la externalización de costos en casos de quiebra o incumplimiento.

El ámbito de aplicación de esta normativa abarca a las entidades y empresas que gestionan residuos peligrosos y no peligrosos en España, cubriendo actividades de recogida, transporte, almacenamiento, tratamiento, valorización y eliminación de residuos. También incluye a empresas que gestionan productos que se convierten en residuos a lo largo de su vida útil, como las empresas de gestión de envases y las productoras de residuos industriales.

Una de las principales innovaciones de este Real Decreto es la implementación de mecanismos específicos de garantía financiera, que incluyen seguros, fianzas, garantías bancarias u otros mecanismos equivalentes aprobados por la normativa, para cubrir los costes asociados a la gestión de residuos. Los gestores de residuos tienen la obligación de presentar una garantía financiera antes de realizar sus actividades, calculando un coste estimado de gestión y tratamiento que cubra posibles impagos o incumplimientos de las normativas ambientales.

Los requisitos de estas garantías varían según el tipo de actividad. Por ejemplo, los gestores de residuos peligrosos deben proporcionar una garantía financiera más alta debido a la mayor peligrosidad de estos residuos. Las instalaciones de eliminación, como vertederos e incineradoras, deben cubrir los posibles impactos ambientales,

mientras que los recicladores y valorizadores también están sujetos a la obligación de presentar garantías, aunque en algunos casos los requisitos son menos estrictos.

El cálculo de las garantías financieras debe basarse en una estimación precisa de los costos de tratamiento de los residuos, incluyendo costos de cierre de instalaciones y de rehabilitación de los espacios impactados. Las garantías deben ser suficientes para cubrir estos costos en cumplimiento con el principio de "quien contamina paga" y deben revisarse regularmente para ajustarse a las necesidades reales de gestión de residuos.

El ejercicio de estas garantías financieras se produce en caso de que la entidad responsable no cumpla con sus obligaciones. En tales situaciones, las autoridades pueden activar la garantía para cubrir los costos de tratamiento, eliminación o restauración ambiental. Las autoridades competentes también supervisan el cumplimiento de la normativa, verificando que las garantías financieras presentadas por las entidades sean adecuadas y se ajusten a las actividades realizadas. Además, pueden requerir ajustes o nuevas garantías si es necesario.

El incumplimiento de las disposiciones de este Real Decreto puede llevar a sanciones administrativas, como multas económicas, suspensión de actividades o, en casos graves, la revocación de licencias o el cierre temporal de instalaciones.

Este Real Decreto es una normativa fundamental en la gestión de residuos en España, ya que establece condiciones para asegurar que los gestores de residuos asuman sus responsabilidades financieras y que el tratamiento de residuos se realice sin externalizar costos al medio ambiente o a la sociedad. La normativa se alinea con los principios de la economía circular y las políticas de la Unión Europea, promoviendo una mayor responsabilidad ambiental y seguridad financiera, y garantizando que los fondos necesarios estén disponibles para el tratamiento adecuado de los residuos y la restauración de entornos afectados en caso de necesidad. Esta normativa establece los requisitos y las condiciones para que las empresas y entidades responsables de la gestión de residuos proporcionen garantías financieras que aseguren que los costes de la gestión y tratamiento de los residuos sean cubiertos, especialmente en caso de que la entidad no cumpla con sus obligaciones. Responde a la necesidad de prevenir situaciones en las que los gestores de residuos no sean capaces de afrontar la responsabilidad financiera derivada de su actividad [43].

1.2.3.6. Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación

Instaura un marco regulador exhaustivo para la prevención y el control integrados de la contaminación, en alineación con las directivas de la Unión Europea sobre emisiones industriales. Basado en la Directiva 2010/75/UE, este decreto consolida normativas previas y simplifica los procedimientos de autorización ambiental, así como las medidas de control y sanción en instalaciones industriales, facilitando la aplicación coherente de las políticas ambientales en el país.

El objetivo principal de este decreto es evitar, reducir y controlar la contaminación en la atmósfera, el agua y el suelo, estableciendo estándares elevados de protección ambiental. Su ámbito de aplicación incluye instalaciones industriales públicas y privadas que realicen actividades clasificadas en el anejo 1 del decreto y que alcancen ciertos umbrales de capacidad. Sin embargo, excluye actividades de investigación y desarrollo, otorgando flexibilidad para innovaciones ambientales.

El decreto se sustenta en principios fundamentales, como el uso de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD), que busca minimizar las emisiones contaminantes y orientar a las instalaciones hacia prácticas de eficiencia en el uso de energía y recursos. También enfatiza la prevención de residuos y, cuando esta no es viable, su valorización o reciclado. Además, fomenta la cooperación interadministrativa, especialmente en casos de impactos transfronterizos, requiriendo que las autoridades colaboren para asegurar la efectividad de las autorizaciones ambientales integradas.

Un elemento central de este decreto es el régimen de autorización ambiental integrada, que agrupa en un único proceso todas las autorizaciones ambientales necesarias para una instalación. Esto simplifica los trámites administrativos y mejora la transparencia en la emisión de permisos. Las autorizaciones deben incluir límites de emisión específicos, medidas para la gestión de residuos y técnicas de mitigación para minimizar el impacto de posibles accidentes industriales. Las autoridades competentes deben revisar estas autorizaciones periódicamente para adaptarse a los cambios legislativos o avances tecnológicos.

Para garantizar el cumplimiento de sus disposiciones, el decreto establece un marco de inspección ambiental y control riguroso, que incluye visitas in situ y la verificación de los controles de emisión realizados por las instalaciones. Las sanciones por infracciones se aplican de manera proporcional a su gravedad, y para casos de infracciones graves o repetidas, el decreto permite sanciones adicionales. Además, las

autoridades pueden adoptar medidas provisionales en situaciones de riesgo inminente para el medio ambiente o la salud pública.

En cuanto a las emisiones, los valores límite se determinan en función de las MTD, considerando factores como la ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales. El decreto otorga flexibilidad para establecer límites de emisión menos estrictos en casos excepcionales donde los costos económicos superan significativamente los beneficios ambientales, siempre y cuando estas excepciones sean justificadas y documentadas en los términos de la autorización.

Para una implementación efectiva del decreto, es fundamental fortalecer la cooperación entre administraciones, especialmente en las comunidades autónomas donde la gestión ambiental es compartida. También se recomienda fomentar la adopción de MTD mediante incentivos económicos, de modo que las instalaciones puedan adaptarse rápidamente a técnicas más sostenibles. Es igualmente importante incrementar la sensibilización y capacitación sobre la normativa entre los operadores industriales, reduciendo así la incidencia de infracciones. Además, el establecimiento de un sistema de monitoreo continuo y transparente, con informes periódicos de acceso público, contribuirá a una mayor participación ciudadana y a la rendición de cuentas en materia ambiental.

El Real Decreto Legislativo 1/2016 no solo unifica la normativa en un marco regulador consolidado, sino que representa un avance significativo en la protección ambiental en España. No obstante, su éxito depende de una aplicación rigurosa y de la actualización continua de los parámetros de emisión y técnicas disponibles, adaptándose a los avances tecnológicos y a las necesidades emergentes en materia de protección ambiental [56].

1.2.3.7. Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados

Indica los procedimientos y requisitos para identificar y gestionar actividades potencialmente contaminantes del suelo en España, así como los criterios y estándares para declarar un suelo como contaminado. Esta normativa es fundamental para proteger el medio ambiente y la salud humana, abordando los riesgos derivados de la contaminación del suelo mediante la regulación de actividades que puedan generar impactos ambientales negativos.

El objetivo principal de este Real Decreto es definir un marco para la protección ambiental y sanitaria frente a la contaminación del suelo. Esto se logra a

través de la identificación de actividades potencialmente contaminantes y la regulación de los procedimientos de evaluación de terrenos. La normativa incluye un catálogo de actividades industriales, agrícolas, mineras y comerciales que, por sus características, pueden liberar sustancias peligrosas al suelo, como metales pesados y residuos industriales, afectando su calidad y representando un riesgo para el medio ambiente.

La declaración de un suelo como contaminado requiere una evaluación técnica detallada basada en criterios específicos, ya que no todos los suelos asociados a actividades potencialmente contaminantes están necesariamente afectados. Para ello, el decreto establece la necesidad de realizar análisis de suelos que determinen si las concentraciones de sustancias contaminantes exceden los niveles de referencia establecidos. Los parámetros de contaminación más comunes incluyen metales pesados, hidrocarburos y otros compuestos químicos peligrosos.

Los métodos de evaluación y declaración de suelos contaminados se articulan en varios pasos. Primero, se realiza una investigación preliminar para revisar el historial de uso del terreno y la posible existencia de fuentes de contaminación. Si el análisis inicial sugiere contaminación, se procede a una investigación complementaria que permita evaluar la naturaleza y el grado de la contaminación en el suelo. La declaración formal de un suelo como contaminado se emite mediante un informe técnico que confirma que los niveles de contaminación superan los umbrales establecidos.

Para los suelos declarados contaminados, el Real Decreto 9/2005 establece criterios de remediación, que tienen como finalidad reducir o eliminar los contaminantes hasta alcanzar niveles seguros para la salud humana y el medio ambiente. Estas tareas de remediación pueden implicar varias técnicas, como la excavación de tierra contaminada, bioremediación o tratamientos físico-químicos. El titular del terreno es responsable de llevar a cabo la limpieza y restauración del suelo contaminado, siguiendo especificaciones técnicas y en el plazo establecido por las autoridades.

En cuanto a su relación con otras normativas, el Real Decreto 9/2005 se alinea con la Directiva 2004/35/CE sobre responsabilidad ambiental, y se integra en el marco de la legislación española en materia de control de contaminación, como la Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

La aplicación práctica de esta normativa implica desafíos importantes, especialmente en lo que respecta al monitoreo y la evaluación de los suelos. Es necesario un sistema de monitoreo continuo en áreas industriales y agrícolas, así como evaluaciones periódicas para detectar cambios en la calidad del suelo y la aparición de nuevos focos de contaminación. La variabilidad de los contaminantes y la heterogeneidad de los suelos complican estas evaluaciones, y factores externos, como las condiciones climáticas, también pueden influir en la precisión de los análisis.

El Real Decreto 9/2005 establece un marco robusto para gestionar el riesgo de contaminación del suelo en España. A través de la identificación de actividades de riesgo y la regulación del proceso de evaluación y remediación de suelos contaminados, esta normativa garantiza que las actividades industriales, agrícolas o comerciales se realicen dentro de límites que protejan la salud pública y el medio ambiente. Su implementación efectiva requiere una coordinación entre autoridades, titulares de terrenos y técnicos especializados en evaluación y remediación, lo cual resulta esencial para la protección ambiental en el país [42].

1.2.3.8. Real Decreto 293/2018, de 18 de mayo, sobre reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores

El Real Decreto 293/2018, de 18 de mayo, establece medidas para reducir el consumo de bolsas de plástico en España, en concordancia con las directivas europeas que buscan minimizar el impacto ambiental de los plásticos, especialmente en ecosistemas marinos y terrestres. Este decreto promueve el uso responsable de bolsas, fomenta alternativas sostenibles y crea un registro de productores de bolsas de plástico para garantizar el cumplimiento de la normativa y facilitar el reciclaje y la reutilización.

El objetivo central de esta normativa es reducir el consumo de bolsas plásticas en España, en el marco de la Directiva (UE) 2015/720, que modifica la Directiva 94/62/CE sobre envases y residuos de envases, y cuyo propósito es minimizar el uso de bolsas de plástico ligeras. Los principales puntos y medidas del Real Decreto incluyen la definición y ámbito de aplicación, prohibiciones, objetivos de reducción, promoción de alternativas sostenibles, requisitos de etiquetado y medidas de sensibilización.

La norma establece que se considera "bolsa de plástico" a cualquier bolsa destinada a transportar productos o mercancías, fabricada principalmente de plástico. Incluye tanto las bolsas de un solo uso como las de mayor durabilidad, y aplica a productores, distribuidores y vendedores en el territorio español, tanto nacionales como importadores de bolsas.

El decreto prohíbe la entrega gratuita de bolsas plásticas, con excepción de las bolsas muy ligeras (menos de 15 micras) y las que se usan para envasar alimentos (como frutas y pan) en determinadas situaciones. Los establecimientos deben cobrar por las bolsas de plástico, independientemente de su grosor, con el fin de fomentar la reutilización y reducir el consumo.

Se fijan metas de reducción graduales en el uso de bolsas de plástico, con el objetivo de reducir la cantidad de bolsas distribuidas por persona y alcanzar los límites establecidos en la normativa europea. Las autoridades competentes deben monitorear y

evaluar el consumo de bolsas periódicamente para verificar el cumplimiento de estos objetivos.

Promueve el uso de alternativas más ecológicas a las bolsas de plástico, como las bolsas biodegradables, reciclables o reutilizables, las cuales deben cumplir con requisitos ambientales y de salud para minimizar su impacto contaminante.

Para supervisar a los productores y distribuidores de bolsas de plástico en España, el decreto establece un Registro de Productores de Bolsas de Plástico. Este registro permite llevar un control más estricto sobre la producción y comercialización de bolsas plásticas, facilitando el cumplimiento de los objetivos de reducción. Todos los productores, incluyendo importadores, deben inscribirse en este registro, proporcionando información sobre la cantidad de bolsas producidas o importadas.

La normativa determina que las bolsas de plástico deben incluir en su etiquetado información sobre su composición y posibilidad de reciclaje o reutilización, con el objetivo de fomentar la concienciación y promover prácticas de reciclaje y reutilización.

La importancia de campañas de sensibilización es subrayada en la normativa, orientando a las autoridades y a los productores para informar al público sobre los efectos negativos del uso excesivo de plástico. Estas campañas buscan crear conciencia sobre la necesidad de reducir el consumo de bolsas de plástico y promover hábitos de consumo más sostenibles.

Los comercios que distribuyen bolsas plásticas deben cumplir con una serie de obligaciones, tales como cobrar por las bolsas, informar a los consumidores sobre alternativas sostenibles y asegurar el cumplimiento de las normas de etiquetado y reciclaje.

El Real Decreto 293/2018 es un mecanismo de acción en la reducción del consumo de bolsas de plástico, promoviendo una disminución de la contaminación, especialmente en los océanos y ecosistemas terrestres. Además, impulsa el reciclaje y la reutilización de plásticos, alineándose con el modelo de economía circular que busca maximizar la vida útil de los materiales y reducir el desperdicio. Asimismo, se espera que genere un cambio en los hábitos de consumo, promoviendo el uso de bolsas reutilizables y materiales alternativos y fomentando principios de sostenibilidad en las decisiones de compra [57].

1.2.4. Normativa de Euskadi

1.2.4.1. DECRETO 49/2009, de 24 de febrero, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la ejecución de los rellenos

Establece el marco regulador en Euskadi para la gestión de residuos, específicamente en lo que se refiere a su eliminación en vertederos y la ejecución de rellenos. Este decreto se basa en los principios de la Ley 3/1998, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco, y se ajusta a las normativas nacionales y europeas, como el Real Decreto 1481/2001 y la Directiva 1999/31/CE. Su principal objetivo es garantizar que los residuos finales (aquellos sin alternativas de valorización) se eliminen de manera segura, minimizando su impacto en el medio ambiente y la salud pública.

El decreto regula los tipos de vertederos, los criterios de admisión de residuos y el control de las actividades de eliminación y relleno en la comunidad autónoma, siguiendo una jerarquía de residuos que prioriza la prevención, la minimización, la reutilización y la valorización antes de recurrir al depósito en vertedero. Esta normativa también busca cumplir con los objetivos establecidos en el II Programa Marco Ambiental del País Vasco (2007-2010), que promueve el consumo sostenible, la prevención de residuos y la correcta eliminación cuando esta sea la última opción.

El Decreto clasifica los vertederos en tres tipos, según la naturaleza de los residuos: vertederos para residuos peligrosos, para residuos no peligrosos y para residuos inertes. Cada categoría está sujeta a requisitos técnicos específicos y condiciones de admisión que se detallan en los anexos del decreto. Estos requisitos incluyen el control de lixiviados, la estabilidad del terreno y la distancia de áreas sensibles, así como la necesidad de que los vertederos se gestionen conforme a los planes de residuos a nivel estatal, autonómico y foral.

En cuanto a la creación, ampliación o modificación de vertederos, el decreto exige una autorización específica para aquellos que gestionan grandes cantidades de residuos (más de 10 toneladas diarias o con capacidad superior a 25.000 toneladas), que deberán obtener una autorización ambiental integrada, conforme a la Ley 16/2002 sobre prevención y control de la contaminación. Además, todas las instalaciones deben contar con un seguro de responsabilidad civil y una fianza que cubra los posibles daños al medio ambiente y los costos de cierre y mantenimiento post-clausura.

El decreto también establece estrictos criterios de admisión de residuos, permitiendo solo aquellos que no puedan ser valorizados técnica, económica o ambientalmente, y excluyendo materiales peligrosos como residuos explosivos, reactivos o infecciosos. Además, se requiere que los residuos destinados a vertedero

reciban un tratamiento previo, salvo aquellos técnicamente inviables o cuyo tratamiento no reduzca su peligrosidad.

Durante la operación y tras el cierre de los vertederos, el decreto impone procedimientos de control y vigilancia para prevenir la contaminación del suelo y los recursos hídricos. Esto incluye la realización de estudios hidrogeológicos en zonas vulnerables y la implementación de medidas correctoras cuando existan riesgos para el medio ambiente.

El decreto también regula los rellenos con tierra y rocas, diferenciando aquellos asociados a infraestructuras lineales, como carreteras, que dependen del departamento ambiental del gobierno autónomo o de las diputaciones forales, de los rellenos que están bajo la competencia de las autoridades municipales.

Las empresas responsables de los vertederos deben garantizar el cumplimiento de los requisitos de operación y seguridad, así como la formación adecuada del personal encargado de la gestión. En caso de incumplimiento, el decreto prevé sanciones administrativas, que incluyen multas y la revocación de permisos. Las autoridades también tienen la capacidad de suspender las operaciones de vertederos que no cumplan con las normativas para evitar riesgos ambientales o para la salud pública.

El Decreto 49/2009 representa un paso importante en la gestión ambiental en Euskadi, promoviendo prácticas responsables y sostenibles en la gestión de residuos. Su implementación efectiva requiere la colaboración de las autoridades, los operadores de vertederos y la comunidad para garantizar que se cumplan los estándares de seguridad y sostenibilidad, contribuyendo a la protección del medio ambiente y la salud pública. Así, el decreto se alinea con los esfuerzos de Euskadi por reducir la dependencia de vertederos y fomentar una gestión de residuos más segura y sostenible, en consonancia con los objetivos de la economía circular en la región [41].

1.2.4.2. DECRETO 63/2019, de 9 de abril, por el que se establece el régimen jurídico y las condiciones técnicas de las instalaciones y actividades de compostaje comunitario

El Decreto promueve prácticas sostenibles de gestión de residuos, específicamente de biorresiduos. Esta normativa busca reducir la generación de residuos y fomentar la economía circular, alineándose con las directrices de la Directiva 2008/98/CE sobre residuos y la Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

El objetivo del decreto es regular las actividades de compostaje comunitario para proteger el medio ambiente y la salud de las personas. Su alcance incluye

instalaciones públicas y privadas de compostaje de biorresiduos de origen doméstico, excluyendo aquellas que requieren autorización de gestión de residuos, siempre que cumplan con los requisitos específicos de la normativa.

Para definir los materiales permitidos, el decreto introduce conceptos clave como “biorresiduo” (residuos biodegradables provenientes de jardines, parques, cocinas y servicios de restauración), “compost” (enmienda orgánica resultante del compostaje) y “compostaje comunitario” (proceso en el que varias personas compostan sus biorresiduos en un espacio común). Solo se admite el compostaje de residuos clasificados con códigos LER, como papel de cocina y residuos biodegradables de cocinas y restaurantes, asegurando un manejo seguro y adecuado de materiales compostables.

En cuanto al proceso de compostaje, el decreto establece parámetros técnicos estrictos, como la higienización del compost, que requiere mantener temperaturas superiores a 55°C durante al menos 14 días consecutivos para eliminar patógenos y garantizar la seguridad ambiental. Los operadores deben realizar controles regulares para asegurar la ausencia de contaminantes, como Salmonella y niveles seguros de Escherichia coli, verificando el proceso mediante análisis de lotes.

El decreto también establece los requisitos para la ubicación y tamaño de las instalaciones. Estas deben situarse conforme a la normativa municipal, respetando zonas de dominio público y servidumbres legales para minimizar las molestias a la comunidad. Además, el tamaño de las instalaciones está limitado a un volumen máximo de diez metros cúbicos, lo cual facilita el control y previene el almacenamiento excesivo de biorresiduos que puedan afectar negativamente al entorno.

En cuanto a las obligaciones de los responsables, la normativa requiere designar un titular y un responsable técnico para cada instalación. El titular debe asegurar el control adecuado del proceso y notificar cualquier incidente a las autoridades locales, mientras que el responsable técnico debe llevar un registro cronológico de las actividades y resultados de los controles de temperatura y patógenos, los cuales deben mantenerse disponibles para las autoridades durante al menos tres años.

El decreto asigna a los ayuntamientos la responsabilidad de garantizar que los usuarios reciban la formación necesaria para llevar a cabo el compostaje de forma adecuada y conforme a la normativa. Esta disposición busca fomentar un manejo seguro del compostaje y promover una cultura de responsabilidad ambiental entre los participantes.

Respecto al almacenamiento y uso del compost, el decreto permite que el compost producido se almacene en el sitio, siempre que sus propiedades no se vean alteradas. Su uso se restringe exclusivamente a los usuarios de las instalaciones y para

finos no relacionados con la cadena alimentaria. Los ayuntamientos también pueden usar este compost cumpliendo con las restricciones establecidas.

Para asegurar el control, el decreto exige que los ayuntamientos lleven un registro de todas las instalaciones de compostaje comunitario, incluyendo la identidad de los titulares, responsables técnicos y usuarios, así como la ubicación y capacidad de cada instalación. En caso de incumplimiento, se establece un régimen sancionador conforme a la Ley 3/1998 de Protección del Medio Ambiente del País Vasco y la Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, que contempla sanciones en función de la gravedad de las infracciones.

