

18 de octubre del 2023

## Informe de avance N°1

# “Propuesta de instrumentos y medidas de mitigación para el sector residuos”

**Elaborado por:**

ImplementaSur (Asesorías en Negocios y  
Sustentabilidad SpA).

**Requerido por:**



## Índice de contenidos

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>2. CONTEXTO NORMATIVO, ESTRATÉGICO Y TECNOLÓGICO</b> .....	<b>13</b>
2.1. Instrumentos normativos y estratégicos .....	13
2.1.1. Compromisos internacionales.....	13
2.1.2. Leyes y proyectos .....	14
2.1.3. Reglamentos y proyectos .....	19
2.1.4. Instrumentos de política pública.....	21
<b>3. RESULTADOS PRELIMINARES</b> .....	<b>25</b>
3.1. PRODUCTO A: Fichas de sistema de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados.....	25
3.1.1. Compostaje .....	26
3.1.2. Digestión anaeróbica.....	30
3.1.3. Captura de gas en rellenos sanitarios .....	34
3.2. PRODUCTO B: Levantamiento de conocimiento de actores clave.....	38
3.3. PRODUCTO C: Evaluación de costos y curva MAC .....	44
3.3.1. Definición del alcance de las medidas.....	45
3.3.2. Línea base.....	49
3.3.3. Análisis de distribución regional de medidas.....	54
3.3.4. Análisis distribución temporal de medidas .....	62
3.3.5. Estimación de costo abatimiento.....	65
3.4. PRODUCTO D: Fichas de caracterización y descripción de medidas seleccionadas. ....	78
3.4.1. Compostaje .....	79
3.4.2. Digestión Anaeróbica .....	85
3.4.3. Captura de gas de relleno sanitario .....	87
3.4.4. Medidas complementarias.....	90
3.5. PRODUCTO E: Análisis de las barreras, riesgos y oportunidades.....	93
3.6. PRODUCTO F: <i>Benchmark</i> internacional de medidas .....	100
3.7. PRODUCTO G: Cadenas causales por medida .....	106
3.8. Metas de mitigación sectoriales.....	116
3.9. Metas de implementación según diversos instrumentos de política pública.....	119
<b>4. CONCLUSIONES GENERALES Y PRÓXIMOS PASOS</b> .....	<b>124</b>
<b>5. REFERENCIAS</b> .....	<b>129</b>
<b>6. ANEXOS</b> .....	<b>133</b>

6.1.	Anexo 1: Ejemplos de proyectos implementados en Chile .....	133
6.2.	Anexo 2: Minutas de entrevistas a actores clave .....	133
6.2.1.	Entrevista Municipalidad de Santa Juana .....	133
6.2.2.	Entrevista Andrea Arriagada .....	137
6.2.3.	Entrevista Economía Circular MMA .....	140
6.2.4.	Entrevista ENC Energy .....	143
6.2.5.	Entrevista Santa Marta .....	147
6.2.6.	Entrevista Armony .....	150
6.2.7.	Entrevista GMH .....	153
6.2.8.	Entrevista Minsal .....	156
6.2.9.	Entrevista Municipalidad de Peñalolén .....	158
6.2.10.	Entrevista Schwager .....	162
6.2.11.	Entrevista Red de Alimentos .....	164
6.2.12.	Entrevista SUBDERE .....	166
6.3.	Anexo 3: Metodología y supuestos Curva MAC .....	170
6.3.1.	Definición de las medidas y su distribución .....	170
6.3.2.	Identificación de zonas climáticas en Chile .....	180
6.3.3.	Costo anual equivalente por medida .....	180
6.3.4.	Estimación del potencial de mitigación .....	185

## Índice de figuras

Figura 2-1 instrumentos	normativos y estratégicos vinculados a la acción climática en materia de gestión de residuos .....	13
Figura 2-2.	Instrumentos de política pública de la Ley Marco de Cambio Climático .....	24
Figura 3-1:	Distribución por tipo de residuo .....	53
Figura 3-2:	Cantidad de residuos tratados por medida. ....	64
Figura 3-3:	Potencial de mitigación por medida en el tiempo. Fuente: Elaboración propia .....	70
Figura 3-4:	Curva MAC para la Medida 1 de compostaje domiciliario en viviendas .....	73
Figura 3-5:	Curva MAC para la Medida 2 de compostaje en establecimientos educacionales. ....	74
Figura 3-6:	Curva MAC para la Medida 3 de compostaje a gran escala .....	75
Figura 3-7:	Curva MAC para la Medida 4 de digestión anaeróbica .....	76
Figura 3-8:	Curva MAC para el conjunto de medidas .....	77
Figura 3-9:	Cadena causal de medida 1 .....	109
Figura 3-10:	Cadena causal de medida 2 .....	110
Figura 3-11:	Cadena causal de medida 3 .....	111
Figura 3-12:	Cadena causal de medida 4 .....	112

Figura 3-13: Cadena causal de medida 5 y 6.....	113
Figura 3-14: Cadena causal de medida 7 .....	114
Figura 3-15: Cadena causal de medida 8 .....	115