En sus disposiciones adicionales, el decreto permite el compostaje en centros educativos siempre que se cumplan condiciones sanitarias y de seguridad, y otorga un plazo transitorio de tres años para que las instalaciones existentes se adapten a la nueva normativa. También faculta al departamento de medio ambiente para dictar disposiciones técnicas adicionales para desarrollar la normativa.

El Decreto 63/2019 es un avance importante en la regulación del compostaje comunitario en el País Vasco, promoviendo la minimización de residuos mediante la participación ciudadana en la gestión de biorresiduos. Sin embargo, su implementación plantea desafíos como la infraestructura adecuada, la capacitación continua de los usuarios y la vigilancia de los ayuntamientos para asegurar el cumplimiento de la normativa. Este decreto constituye una pieza clave en la transición hacia una economía circular y una gestión de residuos más sostenible en la región [40].

1.3. EL SUELO

El suelo es una cubierta delgada sobre la tierra que consiste en una mezcla de minerales, material orgánico, organismos vivos, aire y agua, que soporta el crecimiento de la vida y las plantas.

Las proporciones de los componentes del suelo varían según los diferentes tipos, un buen suelo presenta comúnmente 45% de minerales, 25% de aire, 25% de agua y 5% de materia orgánica. Esta combinación suministra un buen drenaje, aireación y nutrientes [16].

Existen tres elementos presentes en el suelo que son el nitrógeno, el fósforo y el potasio, que a menudo se llaman nutrientes vegetales primarios porque la planta los consume en cantidades relativamente grandes y son los que a menudo están deficientes. Otros tres como son el calcio, el magnesio y el azufre, también se consumen en

cantidades bastante grandes, pero por lo general no son deficientes en los suelos. A menudo se les llama nutrientes vegetales secundarios.

Los micronutrientes son minerales que las plantas necesitan en cantidades muy pequeñas y es menos probable que sean deficientes en los suelos.

El carbono, el hidrógeno y el oxígeno se obtienen a partir del dióxido de carbono y del agua por medio de la fotosíntesis, se convierten en carbohidratos simples y con el nitrógeno, fósforo y azufre, forman aminoácidos, proteínas y protoplasma.

La conversión del terreno a tierras de plantaciones, cultivo, pastoreo, urbano e industrial ha producido cambios importantes en los suelos. Cada porción de tierra tiene cualidades específicas basadas en su ubicación y conformación física, algunos terrenos son valiosos para las especies únicas que habitan en ellos [79].

Dado que el suelo y lo que soporta (vegetación, elevación, cuencas acuíferas, fauna, etc.), con la velocidad de explotación a que son sometidos actualmente, no pueden recuperarse. Si se abusa del suelo a tal grado que ya no pueda sostener la vegetación, se expone a erosión. Intervienen en la erosión el viento y las precipitaciones, siendo la región de Valparaíso una de las más afectadas a nivel nacional de las seis categorías para evaluar la erosión (muy severa, severa, moderada, ligera, no aparente y sin erosión), la región de Valparaíso presenta un 38,1% de erosión muy severa o severa [73].

Los suelos arcillosos característicos de los cerros de Valparaíso, por el particulado fino y pequeño grado de porosidad, no permite que las aguas se infiltren, aumentando la escorrentía superficial, erosionando, pero sin embargo, tiene mayor retención de agua y cohesión, disminuyendo el arrastre.

En los bosques se desarrollan característicamente los horizontes o capas orgánicas superficiales del suelo como consecuencia de la presencia de hojarasca y su descomposición. La juventud o inmadurez de los suelos cubiertos de bosques en fuertes pendientes, se debe especialmente a que ellos se encuentran en constante rejuvenecimiento debido a la remoción del material intemperizado causado por erosión.

Naturalmente, los suelos desarrollados en topografía de cerros con pendientes más o menos fuertes como la comuna de Valparaíso tienden a ser suelos más delgados que aquellos desarrollados en planos o en topografía ondulada, porque los primeros favorecen la erosión. Por otro lado, si debido a la erosión de las laderas o continuas inundaciones, se produce una constante deposición de materiales a los pies de los cerros o fondos de valles, los suelos que ahí se desarrollen serán muy profundos, pero tampoco pueden adquirir un desarrollo completo y llegar a su madurez.

La vegetación en general y el bosque en particular, son tremendamente efectivos en la prevención de la erosión eólica. En áreas donde la erosión por viento es

un peligro, es preferible mantener la vegetación, porque cualquier destrucción o raleo de la vegetación en algún punto, puede permitir la acción del viento en esa parte. El viento penetra en aquellas áreas abiertas, descubriendo las raíces y termina por provocar la muerte de las plantas, aumentando la zona que puede ser erosionada, quedando susceptible a derrumbes [18].

1.3.1. Prácticas de conservación de suelo

Las prácticas de conservación de suelos son aquellas actividades que se ejecutan para evitar la pérdida de los suelos por causa de la erosión. Se agrupan de acuerdo a tres principios fundamentales, que son la de crear la cobertura vegetal, mejorar la infiltración de agua y evitar que escurra sobre la superficie [68].

Crear cobertura vegetal plantando suculentas que se desarrollan incluso sin riego, ya que aprovechan la neblina costera para absorber agua. Reforestar con hierbas, arbustos y árboles nativos como especies del bosque esclerófilo característico de la zona y que se encuentra escasamente.

Cualquier práctica que enriquezca el suelo con materia orgánica, ayuda a disminuir los riesgos de erosión, mejorando la penetración del agua. Construir zanjas de infiltración y curvas de nivel al plantar.

Al favorecer la penetración del agua se aumentan también sus reservas, asegurando aprovechamiento para la vegetación. Aunque en algunos casos particulares no es recomendable incrementar la infiltración de agua porque podría causar deslizamientos masivos del suelo [16].

1.3.2. pH

Dentro de las propiedades químicas del suelo, el pH en general, puede tener tres tipos de reacciones; acidez, neutralidad y alcalinidad. La mayor parte de los efectos se relacionan con la nutrición mineral y específicamente con la disponibilidad de nutrientes para las plantas .

Los valores de pH de los suelos, en general, varían entre 3 y 10, pero la mayor parte de los suelos boscosos está en una escala de pH entre los 3.5 a 6.5 aproximadamente.

Los suelos ofrecen cierta resistencia a cambiar el pH, esta reacción se conoce como amortiguación, previniendo fluctuaciones de pH, favoreciendo a las plantas [31].

1.3.3. Acidez del suelo

La acidez del suelo es producida por exceso de cationes de H^+ y de Al^+ . Se forman en el suelo debido a condiciones que promueven su formación como el tipo de material parental. Las rocas ígneas de colores claros producen suelos que tienden a ser ácidos después de la intemperización y están formados por óxidos de Si, Na y K especialmente. El agua al reaccionar con CO_2 produce H_2CO_3 . Ácidos orgánicos e inorgánicos se producen como resultado del metabolismo del suelo. El H_2CO_3 y el ácido orgánico $HCOOH$, se forman a través de la respiración de las raíces y de la descomposición de la materia orgánica [18].

Ciertas especies producen hojarasca o mantillo que forman gran cantidad de ácidos cuando se descomponen. Destacan entre estas especies las coníferas, en especial las pináceas, plantas de la familia ericáceas y los musgos *Sphagnum* entre otros.

Los tipos de vegetación que crecen sobre un suelo tienen la probabilidad de tener una influencia notable sobre la acidez del suelo. Los suelos que sostienen a las coníferas tienden a ser más ácidos que aquellos con especies de árboles de madera dura, en parte debido a que las hojas de las coníferas y su litter tienden a tener un menor contenido de bases. Esta asociación no siempre es evidente ni siempre es clara la relación de causa a efecto.

Debido a que las especies se diferencian en cuanto a su tolerancia hacia la acidez del suelo, las condiciones de éste pueden influir en la constitución de las comunidades vegetales.

Muchos de los efectos directos visibles de la acidez del suelo sobre el crecimiento de los árboles pueden ser el resultado de los efectos indirectos sobre las condiciones del suelo tales como la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes.

La disponibilidad de micronutrientes como son el boro, el cobre, el manganeso y el hierro, aumenta de manera general cuando la acidez del suelo aumenta. En los suelos donde las reservas de estos nutrientes son normalmente bajas, una reducción significativa en la acidez del suelo puede dar como resultado la deficiencia de uno o más de estos nutrientes esenciales.

Los hongos son activos en una amplia escala de condiciones de acidez, pero no compiten tan bien como otros organismos del suelo en un medio de acidez por encima de pH 6. Las bacterias son menos tolerantes a las condiciones de acidez que los hongos [75].

Por otra parte se puede señalar que los suelos de regiones húmedas dominados por arcillas silíceas y humus son ácidos si los porcentajes de saturación de bases son

inferiores a 80% y cuando los mismos suelos tienen porcentajes de más de 80% son neutros o alcalinos.

Los suelos de regiones lluviosas tenderán a ser ácidos, en tanto que los de regiones áridas tenderán a ser básicos, la lixiviación de las bases del suelo promueve la acidez. Las regiones de bosques coinciden normalmente con suelos ácidos en diferentes grados. Las praderas son propias generalmente de suelos más básicos que aquellos de bosques.

En general, el pH depende de varios factores, sin embargo, existen numerosas excepciones a estas reglas generales.

1.3.4. Importancia ecológica del pH

De acuerdo con la teoría el pH por sí mismo no es responsable por los daños que se pueden producir en las plantas, y por la calidad del crecimiento que puedan presentar los árboles.

Se ha comprobado que las plantas pueden ser dañadas directamente por el pH solo cuando la solución suelo o la solución nutriente son extremadamente ácidas o extremadamente alcalinas [16].

Por otro lado, los efectos indirectos del pH sobre los árboles son de gran importancia. La mayor parte de esos efectos se relacionan con la nutrición mineral y, específicamente, con la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Los efectos indirectos de la acidez extrema sobre las plantas podrían ser; dificultad para la absorción de Ca y Mg, cuya disponibilidad disminuye desde pH 7 hacia abajo, las altas concentraciones de H^+ producen cambios en abundancia y actividad de microorganismos, bacterias y lombrices son reemplazadas por hongos, aumentando la susceptibilidad de raíces al ataque de estos [18].

1.3.5. Humedad en el suelo y su influencia en la vegetación

El agua constituye la mayor parte de la solución y de la fase líquida del suelo; contiene sales en solución, sólidos orgánicos en suspensión y es afectada por los coloides del suelo; en consecuencia, las propiedades del agua del suelo son diferentes de las del agua pura. Aun dentro del suelo, las propiedades varían entre la fracción en contacto con los coloides y sólidos del suelo.

Tanto el contenido de humedad del suelo como la concentración y calidad de sales en solución varían continuamente en el perfil y en un punto dado, a través del tiempo.

La evaporación del agua del suelo reduce la humedad de éste y aumenta la concentración salina, especialmente en la capa superficial, al existir un menor lavado de sales que precipitan. La lluvia y el riego aumentan el contenido de humedad y redistribuyen las sales en el perfil del suelo; en ocasiones, alcanzan a depositarlas debajo de la zona de las raíces.

La cantidad de agua o solución que un suelo puede retener depende de las propiedades individuales de éste, especialmente del área superficial de sus partículas, del volumen y distribución de tamaño de poros.

La humedad afecta al suelo en relación a su intensidad, duración y frecuencia; causa un incremento en la infiltración y la escorrentía, afectando así la formación de éste. Un aumento en la humedad implica: mayor cantidad de materia orgánica y nitrógeno, menor concentración de sales, mayor o menor profundidad del horizonte de carbonato de calcio (si existe), mayor concentración de cuarzo, reducción de la CIC por presencia de arcillas caoliníticas, mayor acidez y cantidad de arcillas.

La capacidad de retención de humedad de los suelos está íntimamente relacionada con la porosidad y con el diámetro de los poros; éstos, a su vez, dependen de la textura, del contenido de materia orgánica y de otras características del suelo.

La humedad del suelo desempeña numerosas funciones en beneficio de las plantas; entre ellas destacan: toman el agua por las raíces, utilizándose en funciones relacionadas con el crecimiento y floración. El exceso o la deficiencia de agua en el suelo puede afectar adversamente a las plantas; reduciendo drásticamente la aireación; la deficiencia detiene el crecimiento, produce caída de flores, frutos y hojas, incluso la muerte de la planta. La solución del suelo es el medio de donde las plantas toman los nutrientes; es fuente de reserva. El agua aumenta la plasticidad del suelo y reduce su resistencia a la penetración de las raíces y al crecimiento de órganos vegetales subterráneos. Facilita la descomposición de los residuos orgánicos y la liberación de nutrientes vegetales. Además es un agente amortiguador de los cambios de temperatura, por lo que ayuda a tener un ambiente más estable para el desarrollo de las plantas [16].

1.3.6. Minerales del suelo

La fracción mineral determina fuertemente muchas de las propiedades físicas y químicas de los suelos. Las partículas minerales se derivan del intemperismo de las rocas existentes sobre la superficie de la tierra, las cuales pueden ser, según su origen, ígneas, metamórficas, o sedimentarias.

Las rocas son masas naturales constituidas por varios minerales, rara vez por uno solo. Por ejemplo el granito, roca Ígnea, está compuesto principalmente por cuarzo,

feldespatos, mica y hornablenda; la caliza, roca sedimentaria, contiene calcita y dolomita; el gneis, roca metamórfica, contiene cuarzo, feldespatos y mica.

Además, están presente óxidos no combinados y sales. En todos los minerales importantes del suelo predomina el elemento oxígeno, el cual se encuentra distribuido alrededor de diferentes cationes, determinando así la forma y el tamaño de las estructuras de los minerales [79].

1.3.7. Materia orgánica

Las mejores condiciones físicas, químicas y biológicas para los cultivos, se encuentran preferentemente en suelos con alto contenido de materia orgánica.

La materia orgánica procede directa o indirectamente de hierbas, arbustos y árboles, en pequeña proporción, de otros organismos (algas y bacterias) capaces de sintetizar productos orgánicos a partir de elementos inorgánicos y compuestos simples.

Los materiales orgánicos que sintetizan las plantas se consumen por una gran variedad de seres vivos quienes los degradan parcialmente o los transforman en nuevos compuestos orgánicos dentro de la cadena alimenticia y finalmente los depositan como restos vegetales y animales en el suelo en donde los microorganismos y otras reacciones químicas los transforman a compuestos más simples, de menor energía.

De acuerdo con su estado de descomposición, la materia orgánica suele clasificarse en tres categorías: seres vivos, hojarasca y humus; en la práctica los límites entre estas categorías no son diferenciados con claridad, porque esta clasificación puede catalogarse como conceptual [79].

1.3.8. Microbiología del suelo

El suelo es un ecosistema complejo que alberga una vasta diversidad de microorganismos con funciones esenciales para su salud y productividad. Las propiedades físicas (como la textura y estructura), químicas (pH, nutrientes disponibles y materia orgánica) y biológicas (como la presencia de plantas) del suelo influyen significativamente en el desarrollo de la microbiota edáfica [10]. Gracias a la naturaleza heterogénea del suelo, es común encontrar diferentes tipos fisiológicos de microorganismos en proximidad, formando comunidades que contribuyen a los ciclos biogeoquímicos, esenciales para la fertilidad del suelo y el reciclaje de elementos como el carbono, nitrógeno y fósforo [75].

Entre estos microorganismos se encuentran los coliformes fecales, bacterias presentes en el sistema digestivo de animales de sangre caliente, incluidos los humanos.

Estos microorganismos son bacilos gramnegativos, no esporulados, y aerobios o anaerobios facultativos. Una característica relevante es su capacidad de fermentar lactosa, produciendo gas en 48 horas a temperaturas de entre 35°C y 37 °C. Son, además, termotolerantes, soportando temperaturas de hasta 44°C-46°C.

La presencia de coliformes fecales en el suelo o en el agua es un indicador de contaminación fecal, ya que estos organismos provienen de residuos de origen animal y humano. Debido a su comportamiento similar al de patógenos en sistemas de desinfección, los coliformes fecales y, en especial, *Escherichia coli*, son empleados como microorganismos indicadores. Estos indicadores permiten detectar y cuantificar de manera rápida y económica la contaminación fecal en ambientes naturales, asegurando así la calidad microbiológica del suelo y del agua [71].

En el contexto agrícola y frente al cambio climático, los microorganismos del suelo también presentan usos potenciales significativos. Según investigaciones actuales, los microorganismos pueden ser empleados para mejorar la resiliencia de los cultivos, aumentando su tolerancia al estrés hídrico y a temperaturas extremas. Algunos microorganismos específicos, como los hongos micorrízicos arbusculares y bacterias promotoras del crecimiento vegetal, facilitan la absorción de nutrientes, promueven el crecimiento y pueden mejorar la retención de agua en el suelo. Estos avances destacan la importancia de conservar y potenciar la microbiota del suelo como un recurso valioso en la agricultura sostenible y en la mitigación de los efectos del cambio climático sobre la productividad agrícola [68].

1.3.9. Compostaje

El compostaje es muy antiguo y sus principios básicos han sido apreciados y usados a lo largo de los siglos aunque con distinta intensidad según la situación de la época. Ha vuelto a recuperarse debido al crecimiento de la generación de residuos, problemas de suelos pobres en materia orgánica y falta de espacios para ubicar vertederos, entre otros.

El compostaje es un proceso dinámico, biológico, aerobio y en consecuencia termófilo, necesita materia orgánica, población microbiana inicial y las condiciones óptimas para que se desarrolle con multiplicidad de funciones y actividades sinérgicas, para ello y para que la población microbiana sea lo más variada posible debe mantenerse una serie de equilibrios: aire, agua, y nutrientes en la mezcla inicial y dar las condiciones físico-químicas necesarias a la matriz que se va a someter al compostaje.

Del latín componere significa juntar. El compost puede ser considerado como la agrupación de un conjunto de restos orgánicos que a través de un proceso de

fermentación, origina un producto inodoro y con alto contenido de humus. El compostaje es un proceso biológico termófilo en donde la materia orgánica es descompuesta por una gran cantidad de microorganismos. bacterias, hongos, protozoos, ácaros, miriápodos, entre otros organismos aeróbicos, digieren los compuestos orgánicos transformándolos en otros más simples [68].

1.3.10. Vermicompostaje

Es una técnica de transformación de la materia orgánica en vermicompost a través de lombrices. La lombriz, bacterias y hongos degradan completamente la materia orgánica para transformarla en humus, ciclo que dura aproximadamente un año.

El vermicompostaje acelera la descomposición y humificación de la materia orgánica, proceso que ocurre de forma directa a través de la alimentación del lecho con restos de materia orgánica [26]. En el anexo D diagrama D-5 se muestra el diagrama de flujo proceso de vermicompostaje.

1.3.10.1. Características del humus

Cuando la cosecha del lecho es prematura, se obtiene vermicompost, que todavía no es humus, el tiempo de cosecha del vermicompost varía según el manejo de la técnica y los factores ambientales, siendo de 45 a 180 días.

El humus es uno de los fertilizantes naturales de más alta calidad y nutritivos debido a su efecto en la mejora del suelo, promoviendo el crecimiento y un mayor rendimiento de los cultivos, aporta una combinación equilibrada de nutrientes para las plantas, mejora la estructura del suelo y, por tanto, el movimiento del agua y aire, estimulando el desarrollo de las raíces. Disminuye la compactación del suelo y reduce la erosión externa e interna del mismo.

Acelera la regeneración de los suelos infértiles y lixiviados (por acción de cultivos permanentes, pesticidas, fertilizantes sintéticos, etc.), minimiza y previene plagas de las plantas (hongos fitopatógenos, pulgones) y patógenos del suelo. Además incrementa la temperatura y estabiliza el pH [26].

1.3.10.2. Ventajas y desventajas del humus

Alto contenido de auxinas y hormonas vegetales que influyen de manera positiva en el crecimiento de las plantas, no se pierde el nitrógeno por la descomposición, el fósforo es asimilable. El pH es estable entre 6,5 y 7,5.

Las condiciones ambientales deben ser compatibles con el hábitat de las lombrices y controlado esporádicamente. Se pueden presentar malos olores si no hay buena aireación. Por otra parte, atrae la anidación de roedores y otros vectores como pájaros e insectos, además de perros y gatos domésticos [26].

1.3.10.3. Importancia ecológica del humus

Aumenta la capacidad de retención de los suelos, mejora la estructura, porosidad y la infiltración, previniendo la erosión, aumenta la aireación del suelo, disminuye la conductividad térmica, haciéndolo más resistente a los cambios bruscos de temperatura [68].

1.3.10.4. Lombriz roja californiana

La lombriz, conocida comercialmente como californiana debido a los primeros criaderos en California, cuenta con aproximadamente 8.000 especies, de las cuales 2.500 han sido clasificadas y algunas domesticadas, como *Eisenia foetida*, la más común en Chile. Esta especie destaca por ser prolífica, con altas tasas de reproducción; voraz, ya que consume gran variedad de materia orgánica; pequeña, lo que aumenta la producción de humus; y resistente al estrés, mantiene sus hábitos de alimentación y reproducción incluso en ambientes artificiales. Su cuerpo es cilíndrico y alargado en terminaciones de punta, extremos romos. Presenta un ensanchamiento llamado clitelo, entre el anillo 32 y 37, que cumple funciones importantes en la reproducción. Ver anexo A figura A-3.

La boca está en el primer somito con un lóbulo carnoso que sobresale delante de ella y que se llama prostomio. Este se ve fácilmente cuando está en movimiento y parece un espolón, utilizándolo al avanzar en el alimento. En la boca no tiene dientes ni mandíbulas, por lo tanto no muele el alimento, que debe ser pastoso y húmedo para ser succionado. El ano es oval y vertical, se encuentra en el último somito.

El sistema digestivo está formado por la boca y una corta cavidad bucal (anillos del 1 al 3); la faringe (anillos 4 y 5), con glándulas que lubrican el alimento y fibras musculares externas; el esófago (anillos del 6 al 14) recto y alargado, en el cual desembocan, a cada lado, tres pares de glándulas calcíferas llamadas glándulas de Morren; un buche ancho de paredes delgadas (anillos 15 y 16) para el almacenamiento; una molleja (anillos 17 y 18) con firmes paredes musculares, tapizadas en su interior por una cutícula; el intestino y finalmente el ano.

La ingestión se produce por acción muscular de la faringe que actúa como una bomba succionadora, mientras el alimento se humedece.

En la parte del esófago los ácidos orgánicos son neutralizados por el carbonato cálcico secretado por las glándulas de Morren, por lo que el alimento digerido es alcalino.

El sistema nervioso se constituye por un par de ganglios suprafaríngeos (sobre la faringe, somito 3º) que forman un cerebro, este se conecta con un cordón nervioso ventral desde donde salen derivaciones a las células nerviosas que aparecen en cada somito y que reciben los impulsos de las glándulas sensoriales ubicadas en la epidermis. Estos impulsos le permiten percibir sensaciones como el tacto, humedad, temperatura y luz que generan reacciones del sistema muscular modificando su comportamiento.

El sistema muscular tiene una capa más externa, que está bajo la epidermis y por una capa que envuelve el tubo digestivo. Exteriormente su musculatura está formada por una doble capa de tejido delgado, que es circular y la otra más robusta y longitudinal.

La capa que cubre el tubo digestivo también se encuentra dispuesta en una musculatura longitudinal y la otra vertical.

Los músculos circulares de la pared de su cuerpo se contraen y comprimen el líquido celomático interior, lo que produce un alargamiento general de la lombriz. Cuando se relajan los músculos se contraen los longitudinales, la lombriz se acorta. Tiene cinco corazones y un sistema en circuito cerrado formado por dos vasos longitudinales, uno ventral y otro dorsal.

A estos dos vasos longitudinales van conectados otros vasos que hacen llegar a los órganos las sustancias nutritivas y drenar los desechos. Sangre roja.

Son hermafroditas, pero son incapaces de auto fecundarse debido a un mecanismo fisiológico llamado pretendía y quiere decir en latín que las células masculinas maduran antes que las femeninas. Por lo anterior debe ocurrir copulación para la fecundación.

Presentan un sistema nervioso complejo, estructurado por un cerebro ganglionar, el que organiza y estimula múltiples reacciones físico-químicas que provocan efectos conductuales, individuales y colectivos, como la reacción a la luz, reunión para el apareamiento y reproducción.

Eisenia foetida es capaz de tolerar una alta densidad poblacional (hasta 40.000 individuos por m²), por su elevada conducta reproductiva, incluso domesticadas. Tolerante a vivir aglomerada, en el espacio alimentario, sin definir territorios parentales. Los rangos de humedad donde se desarrolla la lombriz se encuentran entre el 70% - 95% y el óptimo entre 80%- 90%.

La temperatura ideal de crecimiento es de 15°C a 20°C, aunque se mantiene en normal desarrollo entre los 4°C y los 35°C.

El pH óptimo se encuentra entre 5 y 9, aunque para *Eisenia foetida* es cercano a la neutralidad.

Respecto a la aireación, este parámetro depende de las condiciones físicas del medio, pero las lombrices tienden a formar pequeños poros a través de su desplazamiento y perforación aireando el sistema.

La lombriz no tolera el contacto directo con los rayos ultravioleta que provienen del sol, ya que son fotosensibles, se debe cuidar mantener el sistema oscuro.

En general la lombriz degrada todo tipo de residuos orgánicos previamente fermentados, aunque generalmente no prefiere aquellos restos más ácidos como de cítricos y cebollas, además de las cáscaras de huevo. También consume papel como cartón, periódico y cajas de huevos, pero es mejor desecharlas picadas.

Por otra parte, le cuesta digerir restos de poda del jardín al ser muy leñosos. Nunca ataca desechos no biodegradables.

El proceso en que las lombrices transforman los residuos tiene lugar en el tracto gastrointestinal y comienza cuando la lombriz come los desechos por la boca, la cual es un orificio con una cavidad. Los alimentos primero son humedecidos y previamente digeridos con un líquido parecido a la secreción del páncreas humano, luego el alimento es aspirado por la faringe, gracias a la poderosa contracción de sus franjas musculares haciendo el efecto de una bomba succionadora; a continuación pasa al esófago, el que posee glándulas calcíferas encargadas de neutralizar la acidez de la materia vegetal; el papo empuja el alimento hacia la molleja, donde es molido con poderosas contracciones; finalmente pasa al intestino [26].

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

2.1. APLICACIONES RELACIONADAS

En 2017, el VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos presentó la metodología Aplicación de Indicadores para Evaluación y Control de Servicios de Gestión de Residuos en Municipios del País Vasco. Este estudio utilizó 165 indicadores para evaluar y mejorar los sistemas de Gestión de Residuos Municipales (GRM) en cuatro áreas clave: marco legal e institucional, economía y financiación, aspectos sociales y gestión de residuos. La metodología se aplicó a diversos municipios y mancomunidades del País Vasco, proporcionando una visión integral.

Los resultados revelaron fortalezas y áreas de mejora. Aunque la mayoría de los municipios valoran positivamente la legislación y los planes de gestión, el cumplimiento normativo es parcial en algunos casos, y la falta de auditorías y certificaciones limita una evaluación completa. En el aspecto financiero, aunque todos los municipios disponen de presupuestos específicos, los costos varían considerablemente, siendo mayores en sistemas avanzados como el Puerta a Puerta (PaP), aunque algunos logran recuperar casi todos los costos.

Desde un punto de vista social, se identificaron sistemas de quejas, sugerencias y educación ambiental, aunque la participación ciudadana y la transparencia informativa aún son insuficientes en algunos casos en esa fecha. En cuanto a la prevención, aunque todos los municipios incluyen medidas de reducción y reutilización, pocos han logrado reducir significativamente la generación de residuos. El sistema PaP se destaca por su mejor control en la separación de residuos, aunque su seguimiento post-recolección presenta desafíos sobre datos reales respecto al volumen de envases que salen al mercado y que realmente se recicla, como de la fracción envases.

El estudio concluyó que, si bien los sistemas de GRM en el País Vasco son sólidos, existen oportunidades de mejora, especialmente en la optimización de la recolección, el fortalecimiento de la participación ciudadana y la eficiencia en la reducción y reutilización de residuos. Este enfoque metodológico tiene potencial para ser replicado en otros contextos, enriqueciendo las buenas prácticas en la gestión de residuos [24].

2.1.1 Origen y descripción del modelo puerta a puerta

El modelo de recogida puerta a puerta PaP en España tiene sus raíces en Cataluña, inspirado por la experiencia de Lombardía, Italia, en la década de 1990. Este sistema comenzó en áreas rurales de baja densidad poblacional y fue diseñado para adaptarse a contextos urbanos más grandes, como Milán, que lo implementó exitosamente en 2013 para más de 1,2 millones de habitantes [22].

En España, el modelo se introdujo en municipios catalanes como Tiana, Tona y Riudecanyes a principios de los años 2000 y luego se extendió a Baleares, donde actualmente 29 municipios lo emplean. En el País Vasco, Usurbil adoptó este sistema en 2009, seguido por otros 27 municipios. Sin embargo, algunas localidades regresaron al sistema de contenedores debido a controversias [67].

El sistema PaP implica la recogida de residuos separados en origen, en horarios y puntos establecidos, optimizando la calidad y cantidad de residuos reciclados. Además, permite identificar al generador, facilitando sistemas de pago por generación y asegurando una separación rigurosa, especialmente de la fracción orgánica. Este modelo exige una comunicación clara con la ciudadanía y un cambio cultural hacia prácticas más sostenibles [7].

2.1.2. Sistema puerta a puerta de recogida de residuos de Usurbil, Euskadi

El sistema de recogida PaP implementado en Usurbil se alinea con los principios de la economía circular y se presenta como un modelo de referencia en la gestión de residuos. Su objetivo principal es reducir la generación de residuos y maximizar la valorización de materiales. Este sistema se basa en la separación de residuos en origen, clasificándolos en cinco fracciones principales: materia orgánica (marrón), envases ligeros (amarillo), papel y cartón (azul), vidrio (verde) y rechazo (gris), siendo esta última destinada a materiales que actualmente no pueden ser reciclados, ver folleto descargable en anexo A figura A-4 y los colgadores del cubo de basura del sistema PaP de Hernani en la figura A-5, que son similares a los de Usurbil.

La recolección se organiza en días específicos y se adapta a diversos espacios como soportales, bares, restaurantes, comercios y sociedades. Una de sus características distintivas es la eliminación de todos los contenedores de la vía pública, excepto los iglúes verdes para el vidrio y los de ropa, calzado, entre otros, que pertenecen a Kooperera, se pueden ver en anexo A figura A-6 [4].

Usurbil ha complementado el sistema con incentivos para el compostaje doméstico y comunitario, otorgando descuentos del 40% en la tasa de residuos para

quienes participan. La implementación del PaP incluyó campañas informativas, consulta ciudadana y la participación activa de grupos locales, garantizando un diseño que prioriza la prevención y el reciclaje, dejando la incineración como última alternativa. Según un análisis de ciclo de vida (ACV), la separación en origen es más efectiva que la incineración para mitigar el cambio climático, lo que ha llevado a Usurbil a alcanzar tasas de reciclaje del 86% en 2023, destacándose por encima del promedio estatal [4].

La gestión de residuos orgánicos también ha sido un punto fuerte, logrando que el 80% de estos sean correctamente gestionados. Aunque el sistema implica costos operativos elevados, estos se compensan con ingresos por reciclaje y ahorros en el tratamiento de residuos. Su éxito radica en factores como la adaptación local, la participación ciudadana y un balance adecuado entre costos e ingresos [36].

Desde una perspectiva ética, el PaP fomenta valores de sostenibilidad y refuerza la corresponsabilidad ambiental al involucrar activamente a la ciudadanía [8]. Sin embargo, requiere campañas educativas intensivas y ajustes según las características locales. A pesar de desafíos como la resistencia al cambio y la dependencia de los horarios de recogida, el modelo promueve la creación de empleo y una gobernanza democrática, consolidándose como un motor de cambio hacia prácticas más sostenibles.

En comparación con sistemas tradicionales, el PaP no solo optimiza la gestión de residuos, sino que también impulsa un cambio cultural hacia la sostenibilidad. Su capacidad para promover la separación en origen, el reciclaje y la valorización de residuos lo posiciona como un modelo clave en la transición hacia una economía circular.

2.1.3. Sistema de Gestión Integrado (SGI)

Los SGI en España han sido fundamentales para mejorar la gestión de residuos, incrementar las tasas de reciclaje y fomentar campañas de educación ambiental. En 2011, se adaptaron a los nuevos requisitos legales.

El SGI busca coordinar todas las fases de la gestión de residuos, desde la generación hasta la disposición final, integrando acciones de recolección, clasificación, valorización, reciclaje y eliminación [15].

Las fases del SGI son:

- Generación de residuos: los residuos sólidos urbanos (RSU) surgen de actividades domésticas, comerciales e industriales. Es crucial identificar las principales fuentes y caracterizar los residuos según su composición.
- Recolección y transporte: este proceso incluye métodos como la recolección selectiva en origen, lo cual es esencial para mejorar las tasas de reciclaje.

Usurbil, por ejemplo, utiliza el sistema Puerta a Puerta (PaP) para separar residuos en cinco fracciones.

- Clasificación y separación: el uso de tecnologías avanzadas como cintas de clasificación ópticas y separadores magnéticos optimiza la recuperación de materiales valorizables.
- Valorización: involucra la conversión de residuos en recursos útiles. Se destacan la valorización material (como reciclaje de plásticos y vidrios) y la energética (aprovechamiento de residuos no reciclables para generación de energía).
- Disposición final: se priorizan alternativas que reduzcan el uso de vertederos, como RS que cumplan con normativas estrictas de control de emisiones [63].

Los beneficios de un SGI de RSU son:

- Mejora de la sostenibilidad ambiental.
- Reducción de los costos asociados a la disposición en vertederos.
- Incremento en la valorización de materiales.
- Cumplimiento de normativas internacionales.

En el anexo C tabla C-12 se pueden ver los principales SIG de RSU de España respecto a la Responsabilidad Ampliada del Productor del Producto y RAEE – Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos [34].

En Anexo A figuras A-7 y A-8, se tiene el SIG de RSU con contenedores situados en la vía pública para cada fracción.

2.1.3.1. Fracción vidrio: Ecovidrio

El vidrio se refiere a los envases compuestos principalmente por vidrios de silicatos. Es un material inorgánico, duro, transparente, amorfo y frágil, utilizado en una amplia variedad de productos como botellas, envases, ventanas y lunas. Los residuos de vidrio se dividen en tres grupos principales:

- a. Vidrios de envase no reutilizable, como botellas, botes y frascos, gestionados por Ecovidrio y el Sistema Integrado de Gestión de envases de vidrio. Los productores de estos envases están obligados a financiar su recuperación una vez utilizados. Estos residuos deben llevar el Punto Verde en sus etiquetas para indicar que forman parte de este sistema.
- b. Vidrio de envase reutilizable, como botellas de refrescos, vinos, cervezas y aguas. Este grupo de residuos se gestiona a través del Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR), que garantiza la reutilización de los envases en

establecimientos de restauración y hostelería, aunque también se ofrece a particulares en comercios [58].

- c. Vidrio no envase, que incluye utensilios domésticos (vasos, platos, frascos, etc.) y elementos de construcción y decoración (ventanas, puertas, mamparas, etc.). Los residuos de este tipo de vidrio se gestionan a través de puntos limpios, recuperadores de vidrio, gestores de residuos de construcción o, en su defecto, se destinan a la fracción resto [15].

La empresa Ecovidrio, es una entidad sin ánimo de lucro que gestiona el reciclaje de envases de vidrio en España desde 1997. Su misión principal es asegurar la recogida selectiva y el reciclaje del vidrio, promoviendo la economía circular y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. A través de la instalación de contenedores específicos para la recolección de vidrio, la colaboración con el sector hostelero y campañas de sensibilización ciudadana, la organización genera un impacto positivo en la reducción de emisiones de CO₂ y el ahorro de recursos naturales.

Opera bajo el modelo de Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP), gestionando la recogida, tratamiento y reciclaje de envases de vidrio en conformidad con las normativas europea y española, que exigen a los productores financiar y organizar el reciclaje de los envases que comercializan. Hoy en día, la empresa es un referente en la gestión de residuos de vidrio, promoviendo la economía circular y reduciendo el impacto ambiental. Las plantas de reciclaje de la organización han incorporado sistemas automatizados de clasificación para optimizar la recolección y distribución de los contenedores, lo que les permite planificar rutas más eficientes y adaptar campañas de sensibilización a áreas específicas. Además, algunos contenedores están equipados con sensores para monitorizar los niveles de llenado en tiempo real, lo que reduce costos logísticos y minimiza la huella de carbono. Dentro de la economía circular, la empresa recicla el vidrio indefinidamente sin pérdida de calidad, contribuyendo a reducir la extracción de materias primas como la arena. En 2022, España alcanzó una tasa de reciclaje de vidrio del 76.8%, superando los requisitos mínimos establecidos por la normativa europea, lo que subraya la relevancia de la organización en la consecución de los objetivos ambientales.

Además de su enfoque técnico, fomenta la correcta separación de residuos de vidrio mediante campañas publicitarias, actividades en escuelas y eventos públicos [70]. Dentro de las iniciativas destacan “Recicla vidrio, por ellas”, “Yo amo mi feria, recicla vidrio” [2], “Reciclar da vida” [25] “DaleCandela” [17], “Recicla vidrio y reforesta” [3], que vincula el reciclaje con causas sociales. Reto “nuevo sistema de volcado para los residuos de envases de vidrio del sector hostelero”, iniciativa de innovación abierta dando la oportunidad a ingenieros y empresas de colaborar con ellos para evolucionar el

actual sistema incrementando las tasas de recogida de vidrio en el canal Hoteles Restaurantes y Cafeterías (HORECA) [78], universidades [77], “La magia de reciclar vidrio”, para acercar y concienciar a padres e hijos sobre la importancia de reciclar vidrio y cuidar el planeta [33], premio “Bandera Verde Ecovidrio”, dirigido a municipios costeros españoles que, durante el verano, demuestran un mayor compromiso con la sostenibilidad y la economía circular a través de la recogida selectiva de envases de vidrio y la implicación de sus hosteleros.

Sin embargo, a pesar de sus logros, la empresa enfrenta desafíos relacionados con la recolección de vidrio en áreas rurales y la adaptación a nuevas normativas europeas más estrictas sobre gestión de residuos. La organización colabora estrechamente con gobiernos locales y el sector hostelero para mejorar la infraestructura de reciclaje y fomentar la participación ciudadana, al tiempo que participa en redes europeas que promueven el reciclaje.

Aunque la tasa de reciclaje es alta en España, persisten problemas en áreas rurales, sectores como la hostelería y la participación ciudadana. Las tasas de reciclaje varían significativamente entre regiones, y en áreas de difícil acceso, la recolección sigue siendo baja. Por ello, se necesita una expansión de la infraestructura de reciclaje en estas zonas, así como un incremento en la sensibilización y participación del sector hostelero. Cualquier expansión o implementación de nuevas tecnologías conlleva una inversión inicial, pero los beneficios potenciales en términos de aumento en las tasas de reciclaje y reducción de costos operativos son considerables. Con una tasa de reciclaje del 70% y un promedio de 19.2 kilos reciclados por habitante al año, la organización genera importantes beneficios económicos y ambientales, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y al cumplimiento de los objetivos legislativos europeos.

Desde el punto de vista social, hay una creciente preocupación por el medio ambiente, lo que beneficia a organizaciones como esta, que promueven prácticas sostenibles. La sociedad, especialmente los consumidores más jóvenes, valora cada vez más el reciclaje, incrementando su apoyo a estas iniciativas. Políticamente, el marco regulador tanto en la Unión Europea como en España es favorable para la actividad de la organización, con leyes que imponen a los productores la responsabilidad de gestionar el reciclaje de los envases que comercializan. La entidad también se beneficia de incentivos y subvenciones gubernamentales, y a nivel europeo, directivas como la de Envases y Residuos y el Pacto Verde Europeo influyen en las políticas de reciclaje. En el ámbito tecnológico, la empresa invierte en sistemas automatizados e inteligencia artificial para optimizar la cadena logística del reciclaje de vidrio, empleando plataformas digitales para fomentar la participación ciudadana [62].

Legalmente, la organización opera bajo normativas como la Ley de Residuos y Suelos Contaminados para la Economía Circular, y la Directiva Europea de Envases y Residuos, lo que asegura que sus actividades estén en conformidad con los estándares ambientales. Ecológicamente, juega un papel clave en la reducción de la huella de carbono y la mitigación del cambio climático, ya que el reciclaje de vidrio disminuye la necesidad de extraer materias primas y reduce las emisiones.

En cuanto a la competencia, aunque el reciclaje de vidrio no tiene sustitutos directos debido a su capacidad de reciclaje ilimitada sin pérdida de calidad, la organización enfrenta presión de empresas que reciclan otros materiales como el plástico y el cartón, así como la potencial competencia del Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR). No obstante, cuenta con una infraestructura sólida y extensa, con más de 245.000 contenedores distribuidos en todo el país, que le otorga una ventaja competitiva significativa, ver anexo A figura A-9 y A-10. Además, aunque depende de proveedores para la recolección y tratamiento del vidrio, su posición dominante en el mercado le permite negociar condiciones favorables. Sus clientes principales incluyen grandes empresas del sector HORECA y administraciones públicas, con quienes ha establecido programas de colaboración que refuerzan sus relaciones y optimizan el reciclaje [13].

2.1.3.2. Fracción envases: Ecoembes

Un envase se define como cualquier producto elaborado a partir de materiales diversos, cuyo objetivo principal es contener, proteger, guardar o almacenar un producto, formando parte de este. Además, cumple una función distintiva frente a otros artículos. Así, el envase puede ser cualquier tipo de embalaje, lata, caja o recipiente utilizado para contener productos, artículos o materias.

En cuanto a los residuos de envase, estos son aquellos envases de los cuales su poseedor tiene la intención o la obligación de desprenderse conforme a la normativa vigente. Los envases se agrupan principalmente en tres categorías, según los materiales que los componen y su proceso de reciclaje:

- a. Envases de plástico, elaborados a partir de compuestos poliméricos, ya sean artificiales o naturales, que se transforman en su forma final mediante cambios de temperatura y presión.
- b. Envases metálicos, conformados mayormente por latas de aluminio, hierro o latón, que habitualmente contienen alimentos. Este grupo también incluye los aerosoles.

- c. Envases mixtos, compuestos por una combinación de varios materiales: Briks o Tetrabriks, principalmente de cartón, con pequeñas cantidades de aluminio y/o plástico, comúnmente utilizados para productos líquidos o semilíquidos. Es fundamental no incluir estos envases dentro de la fracción de papel y cartón. Otros envases mixtos, que combinan materiales como plástico y papel, o plástico y aluminio.

Ecoembes es una organización sin ánimo de lucro fundada en 1996 con el propósito de gestionar el reciclaje de residuos de envases en España. Surgió como una solución colectiva para cumplir con las responsabilidades ambientales que establece la Ley 11/97 de envases, que exige a las empresas encargarse del reciclado de los envases domésticos que comercializan. Desde su creación, Ecoembes trabaja junto a ciudadanos, entidades públicas y empresas para transformar el reciclaje en un hábito diario y crear un impacto positivo en el medio ambiente y la vida de las personas, ver anexo A figura A-11.

La misión de Ecoembes se centra en acompañar a las empresas, administraciones públicas y a la ciudadanía en los desafíos de la economía circular. Su enfoque está en brindar servicios y soluciones para la gestión de envases, priorizando la eficiencia y la innovación desde una perspectiva de transparencia. Su visión es alcanzar una circularidad plena de los envases mediante un modelo colaborativo, respetuoso con el medio ambiente y compatible con los límites del planeta.

Promueve la economía circular aplicando principios de reducción, reutilización y reciclaje, buscando minimizar el impacto ambiental de los envases. También se destaca por colaborar con diversos actores, como empresas, administraciones y movimientos sociales, en la búsqueda de un desarrollo sostenible que beneficie tanto al medio ambiente como a la sociedad. Este compromiso con el medio ambiente se extiende a una relación estrecha y transformadora con la ciudadanía, buscando construir una cultura de reciclaje y sostenibilidad en el país.

Ecoembes se organiza bajo un modelo de gobernanza que fomenta la confianza y la transparencia con sus grupos de interés. La organización opera mediante órganos de gobierno como la Junta General de Accionistas y el Consejo de Administración, los cuales garantizan el cumplimiento de los más altos estándares de responsabilidad y gestión ética. Además, en 2023, Ecoembes estableció una entidad administradora, Ecoembes Entidad Administradora S.L.U., para mejorar la eficiencia y transparencia en sus actividades. Esta estructura de gobernanza es el pilar sobre el cual Ecoembes articula su compromiso con el buen gobierno y la mejora continua en la gestión de los residuos de envases.