## Índice de tablas

Tabla 1-1 Actividades y productos por informe técnico .....	11
Tabla 3-1: Ficha descriptiva de compostaje domiciliario .....	26
Tabla 3-2: Ficha descriptiva de compostaje a gran escala .....	27
Tabla 3-3: Ficha comparativa de los tipos de tecnologías de compostaje.....	28
Tabla 3-4: Ficha descriptiva digestión anaeróbica .....	30
Tabla 3-5: Ficha comparativa de los tipos de tecnologías de digestión anaeróbica.....	32
Tabla 3-6: Ficha descriptiva captura y destrucción de gas en relleno sanitarios.....	34
Tabla 3-7: Ficha comparativa de los tipos de tecnologías de captura de gas.....	35
Tabla 3-8. Listado de entrevistados y fechas de ejecución de entrevistas .....	38
Tabla 3-9 Valores de costos, capacidad y mitigación de GEI entregadas por entrevistados.....	39
Tabla 3-10 Sistematización de resultados de entrevistas en relación a co-beneficios de medidas pre-evaluadas.....	40
Tabla 3-11 Sistemas de manejo de residuos orgánicos complementarios mencionado por los entrevistados.....	41
Tabla 3-12 Medidas a evaluar. ....	48
Tabla 3-13: Total de residuos municipales por región (kton) .....	50
Tabla 3-14: Total de residuos industriales por región.....	50
Tabla 3-15: Total de residuos orgánicos municipales por región (kton).....	51
Tabla 3-16: Total papel y cartón en residuos municipales por región (kton) .....	51
Tabla 3-17: Total de residuos orgánicos en residuos industriales (kton).....	51
Tabla 3-18: Total de papel en residuos industriales (kton).....	52
Tabla 3-19: Cantidad de residuos municipales por tipo de sitio de disposición final. ....	53
Tabla 3-20: Cantidad de residuos industriales por tipo de sitio de disposición final.....	53
Tabla 3-21 Distribución de comunas por región por puntuación en ejercicio de priorización Programa Reciclo Orgánicos Chile. ....	54
Tabla 3-22 Nivel de prioridad regional según urgencias y consideraciones territoriales .....	55
Tabla 3-23. Distribución regional de cada medida a evaluar .....	60
Tabla 3-24. Distribución temporal de cada medida a evaluar .....	62
Tabla 3-25 Resumen de zonas climáticas por Región. ....	65
Tabla 3-26 Sistema de manejo de residuos de compostaje prioritaria por región.....	65
Tabla 3-27 Resumen de zonas climáticas por región. ....	66
Tabla 3-28 Costos por medida evaluada. ....	67
Tabla 3-29 Costos por medida evaluada. ....	68
Tabla 3-30 Análisis entre el potencial de mitigación estimado y el pre-evaluados. ....	69
Tabla 3-31 Proporción de las emisiones del escenario con proyecto generadas por el uso de combustibles y electricidad,,.....	71

Tabla 3-32 Ficha medida de compostaje domiciliario en viviendas.....	79
Tabla 3-33: Ficha medida de compostaje domiciliario en establecimientos educacionales. ....	81
Tabla 3-34: Ficha medida de compostaje a municipal a gran escala .....	83
Tabla 3-35: Ficha medida de digestión anaeróbica para residuos orgánicos industriales.....	85
Tabla 3-36: Ficha medida de captura de gas de relleno sanitario en relleno sanitarios existentes .	87
Tabla 3-37: Ficha medida de captura de gas de relleno sanitario en relleno sanitarios nuevos .....	88
Tabla 3-38: Ficha medida de reciclaje de papel y cartón .....	90
Tabla 3-39: Ficha medida de reducción de desperdicio de alimentos.....	91
Tabla 3-40. Sistematización de resultados de entrevistas relativos a barreras de implementación	94
Tabla 3-41. Sistematización de resultados de entrevistas relativos a riesgos .....	97
Tabla 3-42. Sistematización de resultados de entrevistas relativos a oportunidades y condiciones habilitantes.....	98
Tabla 3-43: Ejemplos de medidas e iniciativas implementadas internacionalmente.....	104
Tabla 3-44 Asignación sectorial del presupuesto de emisiones .....	116
Tabla 3-45 Emisiones por categoría y subcategoría INGEI imputada al Ministerio de Salud (ktCO <sub>2</sub> eq), serie 1990-2020.....	117
Tabla 3-46 Datos de actividad y fuentes de información para la estimación del nivel de actividad de categorías INGEI imputadas al MINSAL.....	118
Tabla 3-47. Objetivos de implementación de medidas para la reducción de emisiones del sector residuos según diversos instrumentos de política pública .....	121
Tabla 6-1 Parámetros para la estimación de la capacidad de residuos tratados de por un equipo de compostaje domiciliario – Medida 1.....	170
Tabla 6-2 Cantidad de viviendas por región – Medida 1.....	170
Tabla 6-3 Cantidad de equipos por región – Medida 1.....	171
Tabla 6-4 Parámetros para la estimación de la capacidad de residuos tratados de por un equipo de compostaje domiciliario en establecimientos educacionales – Medida 2. ....	172
Tabla 6-5 Cantidad de establecimientos educacionales por región – Medida 2. ....	173
Tabla 6-6 Cantidad de equipos por región – Medida 2.....	173
Tabla 6- Cantidad de proyectos de compostaje por región 2025 – 2030, Medida 3.....	174
Tabla 6- Cantidad de proyectos de compostaje por región 2030 – 2040, Medida 3.....	175
Tabla 6-9 Cantidad de proyectos de digestión anaeróbica por región 2025 – 2030, Medida 4. ....	176
Tabla 6-10 Cantidad de proyectos de digestión anaeróbica por región 2030 – 2040, Medida 4...	177
Tabla 6-11 Rellenos sanitarios y su funcionamiento, Medida 5 y 6.....	178
Tabla 6-12 Zonas climáticas por región.....	180
Tabla 6-13 Parámetros transversales para la estimación de costos anuales equivalentes. ....	180
Tabla 6-14 Parámetros ponderados por región.....	181
Tabla 6-15 Parámetros ponderados por zona climática. ....	181
Tabla 6-16 Medida 1 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes. ....	182
Tabla 6-17 Medida 2 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes. ....	182
Tabla 6-18 Medida 3 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes. ....	182
Tabla 6-19 Medida 4 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes. ....	183
Tabla 6-20 Medida 5 y 6 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes.....	184
Tabla 6-21 Medida 7 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes. ....	184
Tabla 6-22 Medida 8 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes. ....	185

Tabla 6-23 Medida 1 Costo anual equivalente por zona climática. ....	185
Tabla 6-24 Parámetros por región .....	185
Tabla 6-25 Parámetros ponderados por zona climática. ....	186
Tabla 6-26 Parámetros transversales para la estimación del potencial de mitigación.....	186
Tabla 6-27 Medida 1 y 2 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación. ....	187
Tabla 6-28 Medida 3 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación. ....	187
Tabla 6-29 Medida 4 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación. ....	188
Tabla 6-30 Medida 5 y 6 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación. ....	188
Tabla 6-31 Medida 8 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación. ....	188
Tabla 6-32 Potencial de mitigación de cada medida. ....	189

## ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

APP	Asociaciones Público-Privadas
CAPEX	Gasto de Capital
CIT	Centro de Tratamiento Integral
COP	Conferencia de las Partes
ECLP	Estrategia Climática de Largo Plazo
ENRO	Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos 2040
FNDR	Fondo Nacional de Desarrollo Regional
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GMH	Global Methane Hub
GMP	Global Methane Pledge
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario de Chile
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
LMCC	Ley Marco de Cambio Climático
LFGE	Captura de Gas de Relleno Sanitario (en inglés)
MAC	Curva Marginal de Abatimiento
MINSAL	Ministerio de Salud
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
ONG	Organización No Gubernamental



OPEX	Gasto de Operación
PAYT	Quien contamina paga ( <i>Pay As You Throw</i> por sus siglas en inglés)
PIB	Producto Interno Bruto
PNRS	Programa Nacional de Residuos Sólidos
PROT	Plan Regional de Ordenamiento Territorial
PSM	Plan Sectorial de Mitigación
RCA	Resolución de Calificación Ambiental
REP	Responsabilidad Extendida del Productor
RETC	Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes
RS	Relleno Sanitario
RSD	Residuos Sólidos Domiciliarios
RI	Residuos Inorgánicos
RO	Residuos Orgánicos
RSEIA	Reglamento de Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SAG	Servicio Agrícola y Ganadero de Chile
SEIA	Sistema de Evaluación Impacto Ambiental
SINADER	Sistema Nacional de Declaración de Residuos Sólidos
SUBDERE	Subsecretaría de Desarrollo Regional
UTCUTS	Uso De Tierra, Cambio De Uso De Tierra Y Silvicultura
VAN	Valor Actual Neto



## GLOSARIO

<b>Aireación Forzada</b>	Inyección de aire al material en proceso de compostaje por medio de métodos mecánicos manuales.
<b>Barreras</b>	Obstáculos, desafíos o dificultades que puedan surgir y dificultar la implementación exitosa de las medidas de mitigación.
<b>Compostaje</b>	Proceso de descomposición aeróbica de mezcla de residuos orgánicos gracias a la acción de microorganismos.
<b>Condiciones aerobias</b>	Situación en la cual el sustrato en descomposición tiene alta disponibilidad de oxígeno para los microorganismos.
<b>Condiciones habilitantes o facilitadoras</b>	Factores necesarios o que aportarían a que sea posible una correcta y completa ejecución de la medida y el cumplimiento de su objetivo.
<b>Co-beneficios</b>	Ventajas derivadas de la medida implementada que no estén relacionadas con las emisiones de GEI.
<b>Licencia social</b>	Respaldo y consentimiento de la comunidad para llevar a cabo proyectos y operaciones de manera sostenible y exitosa.
<b>Lixiviado</b>	Líquido que ha percolado o drenado a través de un residuo y que contiene componentes solubles de este.
<b>Medidas complementarias</b>	Conjunto de medidas con el potencial de reducir emisiones de GEI que no se asocian a los sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados por el sector residuos.
<b>Medidas de mitigación</b>	Actividad concreta orientada a reducir las emisiones de GEI y otros forzantes climáticos con el fin de limitar los efectos adversos del cambio climático.
<b>Medios de implementación</b>	Acción, medida o proceso que se requieren para la implementación de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.
<b>Permisología</b>	Proceso de obtención de permisos para cumplir con los requisitos legales para realizar una actividad específica.