La entidad se define no sólo como un gestor de residuos, sino como impulsora de un modelo de desarrollo sostenible. Su papel como facilitador de la economía circular en España y su impacto en la concienciación ambiental lo posicionan como un referente en la gestión de residuos y en la promoción de prácticas ambientales responsables en el ámbito doméstico y empresarial.

Ecoembes ha desarrollado una guía de ecodiseño para ayudar a sus empresas adheridas a poner en el mercado envases más sostenibles y adaptados a las tecnologías de reciclaje disponibles actualmente en el sector para que estén en línea con un modelo de gestión circular, así como con los últimos cambios legislativos en España [14].

2.1.3.3. Fracción papel y cartón: Papresa

El papel y el cartón se producen principalmente a partir de fibras de celulosa extraídas de plantas o de papel y cartón reciclado. Los servicios municipales de recogida suelen aceptar los siguientes residuos: periódicos, revistas, folios, sobres, cuadernos, entre otros. Es importante evitar la inclusión de componentes metálicos, como espirales o grapas, que a menudo acompañan a estos residuos. Además, también se pueden depositar en la recogida cajas de cartón, envases de papel, hueveras y etiquetas. Sin embargo, no se deben incluir en la recogida residuos como papel plastificado, servilletas usadas, fotografías, papel carbón u otros materiales que dificultan el proceso de reciclaje. En el anexo A figura A-12, se pueden ver los contenedores de reciclaje de papel y cartón.

Papresa es una de las mayores compañías recicladoras en Euskadi, con más de 125 años de historia situada en Errentería, Guipúzcoa. Desde el año 2020 pertenece al Grupo Inversor Industrial Quantum Capital Partners. Siendo el único productor de papel prensa del sur de Europa, con la entrada de Quantum Capital Partners, marca el inicio de una reconversión estratégica orientada a diversificar su cartera de productos, fortalecer su red comercial y ampliar su presencia internacional.

En esta nueva etapa, la empresa comenzó a producir papel de embalaje, un mercado en crecimiento que aspira a liderar con el mismo nivel de excelencia que caracteriza su producción de papel prensa. Este cambio estratégico permitirá a Papresa consolidar un crecimiento sostenido y sostenible.

Constantemente la compañía implementa mejoras ambientales que superarán los estándares de la industria papelera, reafirmando su responsabilidad empresarial y medioambiental. A lo largo de su trayectoria, la empresa ha evolucionado constantemente, obteniendo el reconocimiento del sector.

La materia prima es 100% papel reciclado, no se trabaja con madera ni cloro en el proceso. Produce anualmente hasta 400.000 toneladas de papel prensa y papel para embalajes, utilizando papel recuperado mediante recogida selectiva. Este proceso se realiza con una de las máquinas más avanzadas tecnológicamente y una gestión eficiente de recursos hídricos y energéticos.

Entre sus iniciativas sostenibles, destaca la instalación para el aprovechamiento del biogás generado en su planta de tratamiento de agua, destinada a reducir el consumo energético. Este proyecto, respaldado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y gestionado por el IDAE, forma parte de las ayudas para la mejora de la eficiencia energética en el sector industrial, promoviendo una economía más limpia y sostenible.

Papresa también lidera investigaciones innovadoras, como el proyecto BEROA⁺, enfocado en la valorización de corrientes térmicas residuales para usos industriales. Este proyecto, desarrollado por un consorcio de diez empresas, busca implementar tecnologías de recuperación, revalorización y almacenamiento de calor residual, con el apoyo del programa HAZITEK, el Gobierno Vasco y los fondos FEDER 2021-2027.

En materia medioambiental, la empresa cuenta con un sistema de Gestión Integrado de Calidad y Medio Ambiente que impulsa la mejora continua. Esto se refleja en su Declaración Medioambiental anual, auditada por entidades acreditadas, y en los certificados obtenidos: ISO 9001, ISO 14001 y EMAS, ISO 50001, así como los de Cadena de Custodia FSC® y PEFC® [66].

2.1.3.4. Fracción orgánica

Estos residuos están compuestos por materiales perecederos provenientes de plantas, animales y alimentos, como frutas, verduras, sobras de comida y papel. Al ser biodegradables, tienen la capacidad de fermentar y descomponerse de manera natural. Debido a esta característica, son altamente reciclables, ya que pueden ser reutilizados e incorporados al ciclo natural, contribuyendo a su recuperación y aprovechamiento. En anexo A figura A-13, se ve un contenedor de materia orgánica.

La materia orgánica puede ser tratada mediante dos procesos biológicos principales:

- a. **Compostaje/vermicompostaje:** Un proceso aerobio que utiliza oxígeno y se lleva a cabo bajo condiciones controladas de ventilación, humedad y temperatura. Este tratamiento transforma la materia orgánica en compost, un material estable e higienizado que facilita el retorno de nutrientes al suelo y su reintegración en los ciclos naturales. El vermicompostaje es un proceso similar

pero con la inoculación de lombrices rojas californianas al lecho, para obtener humus sólido y líquido.

- b. **Biometanización:** Un proceso anaerobio, realizado en ausencia de oxígeno, que mediante varias etapas y la acción de microorganismos transforma la fracción más degradable de la materia orgánica en biogás y digestato. El biogás, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, puede aprovecharse como fuente de energía, mientras que el digestato, un material residual, tiene aplicaciones en la agricultura [34].

2.1.3.5. Fracción resto

Esta fracción agrupa los residuos de origen doméstico que se generan después de haber realizado la separación en las otras fracciones recogidas por el servicio municipal. Dependiendo de la calidad de la separación de las fracciones restantes, es posible que algunos materiales en esta fracción aún puedan ser valorizados.

Por lo general, esta es la fracción que se recoge con mayor frecuencia, especialmente cuando los niveles de recogida selectiva no son altos. Sin embargo, en los sistemas de recogida puerta a puerta, la frecuencia de recogida suele ser una vez a la semana o a cada 15 días, ya que, tras separar correctamente las otras fracciones, la cantidad de residuos en la fracción resto tiende a ser muy reducida.

La fracción resto de los residuos se gestiona mediante incineración directa o a través de tratamientos previos, como los realizados en plantas de tratamiento mecánico-biológico. Este tipo de tratamiento combina procesos físicos y biológicos para tratar residuos con alto contenido de materia orgánica, incluyendo la fracción resto, que suele contener materiales valorizables además de materia orgánica.

A partir de estos procesos se obtienen productos como digestato, biogás y materiales recuperables. Los residuos no valorizables, denominados residuos rechazo, son enviados a incineración, donde se someten a un proceso de combustión basado en la oxidación térmica. Este proceso genera:

Calor, utilizado para calefacción.

Vapor, destinado a usos industriales.

Energía eléctrica, aprovechada para autoconsumo o venta a la red.

Como subproducto de la incineración se generan residuos sólidos, principalmente escorias inertes y cenizas, que suelen ser enviados a vertederos [34].

Anexo A figuras A-14, se muestran contenedores grises de la fracción resto.

Además, en el anexo A figura A-15 se puede ver que existen contenedores de reciclaje especiales para ropa y aceite de cocina usado y en la figura A-16 el punto

limpio móvil de Bilbao, donde se pueden depositar, material informático, radiografías, pilas y pequeños electrodomésticos.

2.1.4. Vermicompostaje individual y comunitario

En 2002, estudiantes del Departamento de Química y Medio Ambiente de la UTFSM, sede Viña del Mar, realizaron investigaciones sobre la degradación de residuos sólidos vitivinícolas mediante la lombricultura con *Eisenia foetida*. En estos estudios se analizaron aspectos químicos, bioquímicos y el crecimiento de la biomasa de las lombrices a lo largo del tiempo. Para ello, se diseñaron "cajas ecológicas" de madera (100 x 22 x 60 cm) equipadas con sistemas para eliminar líquidos percolados o "humus líquido". Los resultados indicaron que el vermicompost obtenido era de alta calidad, con un humus de lombriz rico en nutrientes y una capacidad de fertilización entre 5 y 6 veces superior al estiércol común, superando también a los fertilizantes químicos.

Investigaciones adicionales realizadas en 2004 y 2006 arrojaron resultados similares, recomendando esta técnica como una alternativa eficaz para el tratamiento de residuos y el uso del humus en cultivos de plantas, flores y árboles [35].

En 2016, se construyeron dos vermicomposteras, una de barro y otra de madera, para tratar los residuos orgánicos generados por familias del Comité de Vivienda Violeta Parra, en el cerro Yungay de Valparaíso, cuyos resultados se encuentran documentados en la Tabla C-13 del anexo C [26].

También se han realizado colaboraciones internacionales como el manual de compostaje y vermicompostaje elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente de Chile y Canadá, que proporciona lineamientos para implementar programas municipales de compostaje y vermicompostaje, orientados a cumplir las metas de la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO). Entre las acciones destacadas se incluyen la recolección diferenciada y el compostaje centralizado como estrategias complementarias para la valorización de residuos orgánicos.

La ENRO plantea metas ambiciosas para 2040, como aumentar la valorización de residuos orgánicos del 1% al 66%, alcanzar a 500.000 familias con sistemas de compostaje y vermicompostaje, y extender estas prácticas a instituciones educativas y parques urbanos. Estas acciones buscan reducir los impactos ambientales y económicos derivados de la disposición de residuos en rellenos sanitarios, así como mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero..

En el manual se indica que la viabilidad del compostaje, depende de la cantidad de residuos tratados y de los ahorros potenciales en transporte y disposición. Programas

exitosos, como el implementado por la municipalidad de Peñalolén, han demostrado la efectividad del compostaje domiciliario en comunidades.

La ejecución de un programa de compostaje incluye etapas clave. Durante la planificación, se seleccionan opciones comerciales y artesanales para composteras y vermicomposteras, adaptadas a diferentes necesidades y presupuestos. También se gestionan fondos de financiamiento municipales, regionales y nacionales, como el FNDR y el Fondo para el Reciclaje.

En la fase de implementación, se capacita a los participantes en temas de economía circular y uso adecuado de los equipos, utilizando talleres grupales o sesiones individuales. Además, se realiza un seguimiento constante para garantizar el cumplimiento de los compromisos de los beneficiarios y optimizar el programa según sea necesario.

El manual ofrece herramientas prácticas para integrar la valorización de residuos en las comunidades. Al promover la participación ciudadana y la autogestión, estos programas contribuyen tanto a las metas nacionales de economía circular como a la sostenibilidad ambiental y social [53].

Por último, en diciembre del año 2024, la Región de O'Higgins celebró un hito histórico con la constitución oficial de la Primera Cooperativa Regional de Reciclaje, conocida como "Cooperativa Reciclaje O'Higgins". Esta iniciativa reúne a 40 recicladores de base de diversas comunas, incluyendo Rancagua, Machalí, Rengo y Graneros, quienes trabajan en la recolección y valorización de materiales como plástico, vidrio, papel y cartón.

La ceremonia, realizada en el Centro de Acopio de la Población Nelson Pereira de Rancagua, contó con la participación de autoridades como Giovanna Amaya, SEREMI del Medio Ambiente, y Darío García, SEREMI de Economía. Durante el evento, la cooperativa recibió su certificado de vigencia, validando su operación formal ante el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

El objetivo principal de la cooperativa es mejorar las condiciones laborales de los recicladores, optimizar los procesos de reciclaje y fortalecer la economía circular en la región. Además, busca servir como modelo de gestión de residuos para otras regiones, destacando la importancia de la colaboración entre autoridades, el sector privado y las comunidades.

Autoridades y representantes recalcaron la relevancia de este avance para cumplir las metas de la Ley REP y la promoción de la sostenibilidad. Según Hugo Mellado, presidente de la cooperativa, este logro representa un paso clave para ampliar el impacto del reciclaje en la región y dignificar la labor de los recicladores de base.

2.2. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN

2.2.1. Comparación de normativa de residuos entre Chile, España y la comunidad autónoma de Euskadi.

Chile puede fortalecer su normativa y operativa en la gestión de residuos mediante la adopción de prácticas y tecnologías avanzadas de España, en particular el sistema "puerta a puerta" implementado en Usurbil. Este modelo incluye un marco sólido para el compostaje comunitario, incentivos económicos efectivos y una mayor descentralización en la fiscalización y el control de residuos. Ver tabla comparativa en el Anexo C, Tabla C-14.

2.2.2. Entrevistas a usuarios de Valparaíso y Euskadi

Se realiza una visita al RS El Molle, al entrar se observa una piscina de percolados y a metros, una planta generadora de energía a partir de metano. Un poco más adelante, en la misma área, se encuentra una planta de tratamiento de agua. También contenedores rojos donde se almacenan materiales reciclables, de la empresa que opera en una parte de la entrada.

Durante el recorrido, se ven camiones recolectores de basura de Viña del Mar, camiones de empresas de recogida y transporte de residuos no peligrosos, camionetas y, en particular, una de la empresa "Veolia", que hasta la fecha se mantiene en concesión en la gestión del RS. También se ven galpones y un letrero que indica "empresa de reciclaje", aunque no se logra distinguir el nombre de la compañía. Esta empresa gestiona de manera independiente, con operarios formalizados, mientras que los recicladores de base trabajan de manera informal y llevan sus materiales a empresas de reciclaje ubicadas en Placilla principalmente.

La vista panorámica abarca dos zonas de vertidos, en una de las cuales se observaba una retroexcavadora removiendo tierra para aplicarla como capa sobre los residuos, anexo A figuras A-17 a A-20.

2.2.2.1. Entrevista a Héctor Rubio Melo, reciclador de base

Durante el recorrido, Héctor, un lugareño, comenta que en tiempos pasados, el área donde se encuentra el RS fue principalmente un bosque de eucaliptos. Cuando era joven, solía venir a cazar conejos junto a amigos y familiares. Es relativamente reciente,

ya que el anterior vertedero estaba en Rodelillo, pero fue trasladado aquí tras el cierre del anterior.

2.2.2.2. Entrevista a encargado de planta de tratamiento de aguas RS Los Molles Valparaíso

Rodrigo Morales, ingeniero de Veolia, explica el proceso en el RS. Primero, hay una planta de gas y luego una planta de lixiviado. Todo el sector está equipado con chimeneas. En la zona donde se realiza el volteo de la basura, se encuentra el frente de trabajo, y es allí donde se capturan los gases que salen por las chimeneas. El lixiviado desciende hacia abajo y, mediante bombas, es transportado a las piscinas, mientras que los gases son enviados a la planta de gas.

En cuanto al tratamiento del lixiviado, el vertedero cuenta con tres estanques. El primero es un desnitrificador, donde se recibe el lixiviado proveniente de todas las piscinas del relleno, incluida una gran piscina denominada 2R, que actúa como receptora principal. Desde la 2R, el lixiviado entra en la planta y pasa por un equipo de tamizado para separar los residuos sólidos, conocidos como arenilla, permitiendo que solo ingrese el líquido. A este líquido se le añade soda cáustica para neutralizar su alta acidez. Luego, pasa al estanque desnitrificador y, mediante vasos comunicantes, al nitrificador, cada uno con una capacidad de 1.000 m³.

Posteriormente, el lixiviado ingresa al sistema de sopladores, donde se regula el oxígeno, y luego pasa a través de un proceso de ultrafiltración. Entre el estanque y la sala de filtros, se añade metanol. Después de la ultrafiltración, el líquido se separa del lodo, que es tratado mediante centrifugación para eliminar la humedad y obtener un lodo seco, el cual se desecha como residuo sólido. El lixiviado, ya libre de sólidos, pasa a la etapa de ósmosis, donde se genera permeado (agua tratada más limpia). Este proceso produce un 70% de permeado o agua buena y un 30% de rechazo, que es el agua sucia.

El permeado se lleva a una piscina clarificadora, donde el agua tratada se reutiliza en la planta para operaciones como la limpieza, aunque aún no se utiliza para riego. El agua de permeado se reincorpora al sistema, completando el ciclo de tratamiento.

Rodrigo comenta que el agua obtenida es limpia y que la depuradora de agua es una de las más avanzadas tecnológicamente en Latinoamérica. Además, menciona que tiene 22 años de experiencia en minería y plantas industriales, y que considera esta planta "espectacular", siendo el único operador a cargo. Cuando termine la concesión de Veolia, la planta quedará en el vertedero, ya que pasará a ser propiedad del mismo [11].

En anexo A figuras A-21 se ven la planta de biogás generadora de energía eléctrica, y la depuradora de aguas .

2.2.2.3. Entrevista a Joxe Mari Irazusta usuario y observador del sistema PaP de Usurbil

En el encuentro, Joxe Mari, muestra el espacio de compostaje comunitario situado en la zona residencial de Usurbil.

Comenta que en los inicios de implantación del sistema surgieron dudas y expectación de parte de los usuarios, pero en breve hubo adaptación y aceptación de la nueva forma de eliminar los RSU. Gracias a campañas informativas y formación constante, el sistema en la actualidad se encuentra consolidado y normalizado.

En Usurbil se recogen 4 fracciones, la orgánica tres veces por semana, envases dos veces, papel y rechazo una vez.

El modo de recogida se describe a continuación:

- **Orgánico:** en cubo marrón y sin bolsa, en el colgador. En lugar de bolsa se recomienda utilizar papel de cocina. De este modo, el cubo se mantiene limpio, evitando los malos olores, pues el papel absorbe la humedad. Con relación a los olores, se recomienda tener la tapa del cubo abierta mientras se mantenga en casa, y en cuanto a los restos de pescado, mejor envolverlos en papel de cocina.

El autocompostaje y compostaje comunitario es incentivado por el ayuntamiento y ofrece una bonificación del 40% en las tasas de residuos a las familias que lo practican, ya que no generan costes de recogida ni tratamiento de residuos orgánicos, ver anexo A figura A-22 las composteras colectivas.

- **Envases ligeros:** en bolsas de plástico, en el colgador. Se recomienda reutilizar las bolsas del comercio.
- **Papel y cartón:** en bolsas de papel, en cajas de cartón o sujetos mediante cuerda, en el colgador.
- **Vidrio:** en contenedores o iglúes verdes instalados en la calle.
- **Rechazo o resto:** cubo gris, en el colgador. Cada vaciado del cubo se cobrará la correspondiente tasa.

En los colgadores instalados en la entrada de casa, cada persona tiene asignada su colgante para las bolsas, ver anexo A figura A-23.

Las papeleras de las calles de Usurbil están adecuadas a la recogida PaP, distribuidas en diferentes partes, con el fin de realizar la recogida selectiva.

Todo lo que se recolecta por el sistema PaP es llevado al complejo medioambiental de Gipuzkoa, donde se encuentra la planta de separación de envases, la planta de compostaje y la estación de transferencia [20].

Los tipos de envases clasificados en la planta según los materiales con los que están fabricados son los siguientes:

- Polietileno de Alta Densidad (PEHD), también llamado PEAD.
- Polietileno de Baja Densidad, también llamado film (LDPE).
- Tereftalato de Polietileno (PET).
- Plásticos mezcla.
- Cartonajes compuestos o Brik.
- Metales férricos/aceros ligeros.
- Aluminio.

Existe un área de emergencia para casos especiales con acceso controlado con llave, en caso de que las personas no puedan sacar sus residuos de forma habitual en el sistema PaP, este se encuentra junto al garbigune o punto limpio, donde se depositan separadamente residuos que no se recogen en el sistema PaP, ya sea por su volumen o características como muebles, lavadoras en desuso, aparatos eléctricos o electrónicos de gran tamaño averiados, ordenadores, CPU, etc.

También existe un garbigune móvil con calendario de ubicación público, el que tiene como objetivo facilitar la recogida selectiva de residuos que normalmente se depositarían en el cubo de rechazo, permitiendo a los ciudadanos deshacerse de pequeños materiales destinados al garbigune, en Anexo A figuras A-24, se puede ver instalado.

Este servicio se traslada semanalmente entre diferentes barrios de Usurbil, siguiendo una rotación fija: Zubieta, Kalezar, Kaxkoa de Usurbil, Aginaga, Txokoalde y Santuenea. La brigada municipal se encarga de moverlo cada jueves.

Residuos aceptados

El garbigune móvil recoge once tipos de residuos:

- Pinturas, barnices, disolventes, colas, fitosanitarios, aerosoles y sus envases.
- Plástico duro de pequeño volumen (no envases ligeros).
- Pilas.
- Chatarra de pequeño tamaño (cacerolas, bandejas metálicas, etc.).
- Material informático.
- Bombillas y fluorescentes.
- Pequeños electrodomésticos, aparatos y juguetes eléctricos/electrónicos.
- Cartuchos de tinta y tóners.
- Materiales reutilizables (juguetes, aparatos eléctricos, etc.).
- Cápsulas de café (dentro de una bolsa de plástico).

- Pequeños trozos de madera.

Criterios de uso

- Cada residuo debe depositarse en la boca correspondiente.
- No se permite dejar materiales fuera del garbigune móvil.
- Los residuos deben ser de un tamaño que permita introducirlos por las bocas asignadas; de lo contrario, deberán llevarse al garbigune de Atallu.
- Si un residuo está compuesto por una mezcla de materiales, también deberá trasladarse al garbigune de Atallu [4].

2.3. PROPUESTAS DE MEJORAS

2.3.1. Área correspondiente en la implementación de sistemas de recogida de residuos domiciliarios

La comuna de Valparaíso posee una población de 300.000 habitantes distribuidos en una superficie de 402 [km²]. Acoge al 15,77% de la población total de la región. Un 0,21% corresponde a población rural y un 99,79% a la población urbana, de esta última, el 94% vive en los cerros [27]. La comuna presenta 681 [hab/km²]. Se divide en dos partes; el plan y los cerros, siendo estos últimos la zona residencial de la comuna, existiendo diferencias en lo urbano y social, con calles y accesos de elaboración propia sobre todo en sitios no urbanizados [28], ver anexo A figuras A-25.

2.3.2. Recomendaciones para optimizar la gestión de residuos en Chile, adaptando aspectos del modelo vasco

El modelo vasco de gestión de residuos ofrece lecciones valiosas para optimizar el sistema chileno. Las siguientes recomendaciones buscan adaptar aspectos clave de este modelo al contexto nacional:

Recogida PaP: introducir este sistema en comunas con alta generación de residuos, priorizando sectores urbanos densos. Este modelo fomenta la separación en origen y reduce los costos asociados al transporte y tratamiento de residuos mezclados.