<b>Presupuesto de GEI</b>	Cantidad máxima de emisiones de GEI acumuladas, comprometidas para un período determinado de tiempo y asignadas a nivel nacional o de forma sectorial.
<b>Residuos domiciliarios</b>	Desechos sólidos, basuras o desperdicios generados en viviendas y en establecimientos como edificios, locales comerciales, hoteles, establecimientos educacionales y cárceles.
<b>Residuos industriales</b>	Desechos generados como resultado de las actividades productivas y operativas de industrias, los cuales pueden ser sólidos, líquidos, gaseosos, biológicos y/o peligrosos.
<b>Residuos orgánicos</b>	Residuos de origen vegetal o animal, compuestos fundamentalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. De esta forma, se consideran residuos orgánicos como restos de frutas y verduras, alimentos, restos de poda y jardín, y otros similares. El papel y cartón también corresponden a un residuo orgánico, pero en el presente informe se hará mención a este residuo como "Papel y Cartón".
<b>Riesgos</b>	Factores que podrían perjudicar la implementación y eficacia de la medida.
<b>Soberanía Alimentaria</b>	Empoderamiento de comunidades locales, promoviendo sistemas alimentarios socialmente justos y ambientalmente sostenibles.
<b>Valorización</b>	Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos. Comprende la preparación para la reutilización, el reciclaje y la valorización energética.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe, elaborado por ImplementaSur para el Ministerio de Medio Ambiente de Chile (MMA), muestra los resultados preliminares del proyecto **“Propuesta de instrumentos y medidas de mitigación para el sector residuos”** que tiene por objetivos caracterizar, evaluar y priorizar medidas de mitigación del sector residuos, además de definir indicadores de monitoreo, reporte y verificación (MRV) y proponer medidas asociadas a medios de implementación (acciones habilitantes en torno a capacidades, transferencia tecnológica y financiamiento) para el sector residuos.

Las medidas e indicadores que sean propuestos como resultado de la presente consultoría realizada al MMA representarán un insumo para la elaboración del Plan Sectorial de Mitigación que debe ser desarrollado por el Ministerio de Salud para dar cumplimiento al presupuesto sectorial de emisiones de gases de efecto invernadero estipulado en la Estrategia Climática de Largo Plazo 2020-2050.

El proyecto contempla el desarrollo de 22 actividades que permitirán generar 14 productos (Tabla 1-1). De acuerdo con la planificación de entregables acordada con la contraparte, **en este documento de avance se presentan los resultados preliminares de los productos A al G asociados a las actividades 1 a 15.**

Tabla 1-1 Actividades y productos por informe técnico

	Actividad	Productos
Informe de Avance 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Actividad 1:</b> Descripción de las medidas pre-evaluadas</li> <li>• <b>Actividad 2:</b> Identificación de las necesidades y oportunidades de implementación de las medidas de mitigación pre-evaluadas.</li> <li>• <b>Actividad 3:</b> Validación de las medidas de mitigación pre-evaluadas y levantamiento de posibles medidas complementarias a través de actores relevantes</li> <li>• <b>Actividad 4:</b> Determinación del costo de abatimiento para cada medida</li> <li>• <b>Actividad 5:</b> Obtención de las Curvas de costos marginales de reducción</li> <li>• <b>Actividad 6:</b> Análisis de costo-efectividad de cada una de las medidas</li> <li>• <b>Actividad 7:</b> Priorización de las medidas seleccionando las que permitan cumplir con el presupuesto sectorial establecido por la ECLP</li> <li>• <b>Actividad 8:</b> Análisis de coherencia entre las medidas priorizadas, como grupo de medidas, proponiendo la alternativa más eficaz para la correcta sinergia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Fichas de sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluadas<sup>1</sup></li> <li>B. Levantamiento de conocimiento con actores clave en el sector público, academia, Organizaciones No Gubernamentales (ONG), entre otros, para la evaluación de sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados y complementarios</li> <li>C. Evaluación de costos de cada una de las medidas y propuesta gráfica de curvas MAC.</li> <li>D. Ficha de caracterización y descripción de las medidas de mitigación seleccionadas.</li> <li>E. Análisis de las barreras, riesgos y oportunidades, evaluando y comprobando factibilidad a través de entrevista/encuesta con actores claves.</li> <li>F. <i>Benchmark</i> nacional e internacional de medidas similares a las priorizadas.</li> <li>G. Desarrollo de Cadena Causal de cada medida priorizada a través de propuesta gráfica.</li> </ul>

<sup>1</sup> El título original del Producto A es Fichas de medidas pre-evaluadas. Sin embargo, dado que las bases plantean conceptos generales y no medidas concretas, se referirá a él como “Fichas de sistemas de manejo pre-evaluadas”. Estos sistemas de tratamiento son presentados como un conjunto de medidas en el Producto D.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Actividad 9:</b> Estimación de la trayectoria de mitigación para el sector y evaluación del cumplimiento del grupo de medidas seleccionadas</li> <li>• <b>Actividad 10:</b> Determinación del potencial de mitigación en el periodo 2020-2050</li> <li>• <b>Actividad 11:</b> Identificación de los beneficios asociados a la adaptación de las medidas, cuando corresponda</li> <li>• <b>Actividad 12:</b> Análisis de costos y beneficios sociales</li> <li>• <b>Actividad 13:</b> Especificación de las barreras para la implementación de medidas de mitigación</li> <li>• <b>Actividad 14:</b> Definición de los co-beneficios y costos sociales y ambientales de cada medida</li> <li>• <b>Actividad 15:</b> Evaluación de los riesgos sociales, ambientales y económicos asociados a cada medida</li> </ul>	
Informe de Avance 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Actividad 16:</b> Identificación de posibles indicadores de MRV por medida</li> <li>• <b>Actividad 17:</b> Determinación de la metodología de cálculo del indicador</li> </ul>	<p>H. Propuesta de indicadores para el monitoreo, reporte y verificación del avance del cumplimiento de la medida de mitigación, en línea con los principios de los PSM y ECLP.</p> <p>I. Ficha de los medios de implementación asociados a las medidas.</p> <p>J. Levantamiento de conocimientos obtenidos a través de ejercicio de elicitación con actores clave en el sector público, academia, ONG, entre otros.</p> <p>K. Propuesta de cronograma para la puesta en marcha de la implementación de las medidas.</p>
Informe Final	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Actividad 18:</b> Identificación de medidas asociadas a medios de implementación</li> <li>• <b>Actividad 19:</b> Detalle de los medios de implementación para cada medida</li> <li>• <b>Actividad 20:</b> Definición de los instrumentos públicos por medio de los cuales se ejecutará la medida</li> <li>• <b>Actividad 21:</b> Determinar el impacto en los instrumentos públicos y las medidas presentadas</li> <li>• <b>Actividad 22:</b> Proponer mesas de trabajo público-privadas que faciliten la implementación de las medidas</li> </ul>	<p>L. Levantamiento de los instrumentos públicos necesarios y actores públicos y privados competentes.</p> <p>M. Propuesta gráfica, mapa, de los actores clave para la implementación de la medida con sus vínculos y asociaciones, especificando gobernanza.</p> <p>N. Reporte del trabajo a realizarse a través de la mesa de trabajo público privada para facilitar la implementación de las medidas.</p>

Fuente: Elaboración propia.

## 2. CONTEXTO NORMATIVO, ESTRATÉGICO Y TECNOLÓGICO

### 2.1. Instrumentos normativos y estratégicos

Variados son los compromisos internacionales, normas e instrumentos de política pública que se vinculan con la acción climática nacional en materia de gestión de residuos. A continuación, se describe brevemente cada uno de los instrumentos listados en la siguiente figura.

Figura 2-1 Instrumentos normativos y estratégicos vinculados a la acción climática en materia de gestión de residuos

Compromisos internacionales	Leyes	Reglamentos	Instrumentos de política pública
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional</li> <li>• Methane Pledge 2022</li> <li>• Kumming-Montreal Biodiversity Framework</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley N° 18.695: Orgánica de Municipalidades</li> <li>• Ley N° 19.300: Bases del Medio Ambiente</li> <li>• Ley N° 20.412: Sustentabilidad de Suelos Agropecuarios</li> <li>• Ley N° 20.879: Transporte de desechos</li> <li>• Ley N° 20.920: Ley REP</li> <li>• Ley N° 21.074: Fortalecimiento de la Regionalización</li> <li>• Ley N° 21.349: Fertilizantes y bioestimulantes</li> <li>• Ley N° 21.455: Marco de Cambio Climático (LMCC)</li> <li>• DFL 725: Código Sanitario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reglamento de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes</li> <li>• Reglamentos derivados de la LMCC</li> <li>• Reglamento Sobre Consideraciones Sanitarias y de Seguridad de Rellenos Sanitario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Política Nacional de Parques Urbanos</li> <li>• Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos 2040</li> <li>• Estrategia Climática de Largo Plazo</li> <li>• Programa Nacional de Residuos Sólidos</li> <li>• Programa de Regulación Ambiental</li> <li>• Programa Estado Verde</li> <li>• Estrategia Nacional de Salud</li> </ul>
	<p><b>Proyectos de Ley</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyecto: Ley Residuos Orgánicos</li> <li>• Proyecto: Ley de distribución de alimentos</li> </ul>	<p><b>Proyectos de reglamentos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consulta pública: Reglamento sobre Manejo Sanitario de las Instalaciones de Valorización de Residuos Orgánicos</li> <li>• Proyecto: Reglamento de Plantas de tratamientos anaeróbicas</li> <li>• Proyecto: Modificación de reglamento sanitario para extracción, uso y quema de biogás de rellenos sanitarios</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.1.1. Compromisos internacionales

##### ○ Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional

Las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) corresponden a los compromisos realizados por los países para cumplir con los objetivos de cambio climático de limitar el aumento de temperatura del planeta a través de la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Este esfuerzo es realizado por los países perteneciente a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).

El Ministerio del Medio Ambiente a través de la división de Cambio Climático es quien lidera el proceso de actualización de las NDC. En 2020 se entregó la última actualización del documento de acuerdo con los plazos indicados en el Acuerdo de Paris y en 2022, luego del llamado internacional a aumentar la ambición el 2021, se presentó un Anexo de fortalecimiento de la NDC actualizada (Ministerio del Medio Ambiente, 2023). Dentro de estos documentos, se resaltan los siguientes

aspectos relevantes con relación a la gestión de residuos orgánicos y su impacto en la mitigación del cambio climático:

- Creación de la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, la cual es detallada más adelante.
- En materia del uso de tierra, cambio de uso de tierra y silvicultura (UTCUTS), se indica la importancia de utilizar materia orgánica en el suelo como medio para capturar de CO<sub>2</sub> y mejorar los suelos forestales.
- En relación con los residuos, se proponen las medidas de captura o uso de biogás provenientes de rellenos sanitarios y así como la utilización de lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas como bioestabilizador forestal.
- En el sector agrícola, se plantea la instalación de sistemas de tratamiento de purines de porcinos y la implementación de asistencia técnica para el uso eficiente de fertilizantes.