Compostaje comunitario y domiciliario: crear puntos de compostaje en espacios públicos y promover el uso de composteras domiciliarias, especialmente en zonas rurales y periurbanas. Esto reducirá significativamente los residuos orgánicos enviados a rellenos sanitarios.

Educación y participación ciudadana: desarrollar campañas educativas permanentes que sensibilicen sobre la importancia del reciclaje y el compostaje. Integrar programas escolares que incluyan prácticas de separación y valorización de residuos.

Incentivos económicos: implementar descuentos en tasas de residuos para hogares que participen activamente en programas de reciclaje y compostaje. Esto incentivará la colaboración ciudadana y promoverá un cambio cultural.

Descentralización de la gestión: transferir mayor autonomía a los municipios para que implementen sistemas adaptados a sus realidades, apoyados por financiamiento estatal y técnico.

Fortalecimiento normativo: actualizar la legislación chilena para incorporar metas más ambiciosas de reciclaje y valorización, siguiendo ejemplos europeos.

Tecnología e infraestructura: invertir en plantas de tratamiento avanzadas, como instalaciones de compostaje y reciclaje mecanizado, que permitan una mayor eficiencia en la valorización de residuos.

Estas estrategias podrían implementarse de manera gradual, evaluando constantemente su impacto y realizando ajustes según las necesidades locales.

2.3.2.1. Autocompostaje y compostaje comunitario de Usurbil

En Usurbil se tienen composteras de plástico y fácil armado, las cuales son entregadas de forma gratuita a los usuarios de parte del ayuntamiento. Por otro lado, las composteras de Hernani, un ayuntamiento cercano, están hechas de madera, cuentan con cierre hermético y candado. En anexo A figuras A-30 y A-31, se pueden observar ubicadas en distintos puntos, destacando su abundancia en zonas residenciales y en el casco antiguo, disponibles en la vía pública.

Proceso y beneficios del autocompostaje

El autocompostaje es un método para transformar la materia orgánica en abono natural, devolviendo nutrientes esenciales a la tierra y contribuyendo al equilibrio ecológico. Este proceso, lento pero completamente natural, permite reiniciar ciclos ecológicos al recuperar los nutrientes extraídos del ecosistema. Los beneficios destacables:

- Reducción de olores: un manejo adecuado garantiza que el compost no genere malos olores. En caso de inconvenientes, técnicos especializados ofrecen asistencia.
- Calidad del abono: el compost obtenido es apto para huertas, macetas y árboles, beneficiando la salud de los vegetales y de los consumidores.

- Incentivos económicos: las familias que participan en el programa reciben una bonificación del 40% en la tasa de residuos, ya que el Ayuntamiento evita los costos de recogida y tratamiento de materia orgánica.

El autocompostaje no solo promueve prácticas sostenibles, sino que también reduce la generación de residuos y fomenta una gestión más responsable y económica de los recursos.

Inscripción y materiales proporcionados

En el ayuntamiento de Usurbil las familias interesadas se inscriben en la oficina correspondiente, donde reciben una compostadora, formación inicial y seguimiento técnico. Además, se facilita acceso gratuito a materiales estructurantes y compost en puntos específicos como huertos municipales.

Materia orgánica aceptada y su manejo

Entre los residuos aptos para el compostaje se incluyen restos de comida vegetal y animal en pequeñas cantidades, papel manchado con materia orgánica, posos de café, cáscaras, huesos, flores, hierba, serrín y cenizas de madera no tratada. Estos materiales se mezclan con poda en plantas de compostaje para producir compost de calidad, usado en jardinería, agricultura y arboricultura.

Por el contrario, residuos como excrementos de animales, pañales no compostables, colillas, cenizas de madera tratada y polvo de barrer deben ser descartados adecuadamente en la fracción resto, ya que no son aptos para el compostaje.

Recomendaciones para evitar malos olores

Para prevenir olores, se aconseja mantener el cubo café o marrón abierto para permitir la ventilación y absorber la humedad con papel de cocina en el fondo. Además, restos como cabezas de pescado pueden envolverse en papel absorbente antes de depositarlos en el cubo [4].

2.3.2.2. Vermicompostera de madera y barro cerro Yungay Valparaíso

Para obtener vermicompost se muestra un diseño de vermicompostera higiénica y sencilla, con extracción de humus sólido, sin necesidad de tamizar o mover para airear y también se puede retirar “humus líquido”. Cerrado para evitar el contacto con roedores o pájaros, como ocurre en lechos, hoyos o pilas.

La construcción es de madera de pino aserrada, aislación e incluye desagüe de humus líquido.

Las puertas para la extracción del vermicompost se colocan en la parte inferior, anexo A figuras A-32 y A-33.

Según datos teóricos aproximados en 1 kg de lombrices hay, aproximadamente 4.000 de ellas. Cada kg de lombrices puede tratar entre 0.5 a 0.8 kg de residuos por día.

En la de barro, el diseño es el mismo, lo que cambia es el material de construcción, el barro y la paja alivianado. Además sólo un agua del techo es abatible y la otra soporta un techo vivo, es decir tierra con plantas suculentas como rayito de sol.

Se encuentra ubicada en casa particular, de uso colectivo, según las familias interesadas en depositar sus desechos orgánicos consumidos por las lombrices.

CAPÍTULO 3: CÁLCULOS Y RESULTADOS

3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1. CÁLCULO DE LA DEMANDA ACTUAL DE COMPOST Y/O VERMICOMPOST REGIONAL

Las principales empresas productoras de vermicompost en Chile, se pueden ver en el Anexo C tabla C-15.

Se calcula la demanda relacionada con el total de suelos cultivados en la quinta región, considerando 10 cm para la relación de volumen de humus [65]:

154.989 hectáreas, que equivalen a 1.549.890.000 m², esto por 0,1 m de la relación de volumen, se tienen 154.989.000 m³. Se conoce el peso específico del suelo, 1.500 Kg/m³, y se toma un peso específico del humus de 800 Kg/m³. Una posible demanda de masa total de suelos cultivados= 154.989.000 m³ x 800 Kg/m³ lo que da un valor de 123.991.200.000 Kg, equivalente a **123.991.200 ton.**

3.1.1. Tamaño y ubicación del mercado objetivo

En un supuesto de abarcar la **demanda relacionada específicamente con productores de cultivo de hortalizas en la quinta región** [65]:

10.200 ha, que equivalen a 102.000.000 m², por 0,1 m, sería 10.200.000 m³. La demanda de masa total cultivo de hortalizas= 10.200.000 m³x800 Kg/m³= 8.160.000.000 Kg, **8.160.000 ton.**

3.1.2. Método de cálculo y análisis

El volumen de vermicompost que se podría producir en un año se calcula conociendo los Kg de desechos de la parte orgánica de la generación de RSD de la comuna de Valparaíso que corresponde al 2024 a 165.008 toneladas, siendo el 72,37% materia orgánica.

$$165.008 \text{ toneladas} = 100\% \text{ de RSD}$$

$$X = 72,37 \% \text{ materia orgánica}$$

$$X = \mathbf{119.416 \text{ toneladas de materia orgánica anuales}}$$

$$X = \mathbf{119.416.000 \text{ kg de materia orgánica anuales}}$$

Cada Kg de lombrices puede tratar entre 0.5 a 0.8 Kg de residuos por día. Por cada Kg de residuos tratados se obtienen 0.6 Kg de vermicompost.

Por lo anterior:

$$119.416.000 \text{ kg} = 100$$

$X = 60$ se podrían producir **71.649.600 kg de vermicompost anuales.**

Capacidad para cubrir la demanda en la masa total de suelos cultivados:

$$123.991.200.000 \text{ Kg} = 100\%$$

$$71.649.600 \text{ Kg} = X$$

$X = 0,057\%$, siendo un porcentaje muy bajo de cobertura de abastecimiento de la masa total de suelos cultivados.

En cultivo de hortalizas:

$$8.160.000.000 \text{ Kg} = 100\%$$

$$71.649.600 \text{ Kg} = X$$

$X = 0,88\%$, sigue siendo a un porcentaje muy bajo de cobertura de abastecimiento de la posible demanda de vermicompost en la región.

3.2. RESULTADO CÁLCULO NÚMERO DE VERMICOMPOSTERAS

En un supuesto de implementar vermicomposteras públicas de madera, en el Cerro Alegre, donde hay aproximadamente 7.189 habitantes.

Según los cálculos anteriores de los RSD orgánicos generados por 300.000 habitantes que corresponde a la población de la comuna de Valparaíso, se podrían producir 71.649.600 Kg de materia orgánica, por lo que se puede estimar cuánto podrían generar en el Cerro Alegre.

$$300.000 = 71.649.600 \text{ Kg}$$

$$7.189 = X$$

$$X = 1.716.963 \text{ Kg}$$

Capacidad de las vermicomposteras es de aproximadamente 2.000 Kg

$$1 = 2.000 \text{ Kg}$$

$$X = 1.716.963 \text{ Kg} = \mathbf{1.717 \text{ toneladas anuales}}$$

$X = 859$ Vermicomposteras, cuyo costo total según precio unitario descrito en anexo C tabla C-16, sería de aproximadamente **\$1.347.305.422 CLP = \$ 1.340.335,68 USD**

El diseño que se propone construir se puede ver en anexo A figuras A-26 a la A-28.

Una planta de compostaje de Veolia Biomasa inaugurada en 2024 en Fuentes del Ebro, Zaragoza con capacidad de **77.000 toneladas al año**, ha tenido una inversión de 433.584,39 € = 446.895,43 USD. ha sido beneficiaria de una subvención para un proyecto de inversión en economía circular. Esta iniciativa busca mejorar la eficiencia en el uso de recursos en el proceso productivo.

El proyecto ha recibido financiación de la Unión Europea y del Departamento de Presidencia, Economía y Justicia del Gobierno de Aragón. La subvención ha permitido cubrir el 40% de la inversión en equipos para el proceso de afinado de fertilizantes y de biomasa que equivalen a 173.433,76 € [79].

DISCUSIÓN

El análisis comparativo entre Valparaíso y Usurbil revela diferencias fundamentales en sus sistemas de gestión RSD. Mientras Valparaíso presenta una alta dependencia de los rellenos sanitarios y bajas tasas de reciclaje, reflejo de un sistema con importantes limitaciones en sostenibilidad y eficiencia, Usurbil ha consolidado un modelo descentralizado y eficiente, basado en los principios de la economía circular y la participación ciudadana activa, logrando tasas de valorización cercanas al 90%.

El modelo PaP implementado en Usurbil destaca por su énfasis en la separación en origen, la eficiencia en la recogida y la significativa reducción de residuos enviados a vertederos. Este enfoque se complementa con el compostaje comunitario, que reutiliza la materia orgánica, disminuye costos de transporte y tratamiento, y genera un producto valorizable. Además, la implementación de incentivos económicos, como descuentos en tasas municipales, ha fomentado una corresponsabilidad ciudadana, consolidando un sistema participativo y sostenible.

En contraste, Valparaíso enfrenta desafíos como limitaciones presupuestarias, infraestructura insuficiente y la ausencia de programas educativos sostenidos, lo que dificulta la adopción directa de este modelo. Sin embargo, una implementación progresiva y adaptada al contexto local podría superar estas barreras. Por ejemplo, la introducción de sistemas piloto del modelo PaP en sectores como Cerro Alegre permitiría evaluar su viabilidad y aceptación, estableciendo una base sólida para su expansión.

El compostaje, tanto comunitario como domiciliario, se presenta como una estrategia clave para reducir la cantidad de residuos orgánicos enviados a rellenos sanitarios. A pesar de los elevados costos iniciales de infraestructura, como las vermicomposteras, su durabilidad y eficiencia en la producción de humus de alta calidad justifican la inversión. Este producto no solo mejora la calidad del suelo, sino que también reduce costos operativos asociados al transporte y disposición final de residuos.

No obstante, la implementación de vermicomposteras públicas para atender la capacidad generada en Cerro Alegre implica una inversión considerable. Comparativamente, una planta de compostaje centralizada, como la de Veolia Biomasa en Zaragoza, con capacidad para procesar 77.000 toneladas anuales y una inversión menor, evidencia mayor eficiencia y escalabilidad. Esto sugiere que una combinación de vermicomposteras públicas y una planta de compostaje centralizada podría ofrecer una solución equilibrada para Valparaíso, optimizando tanto los costos como la capacidad de gestión de residuos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La comparación entre los sistemas de gestión de RSD en Valparaíso y Usurbil destaca el modelo PaP y la economía circular como estrategias esenciales para optimizar la gestión de residuos. Estas prácticas han demostrado ser efectivas al reducir la dependencia de los rellenos sanitarios, aumentar la valorización de residuos y fomentar un ciclo más sostenible. Sin embargo, su éxito depende de la activa participación ciudadana y de programas educativos que impulsen un compromiso colectivo hacia una gestión más responsable.

Para avanzar hacia un sistema más eficiente en Valparaíso, es necesario combinar estrategias descentralizadas, como el compostaje comunitario, con inversiones en infraestructura centralizada. El compostaje y vermicompostaje, además de generar fertilizantes naturales de alta calidad, permiten reducir costos asociados al transporte y la disposición final de residuos orgánicos. Aunque el vermicompostaje es una solución sostenible y rentable, su impacto es limitado frente a la demanda regional, lo que refuerza la necesidad de complementar estas prácticas con instalaciones centralizadas de mayor capacidad, como plantas de compostaje.

Se recomienda iniciar programas piloto del modelo PaP en sectores prioritarios, como áreas residenciales y turísticas, para evaluar su aceptación y realizar ajustes antes de una implementación más amplia. Paralelamente, el fomento de la valorización orgánica mediante incentivos económicos, campañas de sensibilización y capacitaciones resulta esencial para consolidar la corresponsabilidad ciudadana en la gestión de residuos.

El fortalecimiento del marco normativo chileno es crucial, estableciendo metas claras para la valorización y el reciclaje, acompañadas de mecanismos efectivos de fiscalización. Además, es indispensable mejorar la infraestructura existente mediante inversiones en centros de reciclaje.

La colaboración entre sectores público y privado será determinante para financiar proyectos innovadores y promover la adopción de tecnologías avanzadas en la gestión de residuos. Programas educativos continuos, enfocados en la separación en origen y en prácticas sostenibles, serán clave para desarrollar una cultura de sostenibilidad y facilitar la transición hacia un modelo más eficiente.

Finalmente, la construcción de una planta de compostaje con características similares a la de Veolia Biomasa se presenta como una solución eficiente y rentable para Valparaíso. Este tipo de infraestructura, combinada con estrategias descentralizadas como el compostaje comunitario, tiene el potencial de transformar el sistema de gestión.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] AGRIPOWER HUMUS. [en línea] <[humusagripower – humusagripower](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[2] AYUNTAMIENTO DE MAIRENA DEL ALCOR. Ayuntamiento y Ecovidrio impulsan el reciclado de envases de vidrio durante la Feria con la campaña “Yo, Amo mi Feria”. [En línea] <[Ayuntamiento y Ecovidrio impulsan el reciclado de envases de vidrio durante la Feria con la campaña 'Yo, Amo mi Feria'](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[3] AYUNTAMIENTO DE ARROYO MOLINOS. Ecovidrio y el Ayuntamiento de Arroyomolinos presentan la campaña ‘Recicla vidrio y reforesta’. [En línea] <[Ecovidrio y el Ayuntamiento de Arroyomolinos presentan la campaña ‘Recicla vidrio y reforesta’ — Ayuntamiento de Arroyomolinos](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[4] AYUNTAMIENTO DE USURBIL. Gestión de residuos Puerta a Puerta. [En línea] <[Recogida de residuos puerta a puerta - Usurbil - Usurbil](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[5] ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE. [en línea] <[Bienvenidos – ANIR – ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE A.G.s](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[6] BONDADOSA PACHAMAMA. [en línea] <[Bondadosa Pachamama - Centro demostrativo agro ecológico](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[7] CAZADO DA ROCHA, A. Niveles éticos y gestión de residuos: Evaluando el sistema de recogida selectiva puerta a puerta. Dilemata, 2013, 209–229. [en línea] <[Vista de Niveles éticos y gestión de residuos: Evaluando el sistema de recogida selectiva "puerta a puerta"](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[8] CENTRO DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS. Informe Final Consolidado. Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Región de Valparaíso. Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, Casa Central, 2011. [en línea] <[1, 2 y 3 capítulos.pdf](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[9] CONSTITUCIÓN DE CHILE 1980. [en línea] <[Comparador de Constituciones del Mundo. Proceso Constituyente | Biblioteca del Congreso Nacional de Chile](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[10] CRUZ-O'BYRNE, R., PIRANEQUE, N., AGUIRRE, S. Introducción a la biología y microbiología de suelos, 2023, 224 p. [en línea] <[\(PDF\) Introducción a la biología y microbiología de suelos](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[12] DIARIO LA QUINTA. Con firma del Alcalde Jorge Sharp y la empresa Veolia se zanja nuevo contrato de «El Molle». [En línea] <[Valparaíso: Con firma del Alcalde Jorge Sharp y la empresa Veolia se zanja nuevo contrato de «El Molle» - Diario La Quinta](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[12] DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. NMX-AA-180-SCFI-2018. Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. [En línea] <[NORMA MEXICANA](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[13] ECOVIDRIO. [En línea] <[Así somos | Ecovidrio](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[14] ECOEMBES. [En línea] <[Ecoembes](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[15] ESTELLÉS, M. S. Análisis del sector del reciclaje: separación, clasificación y valorización de materiales en España.. Trabajo de fin de grado: Universitat Politècnica de València, 2020, 73 p. [en línea] <[Sabater - Análisis del sector del reciclaje: separación, clasificación y valorización de material....pdf](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[16] FARIAS K., Ecología Aplicada: Determinación de % de Humedad, % de Materia Orgánica y % de Minerales. [Guía de clases]. Valparaíso, Chile: Departamento de Química, Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar. 2012. 3 p.

[17] FUNDACIÓN JUANENTRECANALES DE AZCÁRATE. Comparte por la asociación DaleCandela y Ecovidrio. [En línea] <[Comparte por la asociación DalecandELA | Ecovidrio – FundacionJEA](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[18] GALLARDO M., Propiedades Químicas de los suelos forestales. [Apuntes de clases]. Santiago, Chile: Departamento de Silvicultura, Universidad de Chile. 2001.

[19] GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN CHILE. Experiencia comparada España y Colombia. [En línea] <[obtienearchivo](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[21] GIPIZKOAKO HONDAKINEN KUDEAKETA (GHK). Complejo Medioambiental Gipuzkoa. [En línea] <[GHK: Hasiera](#)> [consulta: 09 de Enero 2025]

[22] GIMENO, V, M. Estudio sobre la implantación del servicio de recogida de residuos puerta a puerta en Benicàssim. Trabajo de fin de grado en ciencias ambientales: Universitat Politècnica de València, 2022, 44 p. [en línea] <[Estudio sobre la implantación del servicio de recogida de residuos puerta a puerta en Benicàssim](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[23] GOBIERNO VASCO. Plan de Prevención y Gestión de residuos de la CAPV 2030. [en línea] <[EsAE PPGR2030 mayo2021](#)> [último acceso: 09 de Enero 2025].

[24] GONZÁLEZ DE AUDICANA, B. J.,TURCOTT, C. D. LOBO DE GARCÍA, C., A. CONFERENCIA VII SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESIDUOS HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR. Aplicación de indicadores para la evaluación y control de servicio de gestión de residuos en municipios del País Vasco. [en línea] <[\(PDF\) APLICACIÓN DE INDICADORES PARA EVALUACIÓN Y CONTROL DE SERVICIOS DE GESTIÓN DE RESIDUOS EN MUNICIPIOS DEL PAÍS VASCO](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[25] HERNÁNDEZ, R.A. El patrimonio publicitario como recurso creativo en la pandemia del coronavirus en España: la campaña “Reciclar da vida” de Ecovidrio. Documentación de las Ciencias de la Información, 44(2), 199-210. [en línea] <[Vista de El patrimonio publicitario como recurso creativo en la pandemia del coronavirus en España: la campaña “Reciclar da vida” de Ecovidrio](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[26] IBARRA, S. J. Diseño integrado en el manejo de residuos domiciliarios orgánicos por Vermicompostaje. Trabajo de titulación para optar al título de Técnico Universitario en Control del Medio Ambiente: Universidad Técnica Federico Santa María. 2016. 61 p.

[27] ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE VALPARAÍSO. Valparaíso una síntesis de lo que somos. [En línea] <[Ilustre Municipalidad de Valparaíso](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[28] ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE VALPARAÍSO. [En línea]. Reporte comunal 2024 <[Reporte Comunal - Biblioteca del Congreso Nacional de Chile](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[29] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 2880. Norma chilena de calidad de compost. [en línea] <[NCh2880 - Norma Chilena de Calidad de Compost | PDF | Residuos | Materiales](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[30] INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Prevención de riesgos laborales en la gestión de residuos, 2014. [En línea] <[Erga FP N°: 89 - Mayo/junio Año:2014](#)> [consulta: 09 de Enero 2025]

[31] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. Métodos de análisis de compost. Revisión 2005. [En línea] <[NR32184](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[32] JEFATURA DEL ESTADO. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. [en línea] <[BOE-A-2022-5809 Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[33] LA NOCIÓN. La magia del reciclaje de vidrio regresa a las calles de Valladolid con iglús de Ecovidrio tematizados por Disneyland París. [en línea] <[La magia del reciclaje de vidrio regresa a las calles de Valladolid con iglús de Ecovidrio tematizados por Disneyland París](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[34] LACERDA, O. L. Plan de gestión de residuos sólidos urbanos, propuesta para la ciudad de Itabaianinha desde buenos ejemplos españoles. 2021, 317 p. Memoria para optar al grado de doctor: Universidad Complutense de Madrid. [en línea] <[Plan de gestión de residuos sólidos urbanos, propuesta para la ciudad de Itabaianinha desde buenos ejemplos españoles](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[35] LEÓN, V.M., CASTILLO, A. N. Estudio de la Variación Química de una Muestra de Composición Conocida, Mediante Vermicompostaje. Trabajo de Titulación (Técnico Universitario en Química Analítica) Viña del Mar. Chile: UTFSM, 2004. 83 p.