#### ○ Global Methane Pledge 2022

El "Global Methane Pledge" representa un compromiso internacional que persigue una reducción sustancial en las emisiones de metano. Esta iniciativa tiene como propósito lograr avances inmediatos en los esfuerzos de acción climática durante esta década para mantener la meta de limitar el calentamiento global a 1.5°C. Este compromiso reúne a más de 100 naciones, abarcando cerca del 50% de las emisiones antropogénicas de metano a nivel mundial y abarcando más de dos tercios del PIB global (Global Methane Pledge, 2023). Chile se incorporó a esta iniciativa en el contexto del lanzamiento del "Global Methane Pledge" durante la COP 26 en noviembre de 2021. Como parte de este compromiso, Chile se ha comprometido a adoptar medidas voluntarias para contribuir a un esfuerzo conjunto que busca reducir las emisiones globales de metano al menos en un 30% con respecto a los niveles de 2020 para el año 2030 (Ministerio del Medio Ambiente, 2022a)

#### ○ Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework

El "Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework" (Marco Mundial de Biodiversidad Kunming-Montreal) fue adoptado durante la decimoquinta reunión de la Conferencia de las Partes (COP 15). Este marco traza una senda ambiciosa hacia la visión global de un mundo en armonía con la naturaleza para 2050, con cuatro objetivos clave para 2050 y 23 metas para 2030. La implementación de este marco se guiará mediante un conjunto integral de decisiones adoptadas en la COP 15. Al comprometerse con el Marco Mundial de Biodiversidad Kunming-Montreal, todas las Partes acordaron establecer metas nacionales para su implementación, y se instó a otros actores a desarrollar y comunicar sus propios compromisos en esta dirección (Convention on Biological Diversity, 2023).

### **2.1.2. Leyes y proyectos**

#### ○ Ley Nº 18.695 Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades

En esta ley se establecen dentro de otras cosas, las funciones y atribuciones de las municipalidades, en particular, el Artículo 3 indica que corresponderá a las municipalidades la función privativa de aseo y ornato de la comuna la cual debe velar por el aseo de los bienes nacionales de uso público

dentro de la comuna, el servicio de extracción de basura y la construcción, conservación y administración de las áreas verdes de en su territorio (Ministerio del Interior, 2007).

De acuerdo con las entrevistas sostenidas en el marco de la primera etapa de la consultoría (véase detalle en la Sección de Anexos), la asignación exclusiva de esta responsabilidad a las municipalidades se identifica como uno de los obstáculos en la gestión de residuos. Esto se debe a la carencia de recursos financieros que estas entidades enfrentan.

- **Ley Nº 19.300 Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente**

Esta ley tiene como objetivo establecer las bases que permitan asegurar el derecho de todas las personas a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. En el artículo 10 se especifican los tipos de proyectos que ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de las instalaciones de manejo de residuos orgánicos, estas son consideradas en la letra “o” como proyectos de saneamiento ambiental.

La Ley 20.417 creada en 2010, fortalece la legislación ambiental modificando artículos de la Ley 19.300. Las modificaciones relevantes en la gestión de residuos se encuentran en el artículo 40 y 70. En el artículo 40, se asigna al Ministerio del Medio Ambiente la responsabilidad de establecer normas de emisión a través de decretos supremos firmados por el ministro competente según la materia. Por otro lado, el Artículo 70 establece que el Ministerio del Medio Ambiente debe “proponer políticas, formular normas, planes y programas en materia de residuos y suelos contaminados, (...)”, sin perjuicio de las atribuciones de otros organismos públicos en materia sanitaria” (letra g). Además, debe administrar un registro de emisiones y transferencias de contaminantes, cuya concentración de emisiones sean objetos de una norma de emisión, reportando sobre la naturaleza, volumen y destino de los residuos sólidos generados (letra p).

En cuanto a los residuos orgánicos, las normas de emisión se asemejarán principalmente a las descargas de lixiviados y al drenaje de gases provenientes de los rellenos sanitarios, según lo establecido en el Decreto 189 que define las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios (Ministerio de Secretaría General de la Presidencia, 2008).

En julio de 2023, el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático aprobó modificaciones al Reglamento del SEIA (RSEIA). Entre estas modificaciones, se incorpora una flexibilización en relación con el volumen de tratamiento que una planta de compostaje debe tener para ser evaluada. Esta modificación, que debiera ser publicada prontamente en el Diario Oficial, facilitaría el proceso de aprobación de proyectos de valorización de residuos orgánicos.

- **Ley Nº 20.412 Establece un Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios**

La Ley 20.412, en 2010, estableció por 12 años un sistema de incentivos para la sustentabilidad agroambiental de suelos agropecuarios (Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040, 2021). Este sistema consiste en una bonificación estatal para varias actividades orientadas a recuperar suelos agropecuarios degradados o a mantener el nivel de los suelos que ya se han recuperado. Los incentivos se otorgan mediante el Instituto de Desarrollo Agropecuario y el Servicio Agrícola Ganadero (Ministerio de Agricultura, 2010).

#### ○ Ley Nº 20.879 Sanciona el Transporte de Desechos hacia Vertederos Clandestinos

Esta ley indica las sanciones con multa de conductas relacionadas con el transporte de desechos en sitios eriazos, vertederos clandestinos, en bienes nacionales de uso público, o en la vía pública con el objetivo de proteger la salud de la población y el medio ambiente (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2015).

De acuerdo con MMA (2022b) en 2020 un 91,48% de los residuos sólidos municipales llegaron a rellenos sanitarios, un 4,48% a vertederos, un 3,09% a basurales y un 0,95% a otros sitios de disposición (depósitos de seguridad, sitios de escombros de la construcción, entre otros). De acuerdo con las entrevistas sostenidas en el marco de la primera etapa de la consultoría (detalle en Sección de Anexos), la brecha entre la normativa y su cumplimiento radica en distintos problemas, entre los que se encuentra la falta y distancia de sitios de disposición y la falta de regularización del rubro transportista. Cabe destacar que la Estrategia Climática de Largo Plazo presenta como objetivo a nivel nacional que al 2030 se haya recuperado un 50% de la superficie ocupada por sitios afectados por la disposición ilegal de residuos, aumentando a un 90% al 2040.