[36] LOZANO, V. P.J., LATAZA, Z. I., BUENO, M. G. Sostenibilidad y Residuos Sólidos Urbanos. Análisis comparado de los distintos modelos de tratamiento para Guipúzcoa (Comunidad Autónoma Vasca). Boletín de la Asociación Española de Geografía, 2017,149-174 p. [en línea] <[Sostenibilidad y Residuos Sólidos Urbanos. Análisis comparado de los distintos modelos de tratamiento para Guipúzcoa \(Comunidad Autónoma Vasca\) | Documents - Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[37] LOMBRICULTURA CHILE. [en línea] <[Abono Organico / Humus de Lombriz](#)> [último acceso: 09 de Enero 2025].

[38] MARDOFF, R. M. Estudio de la gestión de residuos sólidos urbanos del gran Santiago. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil industrial: Universidad Técnica Federico Santa María. 2016. 58 p. [en línea] <[content](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[39] MEDINA, M. R.A. Sistemas de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Metodología para el análisis técnico-económico con valoración de las externalidades y Casos de Estudio, 2016, 247 p. Tesis doctoral: Universidad Politècnica de Catalunya. [en línea] <[Sistemas de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos \(RSU\) : Metodología para el análisis técnico-económico con valoración de las externalidades y casos de estudio](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[40] MEDIO DE AMBIENTE, PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y VIVIENDA. DECRETO 63/2019, de 9 de abril, por el que se establece el régimen jurídico y las condiciones técnicas de las instalaciones y actividades de compostaje comunitario. [En línea] <[DECRETO 63/2019, de 9 de abril, por el que se establece el régimen jurídico y las condiciones técnicas de las instalaciones y actividades de compostaje comunitario. - Legegunea: Normativa del País Vasco - Gobierno Vasco - Euskadi.eus.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[41] MEDIO DE AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. DECRETO 49/2009, de 24 de febrero, por el que se regula la eliminación de residuos mediante

depósito en vertedero y la ejecución de los rellenos. [En línea] <[DECRETO 49/2009, de 24 de febrero, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la ejecución de los rellenos. - Legegunea: Normativa del País Vasco - Gobierno Vasco - Euskadi.eus.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[42] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. [En línea] <[BOE-A-2005-895 Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[43] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, RELACIONES CON LAS CORTES Y MEMORIA DEMOCRÁTICA. Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos. [En línea] <[BOE-A-2022-5142 Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[44] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Ley 20.920. Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. [En línea] <[Ley Chile - Ley 20920 - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[45] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Decreto 12. Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de envases y embalajes. [En línea] <[Ley Chile - Decreto 12 16-MAR-2021 MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[46] MINISTERIO DE SALUD. SUBSECRETARÍA DE SALUD PÚBLICA. Decreto 189. Aprueba Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios. [En línea] <[Ley Chile - Decreto 189 05-ENE-2008 MINISTERIO DE SALUD, SUBSECRETARÍA DE SALUD PÚBLICA - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[47] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. Ley sobre bases generales del medio ambiente [en línea] <[Ley Chile - Ley 19300 - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[48] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Ley 21.368. Regula la entrega de plásticos de un solo uso y las botellas plásticas, y modifica los cuerpos legales que indica. [en línea] <[Ley Chile - Ley 21368 - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[49] MINISTERIO DE SALUD. Decreto 148. Aprueba reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos. [en línea] <[Ley Chile - Decreto 148 16-JUN-2004 MINISTERIO DE SALUD - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025]

[50] MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia de Medio Ambiente. [en línea] <[Ley Chile - Ley 20417 - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[51] MINISTERIO DE SALUD. Decreto 594. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. [en línea] <[Ley Chile - Decreto 594 29-ABR-2000 MINISTERIO DE SALUD - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[52] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Decreto 8. Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas de neumáticos. [en línea]. <[Ley Chile - Decreto 8 20-ENE-2021 MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[53] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Manual para municipios sobre compostaje y vermicompostaje a nivel domiciliario. [en línea] <[Manual-para-Municipios-sobre-compostaje-y-vermicompostaje-a-nivel-domiciliario.pdf](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[54] MINISTERIO DE AGRICULTURA. Ley 21.349. Establece normas sobre la composición, etiquetado y comercialización de los fertilizantes y biocombustibles. [en línea] <[Ley Chile - Ley 21349 - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[55] MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 61. Aprueba reglamento de la Ley N° 21.349, que establece normas sobre composición, etiquetado y comercialización de los fertilizantes y biocombustibles. [en línea] <[Ley Chile - Decreto 61 28-AGO-2023 MINISTERIO DE AGRICULTURA - Biblioteca del Congreso Nacional](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[56] MINISTERIO DE AGRICULTURA , PESCA Y ALIMENTACIÓN. Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.[en línea] <[BOE-A-2016-12601 Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[57] MINISTERIO DE AGRICULTURA , PESCA Y ALIMENTACIÓN. Real Decreto 293/2018, de 18 de mayo, sobre reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores. [en línea] <[BOE-A-2018-6651 Real Decreto 293/2018, de 18 de mayo, sobre reducción del consumo de bolsas de plástico y por el que se crea el Registro de Productores.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[58] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. Estudio de viabilidad de la implantación de un Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) en España. [En línea] <[210928 espana sddr ttecent miterd resumenejecutivo tcm30-531127.pdf](#)>[consulta: 09 de Enero 2025].

[59] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. [En línea] <[BOE-A-2020-7438 Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025]

[60] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. Orden TED/834/2023, de 18 de julio, por la que se establecen los requisitos mínimos de tratamiento previo al depósito de residuos municipales en vertedero. [En línea] <[BOE-A-2023-16891 Orden TED/834/2023, de 18 de julio, por la que se establecen los requisitos mínimos de tratamiento previo al depósito de residuos municipales en vertedero.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[61] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado. [En línea] <[BOE-A-2020-6422 Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[62] MORENO, S. H. Análisis y mejora del sistema integral de gestión de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Castellón de la Plana respondiendo a demandas de sostenibilidad y circularidad, 2023, 262 p. Tesis doctoral: Universitat Politècnica de València. [en línea] <[Análisis y mejora del sistema integral de gestión de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Castellón de la Plana respondiendo a demandas de sostenibilidad y circularidad](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[63] MUNIZAGA, P. J.A. Metodología para la evaluación integral de sistemas de gestión de residuos domésticos, 2016, 232 p. Tesis doctoral: Universidad de Cantabria. [en línea] <[Metodología para la evaluación integral de los sistemas de gestión de residuos domésticos](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[64] OGALDE, A. P. Propuesta de gestión integral para el manejo de residuos sólidos domiciliarios caso comuna de Macul. Memoria para optar al título de geógrafa: Universidad de Chile. 2018. 131 p. [en línea] <[propuesta-de-gestion-integral.pdf](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[65] OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS. [en línea] <[Valparaiso.pdf](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[66] PAPRESA. Papel Prensa S.A. [En línea]. <[Historia - Papresa](#)>. [consulta: 09 de Enero 2025].

[67] PÉREZ, B. M.A. Estudio de la viabilidad económica y social de la recogida puerta a puerta: Un nuevo enfoque para la recogida de residuos municipales en zonas rurales y centros históricos de Tenerife. El caso particular de la Mancomunidad San Juan de la Rambla – La Guancha, 2017, 41 .. Memoria del trabajo fin de grado: Universidad de la Laguna. [en línea] <[Microsoft Word - TFG MEMORIA FINAL MIRIAM PEREZ.docx](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[68] QUINTANA, V. M.J. Estudio para la Viabilidad Técnica de Compostaje a Partir de Biosólido. Trabajo de Titulación (Ingeniería Agroindustrial) Cali. Colombia: Universidad de San Buenaventura. 2012. 85 p. [en línea] <[Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR - Cañaveralejo Cali](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[69] RECICLADOS INDUSTRIALES S.A [en línea] <[Reciclados Industriales | Reciclaje Integral de residuos Industriales](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[70] REVISTAS ICE. Información comercial española. [en línea] <[El sector de envases de bebidas: análisis de la normativa española y de los acuerdos de colaboración | ICE, Revista de Economía](#)> [consulta: 09 de Enero 2025]

[71] RÍOS, T. S., AGUDELO, C. R., GUTIÉRREZ, B. L., Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, vol. 35, núm. 2, 2017 236-247 p. [en línea] <[Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[72] ROSABAL, A. L., MACÍAS, C. P., MAZA, G. M., LÓPEZ, V. R., GUEVARA, H. F. Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. Magna Scientia UCEVA 2021; 1:103–16. [en línea] <[\(PDF\) Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[73] SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO. determinación de erosión de los suelos de Chile, 2010. [en línea] <[TRIPTICO X REGION \ \(Sólo lectura\)](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[74] SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO (SUBDERE). Informe 1 diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables, 2018. [en línea] <[2_marco_legal_agosto_2018.pdf](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[75] SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO (SUBDERE). Informe 2 diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables, 2018. [en línea] <[LÍNEA BASE DIAGNÓSTICO Y CATASTRO](#)>

[DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS CAPTURA AÑO 2017.](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[76] TEST METHODS FOR THE EXAMINATION OF COMPOSTING AND COMPOST. [en línea] <[Test Methods for the Examination of Composting and Compost](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[77] UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID. Universia, Universidad Complutense de Madrid y Ecovidrio organizan una competición para fomentar el reciclaje de vidrio. [en línea] <[Universia, Universidad Complutense de Madrid y Ecovidrio organizan una competición para fomentar el reciclaje de vidrio - RRHH Press - Noticias de Recursos Humanos y empleo](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

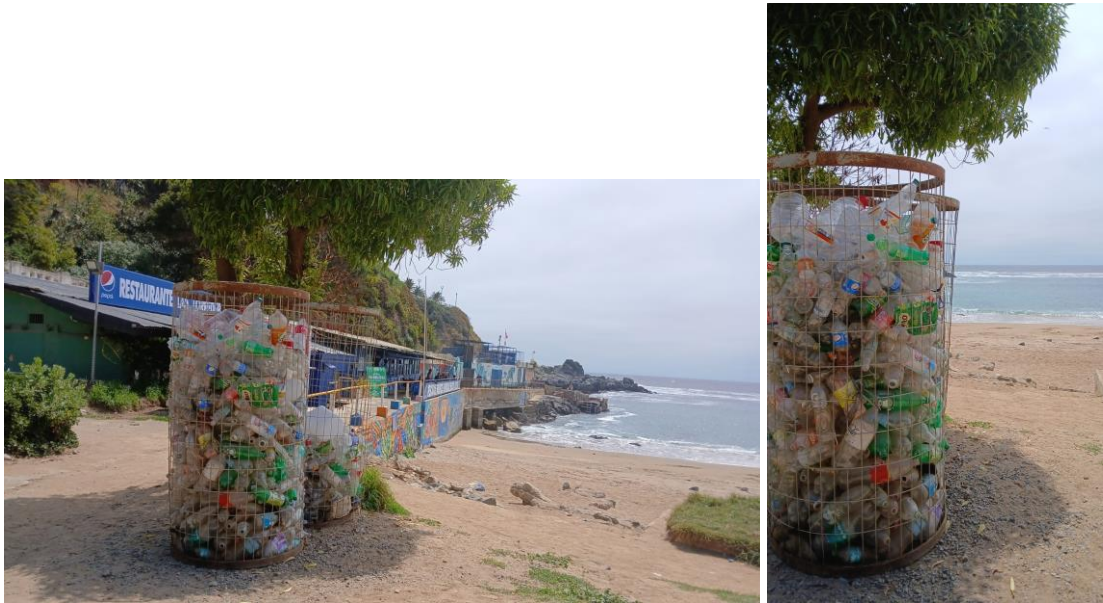
[78] UNIVERSIDAD DE GRANADA. Ecovidrio y Ennomotive lanzan un desafío técnico para incrementar la separación selectiva de vidrio. [en línea] <[Ecovidrio y Ennomotive lanzan un desafío técnico para incrementar la separación selectiva de vidrio | Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[79] UNIVERSIDAD DE GRANADA. Departamento de edafología y química agrícola. [en línea] <[Homenet](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

[79] VEOLIA. Planta de compostaje. [en línea] <[Subvención de la Planta de compostaje de Fuentes de Ebro](#)> [consulta: 09 de Enero 2025].

ANEXOS

ANEXO A: IMÁGENES



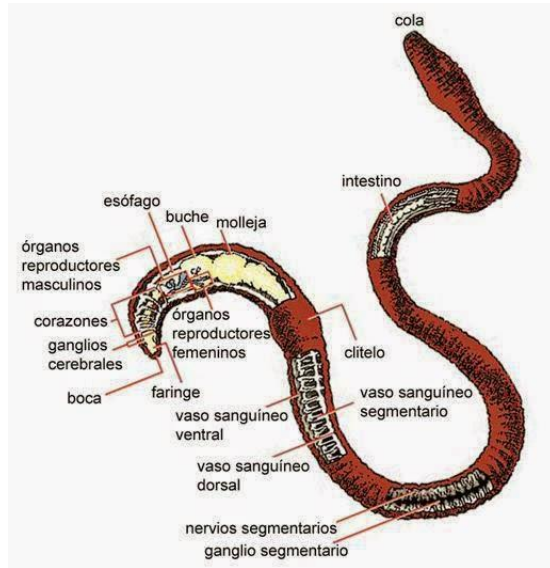
Fuente: Fotografía contenedores de botellas de plástico en playa de Valparaíso

Figura A-1. Playa Las Torpederas de Valparaíso



Fuente: Registro fotográfico recorrido en cerros de Valparaíso

Figura A-2. A la izquierda contenedores en San Juan de Dios y a la derecha plaza Wadinggton, Valparaíso



Fuente: Invertebrados con sistema digestivo simple y completo

Figura A-3. Esquema morfología interna Eisenia foetida

ATEZ ATEKO BILKETA 06:30 → 08:30

| ASTELEHENA | ASTEARTEA | ASTEAZKENA | OSTEGUNA | OSTIRALA | LARUNBATA | IGANDEA |
|----------------------------------|---|---|----------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|
| Organikoa KUBO MARROIA | Ontzi arinak PLASTIKOZKO POLTSA | Papera eta kartoia PAPEREZKO POLTSA EDO KUTXA | Organikoa KUBO MARROIA | Ontzi arinak PLASTIKOZKO POLTSA | Organikoa KUBO MARROIA | Errefusa KUBO GRISA |
| | | | | | | |
| En el cubo marrón | En bolsa de plástico | En bolsa o caja de papel | En el cubo marrón | En bolsa de plástico | En el cubo marrón | En el cubo gris |
| Orgánico LUNES | Envases ligeros MARTES | Papel y cartón MIÉRCOLES | Orgánico JUEVES | Envases ligeros VIERNES | Orgánico SÁBADO | Rechazo DOMINGO |

| | | | | | | |
|-------------------------|--|---|------------------------|--|---|---|
| A DIARIO EGUNERO | Hondakin sanitarioa, pioxhialak eta konpresak PLASTIKOZKO POLTSA | Pilak Pilas | Beira Vidrio | Oiloa Aceite | GARBIGUNEA ATALLU | Neguan: 10:15-13:00 / 16:00-19:00 (Ast-Ost) Udan: 10:15-13:00 / 16:00-19:00 (Ast-Ost) Larunbatetan urte osoan: 9:00-13:00 |
| | Los residuos sanitarios, pañales, compresas... EN BOLSA DE PLÁSTICO | Saltzen dituzten komertzio-eraman Llevar a los comercios donde se venden | Arropa Ropa | ITXITAKO PLASTIKO EDO BEIRAZKO EDUKONTZIA EN RECIPIENTES DE PLÁSTICO O CRISTAL | GARBIGUNE MUGIKORRA SERVICIO MÓVIL DE RECOGIDA SELECTIVA Aceite, pilas, baterías, aparatos eléctricos... | Oiloa, pilak, bateriak, aparatu informatiko bikiak... garbigunean eta Sanmarko Mankomunitateko kamioian |
| | | | | | LARRIALDI GUNEAK ATALLU, AGINAGA eta ZUBIETA | Aurretik giltza eskatu INFORMAZIO BULEGOAN |

ATEZ ATEKO INFORMAZIO BULEGOA | Joxe Martin Sagardia plaza, z.g. • 9:00-14:30 (Astelehenetik ostiralera / De lunes a viernes)
OFICINA DE INFORMACIÓN | 900 776 776 (Doako telefonoa / Gratuito) • atezate@usurbil.eus • www.usurbil.eus

Fuente: Afiche descargable en la página web de ayuntamiento de Usurbil

Figura A-4. Fotografía de instrucciones de recogida



Fuente: Registro fotográfico visita a Hernani

Figura A-5. Colgadores de cubos de basura



Fuente: Registro fotográfico visita a Usurbil

Figura A-6. Compostaje comunitario, contenedores de ropa y vidrio



Fuente: Registro fotográfico Bilbao

Figura A-7. Sistema Integrado de Gestión de Residuos Urbanos



Fuente: Registro fotográfico Erandio

Figura A-8. Sistema Integrado de Gestión de Residuos Urbanos



Fuente: Registro fotográfico Bilbao

Figura A-9. Iglú Ecovidrio en plaza casco viejo de Bilbao



Fuente: Registro fotográfico Bilbao

Figura A-10. Iglú Ecovidrio, diferentes diseños en casco viejo Bilbao



Fuente: Registro fotográfico Erandio

Figura A-11. Contenedor amarillo de reciclaje de envases



Registro fotográfico Erandio

Figura A-12. Contenedor azul de reciclaje de papel y/o cartón



Fuente: registro fotográfico Bilbao

Figura A-13. Contenedores marrón de materia orgánica



Fuente: Registro fotográfico Erandio

Figura A-14. Dos contenedores gris de fracción resto a la izquierda, con el amarillo de envases y el de vidrio



Fuente: Registro fotográfico Erandio

Figura A-15. A la izquierda contenedor de reciclaje de ropa y a la derecha el de reciclado de aceite de cocina en el SIG de Erandio



Fuente: Registro fotográfico plaza El Arenal de Bilbao

Figura A-16. Punto limpio móvil en Bilbao



Fuente: Registro fotográfico visita a RS Los Molles

Figuras A-17. Piscina de lixiviados del RS a la izquierda y contenedores de reciclaje a la derecha



Fuente: Registro fotográfico visita a RS Los Molles

Figura A-18. Vista zona de vertido habilitada para uso



Fuente: Registro fotográfico visita a RS Los Molles

Figura A-19. Circulación de camionetas y camiones



Fuente: Registro fotográfico visita a RS Los Molles

Figura A-20. Vista extracción de suelo para tapar residuos vertidos



Fuente: Registro fotográfico visita a RS Los Molles

Figura A-21. Vista de estanque nitrificador y desnitrificador



Fuente: Registro fotográfico visita a Usurbil

Figura A-22. Composteras comunitarias de Usurbil



Fuente: Registro fotográfico visita a Usurbil

Figura A-23. Cubos de basura por vivienda



Fuente: Registro fotográfico visita a Usurbil

Figura A-24. Punto limpio móvil en Usurbil



Fuente: Gentileza Victor Calzadillas

Figura A-25. Comuna de Valparaíso



Fuente: Registro fotográfico visita a Hernani

Figura A-26. Composteras comunitarias de madera



Fuente: Registro fotográfico visita a Hernani

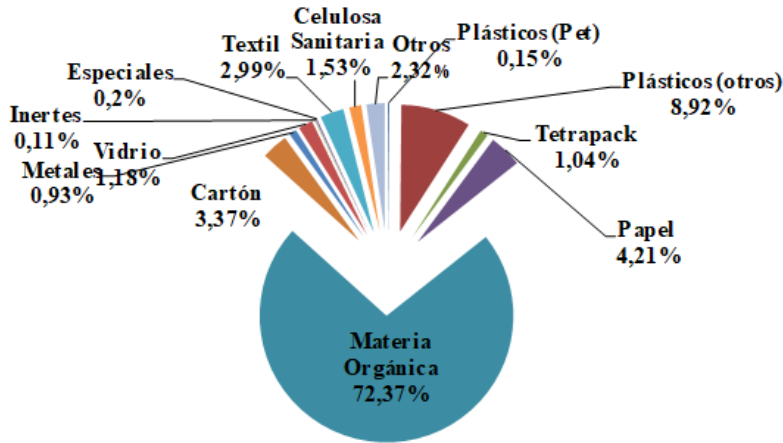
Figura A-27. Descripción de materia orgánica a depositar y el estructurante a agregar