#### ○ Ley Nº 20.920 Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y el Fomento al Reciclaje

Tiene por objetivo incorporar la valorización de los residuos como un elemento primordial en la gestión de residuos. Dentro de los instrumentos de gestión ambiental en materia de residuos, se destaca la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) que se traduce en que el fabricante o importador debe hacerse cargo del producto una vez terminada su vida útil debiendo cumplir las metas de reciclaje establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente. Lo anterior aplica a las categorías definidas en los respectivos decretos supremos para los productores de los siguientes productos prioritarios (Ministerio del Medio Ambiente, 2016):

- Aceites lubricantes.
- Aparatos eléctricos y electrónicos.
- Baterías.
- Envases y embalajes.
- Neumáticos.
- Pilas.

Aunque los productos prioritarios mencionados no guardan una relación directa con los residuos orgánicos, la implementación exitosa de esta ley podría influir en ellos de manera positiva. Esto se debe a que la ley podría elevar la conciencia acerca de la relevancia de la valorización en lugar de la eliminación, creando un ambiente propicio para la adopción de prácticas más sostenibles. Además, la infraestructura y los procesos establecidos para la valorización de otros tipos de residuos podrían generar sinergias y conocimientos técnicos que resulten aplicables al manejo y valorización de los residuos orgánicos.

#### ○ Ley Nº 21.074 Fortalecimiento de la Regionalización del País

Esta ley introduce una serie de modificaciones a los distintos cuerpos legales con el objetivo de fortalecer la regionalización al entregar mayor autonomía en su gestión y aumento de funciones y

atribuciones de los gobiernos locales (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2018). De acuerdo con la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, la implementación de esta ley representa una oportunidad para facilitar el emplazamiento de valorización de residuos orgánicos tales como el establecimiento de carácter vinculante con el Plan Regional de Ordenamiento Territorial, de condiciones de localización para los distintos tipos de residuos y sus sistemas de tratamiento.

- **Ley Nº 21.210 Moderniza la Legislación Tributaria**

La Ley 21.210 moderniza la legislación tributaria en el Ministerio de Hacienda y presenta diversas modificaciones. Entre ellas, se destaca la alteración del inciso segundo del Artículo 8, el cual concierne al impuesto que afecta a personas naturales o jurídicas responsables de establecimientos cuyas actividades generan emisiones de material particulado (MP), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ) o  $CO_2$ . Asimismo, se introduce un nuevo inciso en el mismo Artículo, el cual establece la consideración de todas las emisiones de MP,  $NO_x$ ,  $SO_2$  o  $CO_2$ . generadas por cada establecimiento, sin importar el umbral establecido, en el cálculo del impuesto. Adicionalmente, se incorporan incisos que permiten a los contribuyentes afectados por el impuesto compensar sus emisiones gravadas mediante proyectos de reducción de emisiones, siempre y cuando estos sean adicionales, medibles, verificables y permanentes. Estos proyectos solo pueden ejecutarse en zonas saturadas o latentes y deben ser certificados por un auditor externo autorizado por la Superintendencia del Medio Ambiente (Ministerio de Hacienda, 2020).

- **Ley Nº 21.349 Establece Normas sobre Composición, Etiquetado y Comercialización de los Fertilizantes y Bioestimulantes**

Esta ley tiene como objetivo establecer las normas aplicables a la fabricación, formulación, producción, comercialización, tenencia, importación y exportación de fertilizantes y bioestimulantes. Específicamente establece las disposiciones sobre parámetros de calidad, composición, clasificación, envasado, declaración, etiquetado y trazabilidad. Para efectos de esta ley, el concepto de fertilizante incluye enmiendas y abonos (Ministerio de Agricultura, 2021).

- **Ley Nº 21.455 Ley Marco de Cambio Climático**

Esta ley establece un marco jurídico que permite hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático con el objetivo de alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050. Dentro de este documento se establecen instrumentos de gestión a nivel nacional, regional y local y se asignan funciones y responsabilidades específicas a cada uno de los órganos nacionales, regionales y colaboradores que la componen, siendo la autoridad nacional en la materia, el Ministerio del Medio Ambiente. A continuación, se desglosan las demandas clave de la Ley en relación con estos instrumentos:

**Estrategia Climática de Largo Plazo:** Esta estrategia, encomendada al Ministerio del Medio Ambiente en colaboración con las autoridades sectoriales y ministerios pertinentes, debe ser sometida a revisión y actualización cada década. Representa una visión a largo plazo para abordar el cambio climático.

**Contribución Determinada a Nivel Nacional:** Este documento encapsula los compromisos de Chile para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. El Ministerio del Medio Ambiente, en

estrecha cooperación con las autoridades sectoriales y ministerios competentes, debe confeccionarlo dentro de los plazos fijados por acuerdos internacionales.

**Planes Sectoriales de Mitigación:** Estos planes deben ser confeccionados por las autoridades sectoriales específicas, con el apoyo técnico del Ministerio del Medio Ambiente en su elaboración, y se les exige actualizarlos al menos cada 5 años.