Fuente: Fotografía vermicompostera madera y barro

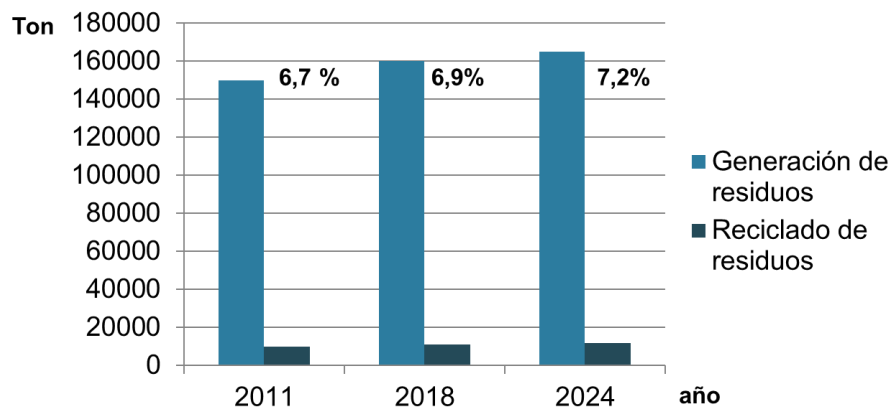
Figura A-28. Vermicomposteras en uso

ANEXO B: DATOS PORCENTUALES



Fuente: Centro de economía y administración de residuos sólidos, 2011

Gráfico B-1: Porcentaje de generación de residuos



Fuente: Estudio Diagnóstico y Catastro de RSD, año 2017, SUBDERE y ANIR 2024

Gráfico B-2: Progreso del reciclaje en Valparaíso



Fuente: Estudio Diagnóstico y Catastro de RSD, año 2017, SUBDERE y ANIR 2024

Gráfico B-3: Distribución regional de residuos gestionados

ANEXO C: RESÚMENES Y DATOS

Tabla C-1. Tecnologías para tratamiento de residuos sólidos

| Tecnologías o procesos | Ventajas | Desventajas | Propuestas |
|---|---|--|---|
| Compostaje en el hogar | <ul style="list-style-type: none"> - Técnica simple - Bajo costo inversión y operación - Reducción de residuos a depositar | <ul style="list-style-type: none"> - Cambio de hábitos - Requerimiento de espacio y materiales - Inversión en capacitación | <ul style="list-style-type: none"> - Se recomienda en zonas rurales y donde la recolección de la basura es compleja o no existe |
| Método de recolección | <ul style="list-style-type: none"> - Recipientes no estandarizados (bolsas de cualquier índole), bajo costo a usuario | <ul style="list-style-type: none"> - Mayor manejo manual de la basura por parte de operarios - Impacto ambiental y sanitario negativo | <ul style="list-style-type: none"> - Inversión en contenedores, equipamiento y mantenimiento |
| Uso de vehículos con tecnología híbrida | <ul style="list-style-type: none"> - Ahorro de combustible, menor ruido, impacto ambiental positivo - Menor costo de transporte y recolección a 20 años | <ul style="list-style-type: none"> - Mayor inversión inicial. - Aprendizaje de varios años | <ul style="list-style-type: none"> - Cambio gradual de flotas de vehículos recolectores de menor costo de operación |
| Estaciones de transferencia sin compactación (descarga directa). | <ul style="list-style-type: none"> - Tecnología simple. - Costo de inversión mediano a bajo - Factibilidad de compartir infraestructura básica con otras instalaciones | <ul style="list-style-type: none"> - Costo fijo de inversión y operación de la estación de transferencia - Requerimientos de vehículos adicionales de transporte - Potencial molestia para el entorno | <ul style="list-style-type: none"> - Se recomienda considerar superficies para expansiones o desarrollo de instalaciones complementarias (patio de acopio, planta de compostaje y/o tratamiento mecánico-biológico). |

| | | | |
|--|---|---|--|
| Estación de transferencia con descarga y almacenamiento | <p>- Menor requerimiento de maquinaria auxiliar</p> <p>- Se puede compartir el uso de maquinaria en caso de existir una planta de compostaje o tratamiento mecánico-biológico</p> | <p>- Si contempla patio de acopio, instalaciones de reciclaje y/o compostaje, se podrían generar olores molestos</p> | <p>- Se recomienda este tipo de instalación para un mejor monitoreo de operación</p> <p>- Necesaria la instalación de una báscula con sistema automático de toma de datos</p> |
| Tratamiento mecánico | <p>- Alteración de tamaño: la trituración puede facilitar el transporte y/o procesamiento de los residuos comercializables.</p> <p>- Separación automática: clasificación rápida y segura de materiales reciclables a gran escala</p> <p>- Separadores magnéticos tipo cinta: logran mayor selectividad</p> | <p>- Sistema de clasificación con aire: costo de inversión relativamente alto</p> <p>- Separación magnética tipo tambor: sacrifica el nivel de calidad del producto (arrastre de otros materiales) por un mayor rendimiento</p> | <p>- Se recomienda la instalación de una planta de tratamiento mecánico</p> |
| Tratamiento biológico | <p>- Compostaje logra reducción de residuos sólidos, líquidos percolados y gases generados en el relleno sanitario</p> <p>- Fermentación: obtiene biogás</p> <p>- Potencial de generación de energía eléctrica y combustible</p> | <p>- Compostaje: mercado reducido pero por cambio de hábitos podría expandirse.</p> <p>- Fermentación: poca experiencia de implementación en el país.</p> <p>- Lombricultura: requiere de superficies grandes si se hace en pilas y una gran cantidad de material</p> | <p>- Como medida complementaria de mediano a largo plazo, se recomienda evaluar la alterativa de un pre-tratamiento mecánico-biológico y la inversión en un biodigestor anaerobio con socios de experiencias previas acreditadas</p> |
| Tratamiento térmico | <p>- Reducción de volumen de residuos</p> <p>- Producción de energía o combustibles</p> | <p>- Sistema de operación complejo. Alto costo de inversión y operación.</p> <p>- Sub-producto final a disposición</p> | <p>- Puesta en marcha de una planta piloto de residuos mixtos no peligrosos en gasificación</p> |

| | | | |
|---|---|--|--|
| Relleno Sanitario | -Solución sanitaria definitiva para la disposición final de RSD y residuos remanentes de plantas de distintos tratamientos - Generación de biogás - Generación de energía eléctrica y combustible | - Eventual pérdida de plusvalía de los terrenos - Emission de olores en caso de malos manejos o catástrofes climáticas, sísmicas o accidentes imprevisibles | - Se plantea como la mejor solución a la disposición final definitiva en la región pero siguiendo la OCDE, en el sentido de reducir los RS a un mínimo posible |
| Gasificación - Incineración (Combustión) | - Probado en el mundo. | - Costos son elevados - Emisiones gaseosas eventualmente peligrosas - Control del proceso de variables es crítico - Alto costo | -No se recomienda como proyecto |
| Gasificación syngas (no es combustión) | - No ha sido probado en USA para RSD | -Sólo aplicado a desechos especiales -Hay menos experiencias que en gasificación | -No se recomienda como proyecto |
| Pirólisis | -Produce líquidos combustibles | - Existieron problemas en su escalamiento | -Tecnología no madura para su aplicación |
| Despolimerización térmica | -Planta activa en Missouri que produce líquidos combustibles y fertilizantes | -Aplicable en condiciones especiales a mayores costos que las tecnologías anteriormente mencionadas | -No aplicable para RSD en la región. |
| Plasma (altísimas temperaturas en arco voltaico) | - Hay plantas en Japón, Westinghouse, Plasma Corp | - Costos mayores que plantas de incineración - Buen comportamiento | - No se recomienda |
| Digestión anaeróbica a energía eléctrica | - Obtención de energía desde materia orgánica. - Puede ser rentable para el operador | - Tecnología probada en el tratamiento de estiércoles, aguas residuales con contenido orgánico -Menores costos asociados. | - Se propone en plan de inversiones un proyecto de 6.000 ton/año con la finalidad de obtener datos concretos |

Fuente: Centro de economía y administración de residuos sólidos, 2011

Tabla C-2. Sitios de disposición final activos en la región de Valparaíso

| Tipo de sitio | Cantidad | Ubicación |
|----------------------------------|----------|-----------------------------------|
| Rellenos sanitarios | 3 | Quillota, Valparaíso y San Felipe |
| Vertederos | 2 | Comunas insulares |
| Basurales | 2 | Comunas insulares |
| Estación de transferencia | 1 | Cartagena |
| Centro de tratamiento intermedio | 1 | Casablanca |

Fuente: Estudio Diagnóstico y Catastro de RSD, año 2017, SUBDERE

Tabla C-3. Proporciones atendidas por los principales rellenos sanitarios y su cumplimiento normativo.

| Relleno Sanitario | Población Atendida (%) | Cumplimiento Normativo | Observaciones |
|------------------------|------------------------|------------------------|---|
| El Molle | 64,13% | Si | Atiende a la mayoría de la población regional |
| San Pedro | 22,62% | Si | Atiende comunas del interior. |
| La Hormiga | 10,75% | Si | Menor cobertura, pero relevante |
| Vertederos y basurales | 2,5% | No | Limitada capacidad y sin habilitación. |

Fuente: Estudio Diagnóstico y Catastro de RSD, año 2017, SUBDERE

Tabla C-4. Generación y reciclaje en la región y comuna de Valparaíso, 2024

| Zona | Toneladas generadas | Toneladas recicladas | Porcentaje de Reciclaje |
|----------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| Gran Valparaíso | 601.015 | 58.237 | 9,7% |
| Comuna de Valparaíso | 165.008 | 11.867 | 7,2% |

Fuente: Datos ANIR, 2024

Tabla C-5. Servicio de recolección

| Recolección Privada | | Recolección Municipal | Recolección Mixta |
|---------------------|-------------|-----------------------|-------------------|
| San Antonio | Concón | Puchuncaví | Viña del mar |
| Santo Domingo | Quilpué | Valparaíso | Quintero |
| La Ligua | Limache | Casablanca | |
| Papudo | Olmué | Villa Alemana | |
| Zapallar | Quillota | Algarrobo | |
| Petorca | Hijuelas | El Quisco | |
| Cabildo | Nogales | El Tabo | |
| Catemu | La Calera | Cartagena | |
| San Felipe | La Cruz | Llaillay | |
| San Esteban | Calle Larga | Panquehue | |
| Los Andes | | Putando | |
| | | Santa María | |
| | | Rinconada | |

Fuente: Centro de economía y administración de residuos sólidos, 2011

Tabla C-6. Gestión sostenible de materiales

| | |
|------------------------|--|
| Definición | Uso de materiales sostenibles, actividades dirigidas a reducir impactos negativos ambientales y preservar el recurso natural en todo el ciclo de vida, teniendo en cuenta la eficiencia económica y la equidad social. Se denomina “materiales” a los recursos naturales orgánicos e inorgánicos o derivados de ellos a lo largo de un ciclo de vida de un producto. |
| Recomendaciones | <p>Mejorar los conocimientos, investigación y los datos que se tienen con respecto al tema, realizar seguimientos de “Flujos de Materiales” para identificar puntos críticos que afecten al medioambiente, utilización de indicadores como los de productividad, disponibilidad de recursos naturales y flujos de materiales e impactos en el medioambiente.</p> <p>Uso de la información disponible sobre flujos de materiales para la toma de decisiones en el ámbito de planificación., promover el enfoque de integración del “Ciclo de Vida”, crear los instrumentos económicos y fomentar nuevas tecnologías e innovaciones para aumentar la eficiencia en el uso de los recursos naturales.</p> <p>Crear sistemas de control para políticas implementadas a modo de asegurar su efectividad y promover la cooperación entre las empresas y los países, sean miembros o no de la OCDE.</p> |

Fuente: Centro del Economía y Administración de Residuos Sólidos, 2011

Tabla C-7. Manejo ambientalmente racional de residuos

| | |
|------------------------|---|
| Definición | <p>Orientado principalmente a las instalaciones de recuperación y tratamiento de los residuos y tiene como objetivo promover el uso sustentable de los recursos naturales, la minimización de los residuos y la protección de la salud humana y del medioambiente.</p> <p>Lo anterior en un ambiente de “competencia justa” entre las empresas.</p> |
| Recomendaciones | <p>Contar con infraestructura adecuada en el nivel del gobierno indicado para la regulación y aplicación de las políticas de regulaciones sobre instalaciones de recuperación de residuos, monitoreo y control de los “Elementos Básicos de Comportamiento” (EBC, propuestas de condiciones y elementos con que debe contar una instalación de manejo y reciclaje de residuos) y de la legislación nacional. Aplicación de medidas de sanción.</p> <p>Asegurar el uso de las mejores técnicas disponibles en las instalaciones de manejo de residuos a través del “mejoramiento continuo”, intercambio entre las empresas, generadores de residuos, autoridades, integrar los EBC a políticas y programas públicos, incentivos y medidas de alivio a empresas que invierten en cumplimientos del EBC, implementar guía técnica sobre el tema elaborada por la OCDE, internalizar los costos ambientales y para la salud humana en el manejo de los residuos, incentivar para la participación en esquemas de reciclaje y fomentar la creación de un Régimen de Responsabilidad Ambiental para las empresas que lleven a cabo actividades riesgosas o potencialmente riesgosas, y que básicamente consisten en la prevención de daños y cierres definitivos de las faenas. Los EBC no tienen que interferir en los programas de reciclaje que pueda tener cada país.</p> |

Fuente: Centro de economía y administración de residuos sólidos, 2011

Tabla C-8. Movimiento transfronterizo de residuos

| | |
|------------------------|---|
| Definición | <p>La OCDE ha elaborado un sistema de control interno para la exportación/importación de residuos entre los países miembros.</p> |
| Recomendaciones | <p>Los países miembros de la OCDE pasan por los siguientes controles:</p> <p>Verde: si los residuos que se exportarán/importarán, caen en el apéndice 3 del documento de la OCDE “Revision Of Decision C (92)39/FINAL on The Control of Transboundary Movements of Wastes Destined for Recovery Operations”, donde incluyen los residuos del Anexo IX del Convenio de Brasilia y otros residuos considerados por la OCDE.</p> <p>Ámbar: si los residuos que se exportarán/importarán caen en el mismo Apéndice 3, donde se incluyen los residuos del Anexo VIII del Convenio de Brasilia y otros residuos adicionales considerados por la OCDE.</p> |

Fuente: Centro de economía y administración de residuos sólidos, 2011

Tabla C-9. Prevención y minimización de residuos

| | |
|------------------------|--|
| Definición | Se incluyen acciones a corto plazo como la prevención estricta del sobre-generación, reducción en fuente y reutilización. También medidas a largo plazo como la implementación de la “prevención estratégica de generación de residuos”, enfocada en el ciclo completo de vida de un producto y la diferenciación de materiales. |
| Recomendaciones | <p>Enfocar políticas de largo plazo para la reducción absoluta de los residuos (“Zero Waste”), siguiendo las experiencias exitosas de algunos países miembros.</p> <p>Tres acciones prácticas: prevención estricta de la generación de residuos, la reducción en fuente y la reutilización y a largo plazo, considera la reducción absoluta de los residuos, considerando acciones a lo largo del ciclo de vida de los productos, la distinción de materiales, la integración a aspectos socio-económicos y de mecanismos institucionales que logren a la cooperación entre distintos niveles gubernamentales.</p> <p>Enfocar la política nacional al respecto en “tres vías”: “Good Housekeeping” o mejoramiento de procesos operacionales como gestión de la calidad, eficiencia, auditorías, etc.; implementación de mejoras sustanciales en las infraestructuras y tecnologías más antiguas; y “saltos de rana” sustanciales en la prevención de residuos, sustentados en la investigación, cambios en los patrones de consumo y producción, etc.</p> <p>Poner atención en todos los niveles gubernamentales y ciudadanos, para que estén consideradas todas las etapas del ciclo de vida de los materiales.</p> <p>Aprovechar los aportes de los Stakeholders.</p> <p>Evolucionar al ritmo de los cambios de los que manejan la generación de residuos.</p> <p>La autoevaluación tiene que ser acorde a las circunstancias y realidad local, y ser lo más periódico posible. Compartir el desarrollo y participación de experiencias prácticas que lleven a cabo este concepto.</p> |

Fuente: Centro de economía y administración de residuos sólidos, 2011

Tabla C-10. Métodos normalizados para análisis bacteriológico

| Ensayo | Métodos a utilizar | Requerimiento |
|-----------------------------|---|-------------------------|
| Coliformes fecales | TMECC 07.01-B | ≤ 1000 NMP/g de compost |
| Salmonella sp. | TMECC 07.02 | 3 NMP/4 g de compost |
| Huevos viables de Helminths | US EPA modificado, Instituto Pasteur de Lille | 1/4 g de compost |

Fuente: Procedimientos análisis de parámetros instituto nacional de normalización

Tabla C-11. Especificaciones físico y químicas del humus de lombriz

| Característica | Valor |
|---|------------------------------------|
| Nitrógeno total | De 1 a 4% (base seca) |
| Materia orgánica | De 20% a 50% (base seca) |
| Relación C/N | ≤ 20 |
| Humedad | De 20 a 40% (sobre materia húmeda) |
| pH | De 5,5 a 8,5 |
| Conductividad eléctrica | ≤ 4 dS/m |
| Capacidad de intercambio catiónico | > 40 cmol/kg |
| Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico) | 0,40 a 0,90 g/ml |
| Materiales adicionados | Ausente |

Fuente: Norma mexicana vermicompostaje

Tabla C-12. Principales SIG de RSU en España

| Entidad | Descripción |
|--|---|
| Responsabilidad Ampliada del Productor del Producto | |
| ECOEMBES (Ecoembalajes España SA) Ecoembes | Fundada en 1996, esta organización sin fines de lucro se dedica a la recuperación de envases de plástico, latas y briks de los contenedores amarillos, así como de papel y cartón de los contenedores azules. También impulsa la educación ambiental, la innovación, la eficiencia y la generación de empleo. |
| ECOVIDRIO Reciclaje de envases de vidrio en España Ecovidrio | Fundada en 1998, esta organización sin ánimo de lucro es responsable de gestionar el reciclaje de residuos de vidrio en España. |
| SIGFITO (Agroenvases SL) El SCRAP para la gestión de los envases agrarios y ganaderos | Organización sin ánimo de lucro encargada de la recolección y tratamiento de residuos fitosanitarios. |
| AEVAE (Asociación Española para la Valorización de Envases) AEVAE Asociación Española para la Valorización de envases | Asociación sin ánimo de lucro encargada de la autorización y gestión del Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada para envases agrarios, que impulsa proyectos orientados a la protección ambiental y la promoción de la economía circular. |
| SIGRE (Medicamento y Medio Ambiente) Descubre SIGRE | Entidad sin ánimo de lucro encargada de la gestión ambiental de envases y residuos de medicamentos domésticos. |
| ECOPILAS (Fundación Ecopilas) HOME - Ecopilas | La fundación Ecopilas, establecida en el año 2000, actúa como un Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP) para la gestión de residuos de pilas y baterías. |

| | |
|---|--|
| SIGNUS (Signus Ecovalor) SIGNUS – Sistema Colectivo de Gestión de Neumáticos Fuera de Uso | Entidad sin ánimo de lucro, fundada en 2005, con la finalidad de garantizar la correcta gestión medioambiental del neumático al final de su vida útil. |
| TNU (Tratamiento Neumáticos Usados) Inicio - TNU | Sociedad sin ánimo de lucro, que nace para dar respuestas a la responsabilidad de los focos productores de Neumáticos Fuera de Uso (NFU), gestionando de manera eficaz. |
| SIGAUS (Sistema de gestión de aceites usados SL) Sistema de gestión de aceites industriales usados en España - SIGAUS | Sistema Integrado de Gestión de aceites industriales usados, encargado de garantizar la recogida de este residuo en toda España y darle un correcto tratamiento. |
| SIGPI Home - SIGPI | El Sistema Integrado de Gestión de Productores Independientes (SIGPI) es una organización sin ánimo de lucro fundada en 2007, dedicada a la gestión de aceites usados en todas las comunidades autónomas de España. |
| RAEE – Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos | |
| AMBILAMP Home - AMBILAMP | Asociación sin ánimo de lucro responsable por el sistema de recogida y tratamiento de residuos de lámparas y luminarias. |
| ECOASIMELEC Tragamóvil y Ecoasimelec | Organización sin ánimo de lucro especializada en la gestión de residuos de aparatos de telefonía, comunicaciones y sus accesorios. |
| ECOFIMATICA Ecofimática Recycling of office equipment - Ecofimática | Fundación de Recyclia que gestiona a nivel nacional la recogida de RAEEs, incluyendo impresoras, faxes y fotocopiadoras de origen doméstico y profesional. |
| ECOLEC ECOLEC Waste Hub Gestión de Residuos | La Fundación Ecolec es una entidad sin ánimo de lucro, creada en 2004, responsable de la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs), pilas y acumuladores. |
| ECOLUM Ecolum Reciclaje de bombillas, lámparas y luminarias | Fundación responsable por la gestión, recogida, reciclaje y valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos |
| Fundación ECO-RAEE'S Fundación Eco-Raee's – Bienvenido a Fundación Eco-Raee's | La ECO-RAEE'S es una fundación ambiental sin ánimo de lucro, creada en 2005, especializada en la gestión y asesoramiento sobre la recogida, traslado, almacenamiento y tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. |
| ECOTIC Inicio - Ecotic Entidad administradora | ECOTIC es una fundación privada sin ánimo de lucro, creada en 2005, que promueve la defensa del medio ambiente y el desarrollo sostenible mediante la sensibilización y formación de fabricantes, distribuidores y usuarios de aparatos eléctricos y electrónicos. |
| European Recycling Platform (A Landbell Group Company) Reciclaje de residuos RAEE y pilas y baterías - ERP Recycling | La ERP es un Sistema de Responsabilidad Ampliada del Productor, encargado de la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs), así como de pilas y baterías (RPAs). Fundada en 2002, opera en España desde 2005. |
| REINICIA El primer SCRAP autorizado a nivel nacional - reinicia | Asociación sin ánimo de lucro, es un Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada del Productor (SRAP), responsable por la gestión de responsabilidades ambientales en materia de aparatos eléctricos y electrónicos, además de gestionar |

| | |
|--|---|
| | residuos de pilas y acumuladores (RPA) |
| Fundación Canarias Recicla Fundación Canarias Recicla – Organización sin ánimo de lucro que tiene por objetivo mejorar el medio ambiente y contribuir al desarrollo sostenible | Creada en 2009, la Fundación Canarias Recicla, es un Sistema Integrado de Gestión, creada en 2009, para la promoción de la correcta gestión de residuos en Canarias. |
| SUNREUSE Gestión de RAEE - Scrap RAEE Sunreuse Gestión Autorizada RAEE | La Asociación Sunreuse es un Sistema Integrado de Gestión destinado al reciclaje voluntario de todo tipo de paneles solares y la gestión de residuos de equipos eléctricos y electrónicos, además de baterías, equipamientos de monitoreo y pérdidas de producción. |

Fuente: Plan de gestión de residuos sólidos urbanos, propuesta para la ciudad de Itabaianinha desde buenos ejemplos españoles, 2021

Tabla C-13. Resultados de análisis de laboratorio con norma mexicana de vermicompostaje

| Característica | Valor obtenido en vermicompostera | Cumplimiento de norma Vermicompostera |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Nitrógeno total | 0,99 % | Cumple |
| Materia orgánica | 38,57 % | Cumple |
| Relación C/N | 22,38 | Cumple |
| Humedad | 5,41 % | No cumple |
| pH | 9,1 | Cumple |
| Conductividad eléctrica | 1,376 dS/m | No cumple |
| Capacidad de intercambio catiónico | 209 cmol/Kg | Cumple |
| Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico) | 0,62 g/mL | Cumple |
| Coliformes fecales | >1000 NMP/g de humus | No cumple |
| Salmonella sp. | > 3 NMP/4 g de humus | No cumple |

Fuente: Resultados de parámetros de interés estudiados en laboratorio según requerimiento del proyecto

Tabla C-14. Comparación normativa del modelo de gestión de residuos entre Chile y Euskadi

| Aspectos | Chile | España-Euskadi | Comentarios y/o complementos para Chile |
|------------------------------|--|---|--|
| Normativa principal | Ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente [47]. Ley 20.920 de REP. Ley 21.368 de plásticos de un solo uso. Ley 21.349 de fertilizantes y bioestimulantes. | Ley 7/2022. Residuos y suelos contaminados. Decreto 49/2009. Gestión de Vertederos. Decreto 63/2019. Compostaje comunitario. Real Decreto 208/2022. Garantías financieras en residuos. | Integrar un enfoque de economía circular más amplio, siguiendo el modelo de la Ley 7/2022 de España. |
| Jerarquía de residuos | Establecida en la Ley | Ley 7/2022. adoptada, | Incluir un enfoque |

| | | | |
|---------------------------------------|--|---|--|
| | REP: prevención, reutilización, reciclaje, valorización y eliminación. | con priorización similar: prevención y reciclaje antes de vertederos. Residuos y suelos contaminados. PPGR 2030: priorizan prevención y reciclaje; metas claras de reducción de vertederos. | estratégico como el PPGR 2030 para articular las metas de la Ley REP con indicadores de seguimiento y evaluación periódica. Fortalecer la jerarquía de residuos con metas claras de reducción de vertederos como en Euskadi. |
| Compostaje comunitario | Normativa de compostaje 2880 de calidad de compost. Ley N° 21.349. Establece normas sobre composición, etiquetado y comercialización de los fertilizantes y bioestimulantes comercialización de fertilizantes. Experiencias limitadas en compostaje y vermicompostaje comunitario; faltan regulaciones específicas. | Regulación técnica detallada en el Decreto 63/2019: incluye parámetros técnicos y capacitación obligatoria para usuarios. | Crear un marco legal que promueva el compostaje comunitario, tomando como referencia el Decreto 63/2019. |
| Manejo de plásticos | Ley 21.368 Regula plásticos de un solo uso y fomenta envases retornables. | Ley 7/2022 y Real Decreto 293/2018 de bolsas plásticas, incluyendo metas de reducción estrictas y registro de productores. | Introducir metas más ambiciosas de reducción de plásticos y mejorar la fiscalización del cumplimiento. Incorporar medidas de monitoreo continuo y criterios estrictos para ubicación de rellenos sanitarios como en el Decreto 49/2009. |
| Rellenos sanitarios/Vertederos | Alta dependencia; DS 148/2003 para residuos peligrosos. Decreto 189/2008 rellenos sanitarios. | Decreto 49/2009 Estrictamente limitados, priorizando reciclaje y valorización. | Reducir la dependencia de vertederos mediante incentivos para reciclaje y valorización. |
| Educación ambiental | Mencionada en la Ley REP, pero con implementación limitada. | Educación ambiental como eje clave en todas las normativas, con programas de sensibilización ciudadana obligatorios. | Desarrollar campañas permanentes de educación y participación ciudadana. |
| Fiscalización y control | Superintendencia del Medio Ambiente SMA para cumplimiento normativo. | Sistema descentralizado: ayuntamientos y agencias autonómicas con control riguroso. Sistema descentralizado con apoyo del eSIR: facilita el seguimiento en tiempo real y | Incorporar un sistema electrónico nacional que centralice el monitoreo y facilite la fiscalización eficiente, basado en el modelo del eSIR. Aumentar la descentralización y el rol de municipios para un monitoreo más efectivo. |

| | | | |
|------------------------------------|---|--|--|
| | | promueve la transparencia en la gestión. | |
| Incentivos económicos | Limitados a ciertos productos bajo la Ley REP. | Tarificación según cantidad de residuos generados y recompensas para prácticas sostenibles. | Introducir tarifas variables según generación de residuos para fomentar la reducción y reciclaje. |
| Tecnologías de valorización | En desarrollo; experiencias de valorización energética son incipientes. | Avanzadas en reciclaje y compostaje, con tecnologías consolidadas para valorización material y energética. | Invertir en investigación y desarrollo tecnológico en valorización material y energética. |
| Garantías Financieras | No especificadas en normativas actuales; el Decreto 189/2008 exige planes de cierre, pero sin requisitos financieros. | Real Decreto 208/2022: exige garantías financieras para cubrir costos de gestión y restauración en caso de incumplimiento. | Incorporar un sistema de garantías obligatorias para respaldo económico en la gestión y cierre de rellenos sanitarios, para evitar externalizar costos ambientales y asegurar responsabilidad. |

Fuente: Aspectos normativos analizados

Tabla C-15. Empresas productoras de vermicompost

| Empresa | Producto | Precio CLP | Referencia |
|---------------------------|-----------------------|-------------------|---|
| Bondadosa Pachamama [6]. | Humus (saco de 20 kg) | \$ 13.000 | Products – BondadosaPachamama – LombriCultura |
| Lombricultura Chile [37]. | Humus (saco de 20 kg) | \$ 12.000 | Abono Organico / Humus de Lombriz |
| Humus de Chile | Humus (saco de 20 kg) | \$ 19.000 | Humus y Lombrices |
| Agripower humus [1]. | Humus (saco de 20 kg) | \$ 13.000 | humusagripower – humusagripower |

Fuente: Algunas organizaciones chilenas encontradas navegando en internet

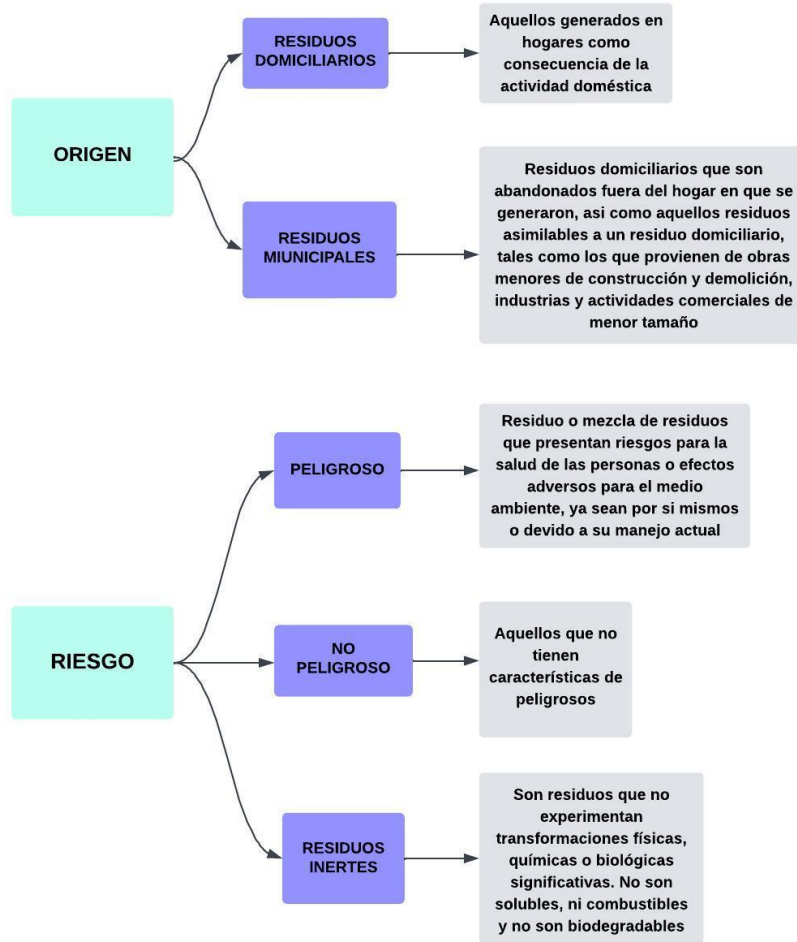
Tabla C-16. Materiales vermicompostera madera

| Materiales | Cantidad | Valor \$ | Total \$ |
|---|----------|----------|-------------------|
| Pino dimensionado 1x4" verde | 1 | 1290 | 1290 |
| Pino dimensionado 2x3" verde | 12 | 2990 | 35880 |
| Pino dimensionado 2x6" verde | 6 | 7190 | 43140 |
| Forro cabaña tinglado 3/4x5" | 30 | 3090 | 92700 |
| Fiber block aislante rinde 6m2 FELTEX | 1 | 11990 | 11990 |
| Fiber block aislante rinde 4m2 FELTEX | 1 | 6990 | 6990 |
| Bisagras colonial 25x25 SCANAVINI | 3 | 7590 | 22770 |
| Plancha zincalum 0,30x851x2500 mm | 3 | 10150 | 30450 |
| Plancha zincalum liso 0,30x1000x3000 mm | 3 | 8990 | 26970 |
| Tornillos de techo 2 1/2 " x 10 (caja 50 u) | 1 | 4090 | 4090 |
| Tornillos madera 2 1/2 " (caja 100 u) | 1 | 3200 | 3200 |
| Tornillos madera 3/4 " (caja 150 u) | 1 | 2200 | 2200 |
| Tornillos autoperforante zinc (caja 50 u) | 1 | 1000 | 1000 |
| Ruedas 85 mm (275 kg) | 4 | 10990 | 43960 |
| Polietileno negro Iberica 3m x 8m | 2 | 3590 | 7180 |
| Grapas galvanizadas 100grs. | 3 | 1590 | 4770 |
| Malla galvanizada para tamiz | 1 | 70980 | 70980 |
| Lombrices | 1 | 30000 | 30000 |
| Mangueras | 2 | 8990 | 17980 |
| Carretilla 60 l | 1 | 49990 | 49990 |
| Medidor de pH y T° | 1 | 53538 | 53538 |
| Pala | 1 | 7390 | 7390 |
| Mano de obra | 1 | 1000000 | 1000000 |
| Total \$ | | | \$ 1568458 |

Fuente: Cotización materiales vermicompostera

ANEXO D: ESQUEMAS CONCEPTUALES

Diagrama D-1. Clasificación de residuos sólidos



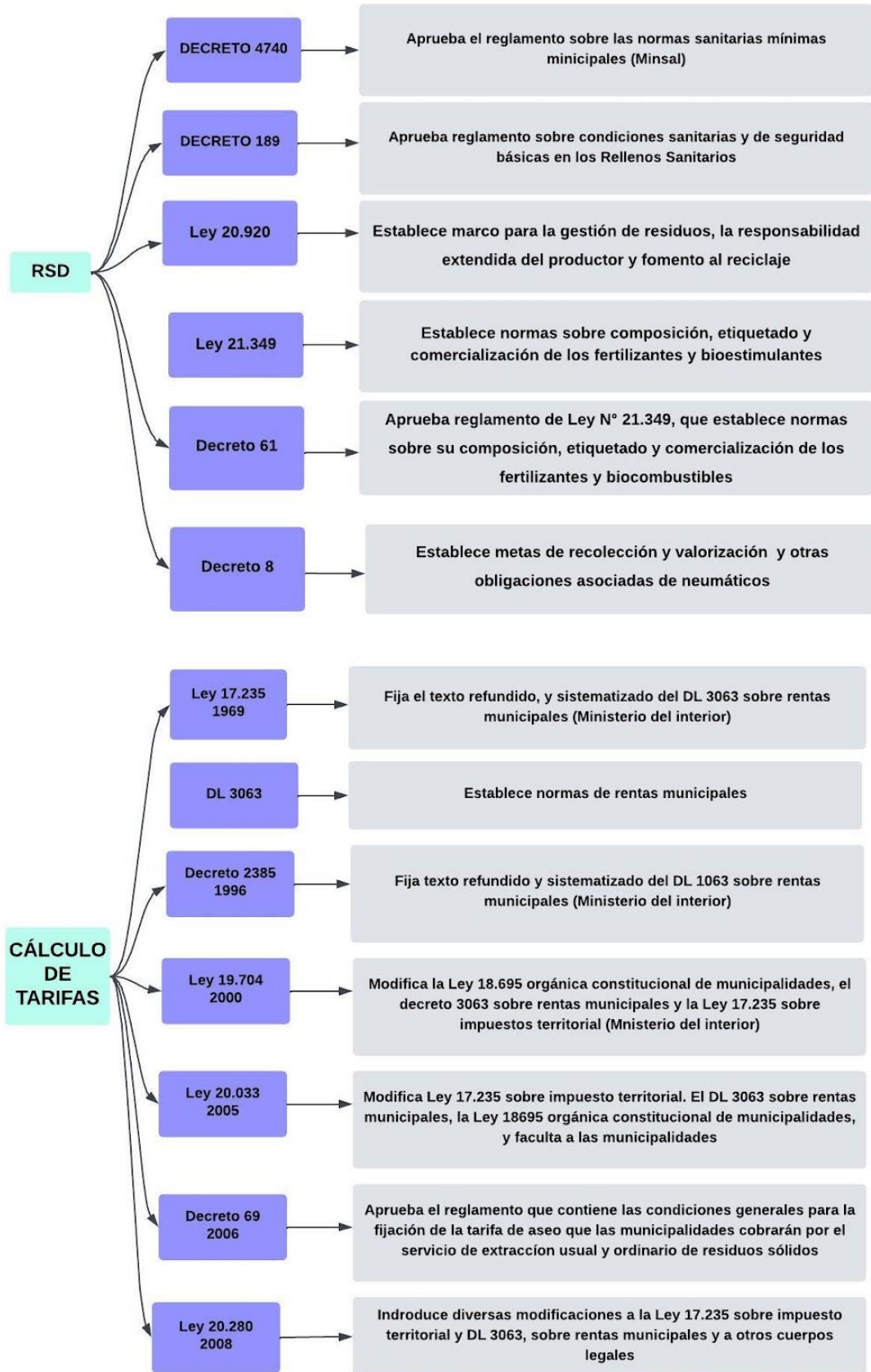
Fuente: Centro de economía y administración de residuos sólidos, 2011

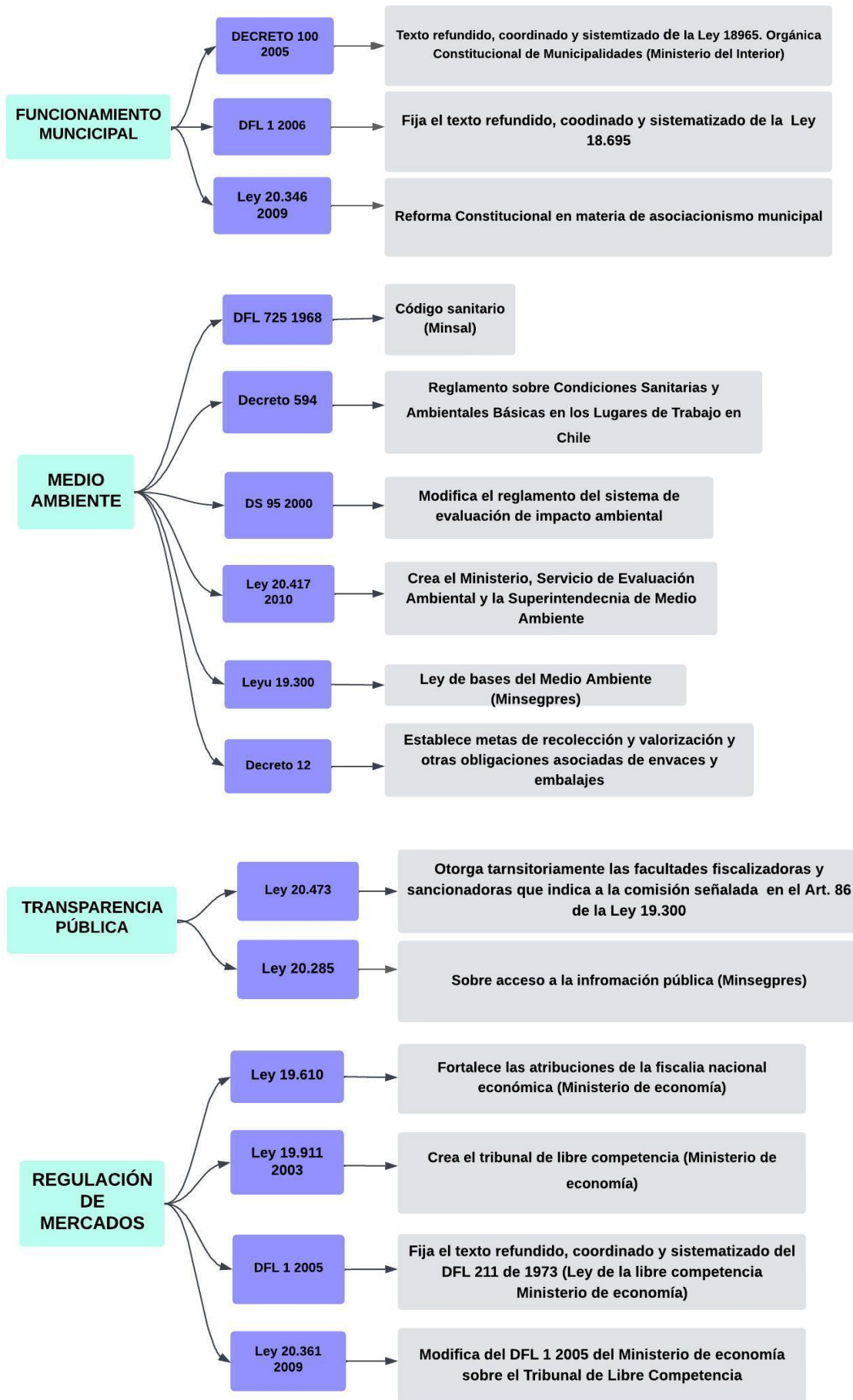
Diagrama D-2. Línea de tiempo relleno sanitario El Molle



Fuente: Hitos cronológicos relleno sanitario El Molle

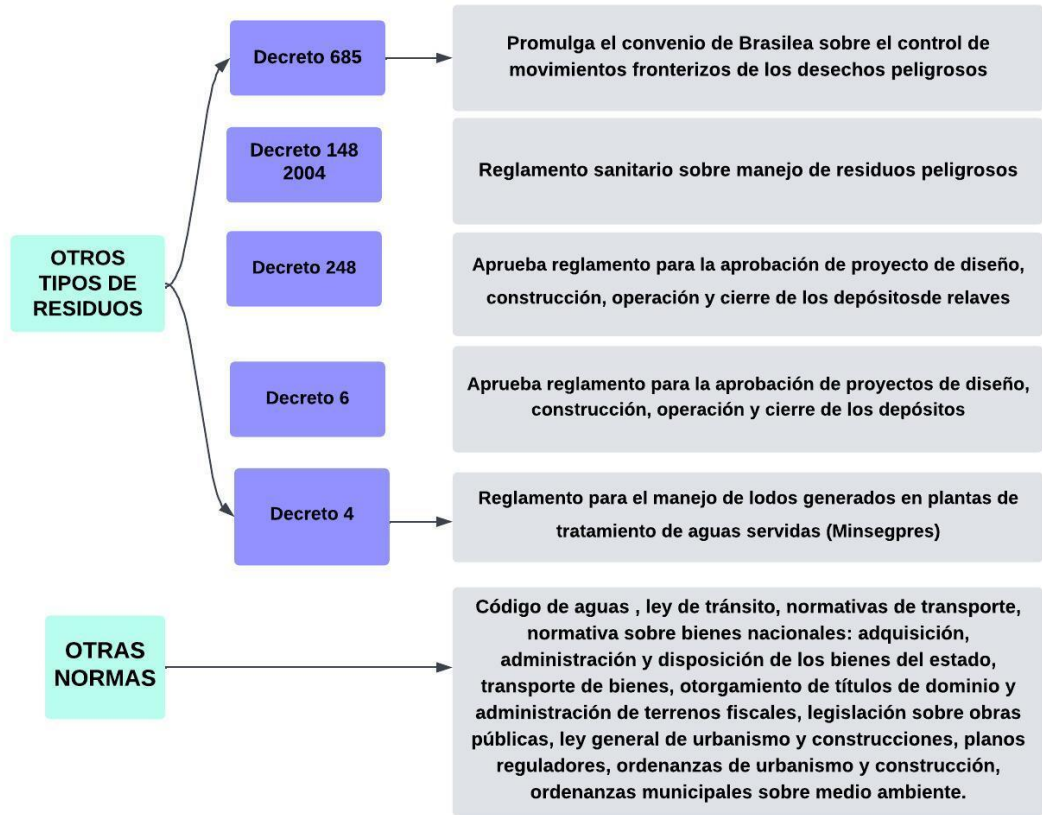
Diagrama D-3. Normativa residuos sólidos relacionada directamente





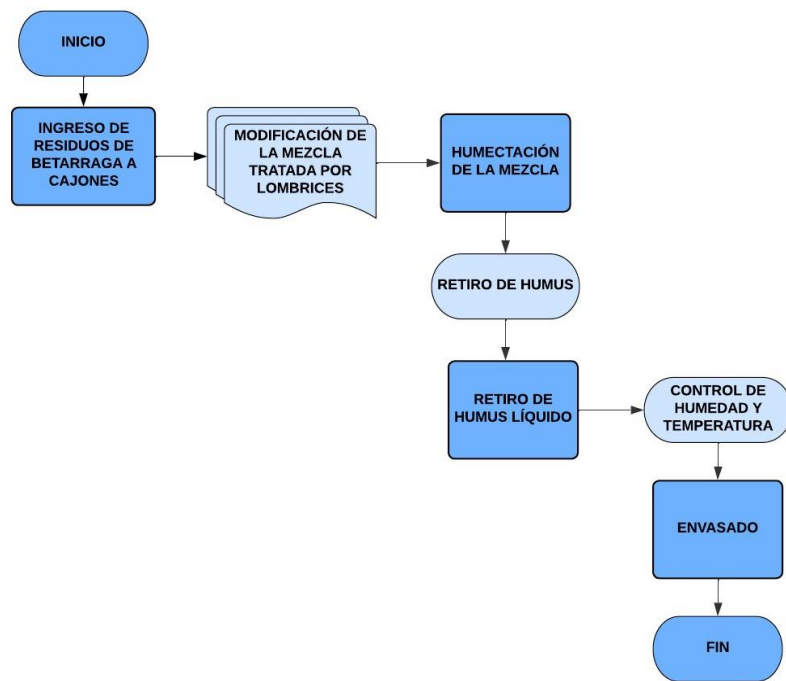
Fuente: Centro de economía y administración de residuos sólidos, 2011

Diagrama D-4. Normativa de residuos sólidos relacionada indirectamente



Fuente: Centro de economía y administración de residuos sólidos, 2011

Diagrama D-5. Diagrama de flujo proceso de vermicompostaje



Fuente: proceso tradicional de vermicompostaje