**Planes Sectoriales de Adaptación:** Las autoridades sectoriales competentes son responsables de elaborar estos planes, que también deben ser revisados y actualizados cada 5 años. Estos planes se centran en adaptarse a los efectos del cambio climático.

**Reporte de Acción Nacional de Cambio Climático (RANCC):** El Ministerio del Medio Ambiente coordina la elaboración de este informe, que refleja el progreso en programas, normas, acciones y medidas, ya sean parte de los instrumentos de gestión del cambio climático o propuestas por otros organismos públicos.

**Planes de Acción Regional de Cambio Climático:** Estos planes son responsabilidad de los Comités Regionales para el Cambio Climático y deben alinearse con las directrices de la Estrategia Climática de Largo Plazo, así como con los planes sectoriales de mitigación y adaptación.

**Planes de Acción Comunal de Cambio Climático:** Las municipalidades deben elaborar estos planes, que deben ser congruentes con las directrices generales de la Estrategia Climática de Largo Plazo y los planes de acción regional de cambio climático.

**Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas:** El Ministerio de Obras Públicas tiene la responsabilidad de establecer un reglamento para la elaboración, revisión, actualización, monitoreo y reporte de estos planes. Es crucial destacar que se debe involucrar a la ciudadanía durante al menos sesenta días hábiles en este proceso.

En síntesis, la Ley establece una amplia variedad de instrumentos de gestión climática a nivel nacional, regional y local, cada uno con sus respectivas responsabilidades y plazos, con el fin de abordar de manera integral el cambio climático y cumplir con los compromisos adquiridos. Adicionalmente crea el Sistema Nacional de Acceso a la Información y Participación Ciudadana sobre Cambio Climático, administrado por el MMA y establece los lineamientos y mecanismos financieros para enfrentar el cambio climático (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

- **DFL 725 Código Sanitario**

Corresponde a la Ley que establece las normas para fomentar, proteger y recuperar la salud de la población de Chile. Regula, entre otras materias, los responsables de la provisión de la salud pública, los servicios de salud, la protección materno infantil, enfermedades transmisibles, laboratorios, divulgación sanitaria, higiene en lugares de trabajo y el ambiente, desperdicios y basuras, productos farmacéuticos, productos alimenticios, entre otros. En particular, el Decreto con Fuerza de Ley establece que existirá un Reglamento que fijará las condiciones de seguridad asociadas a la acumulación y disposición final de basuras y desperdicios (Artículo 78) y que le corresponde al Servicio Nacional de Salud autorizar y vigilar cualquier lugar destinado a estos fines (Artículo 80). Lo anterior, incluidos los vehículos y sistemas de transporte (Artículo 81). Así también, el instrumento establece que es necesaria la aprobación del Servicio Nacional de Salud para la

construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier tratamiento de basuras y desperdicios (Artículo 79).

- **Proyecto de Ley de residuos orgánicos para incluir residuos de origen industrial**

Este proyecto tiene como objetivo fijar el marco legal que permita cumplir con las metas de valorización de residuos orgánicos presentadas en la Estrategia de Residuos Orgánicos. El actual Proyecto del Ley<sup>2</sup> promueve la valorización residuos con un enfoque domiciliarios y fortalece la gestión de residuos a nivel territorial, por lo que se propone ampliarla o desarrollar otra ley que permita incluir residuos con un origen distinto al domiciliario. De esta manera, se espera fomentar a las empresas para que traten sus residuos orgánicos.

- **Proyecto de Ley que promueve la valorización de los residuos orgánicos y fortalece la gestión de residuos a nivel territorial**

Este proyecto de ley busca impulsar la valorización de los residuos orgánicos y fortalecer la gestión de residuos a nivel territorial. El proyecto se fundamenta en cuatro ejes clave. Primero, se establecerán obligaciones de separación y recolección selectiva de residuos orgánicos a través de ordenanzas municipales, con sanciones para incumplimientos. Segundo, se proponen nuevos mecanismos de financiamiento para el servicio de recolección y disposición de residuos, ajustando tarifas para reflejar costos reales y mejorar su eficiencia. Tercero, se busca mejorar la gobernanza y la planificación de la gestión de residuos, involucrando a municipios y gobiernos locales. Cuarto, se plantea una implementación gradual de las medidas a lo largo de 14 años. En conjunto, estas acciones buscan aumentar la valorización de los residuos orgánicos y aliviar la presión sobre la infraestructura de disposición final (Ministerio de Hacienda, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Ministerio de Salud y Ministerio del Medio Ambiente, 2023).

- **Proyecto de Ley que regula la distribución de alimentos aptos para el consumo humano**

El proyecto de ley tiene como objetivo primordial la disminución y prevención de la pérdida de alimentos aptos para el consumo humano en toda la cadena productiva, promoviendo su recuperación, distribución, consumo y sistemas alimentarios sostenibles. En este marco, se prohíbe la destrucción de alimentos aptos, y se establece la obligación de donarlos o entregarlos gratuitamente a entidades intermediarias o receptores finales. El artículo 4, por su parte, destaca la opción de donar alimentos aptos para fines como la recuperación para consumo animal y, relevante para las plantas de compostaje, para la utilización en compostaje agrícola. Esto refuerza el valor de los alimentos no aptos para la comercialización en la generación de compost de alta calidad, promoviendo una mayor disponibilidad de materia orgánica (Girardi y Ossandón, 2020).

### **2.1.3. Reglamentos y proyectos**

- **Decreto 1, Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes**

El Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), es una base de datos pública, destinada a capturar, recopilar, sistematizar, conservar, analizar y difundir la información sobre

---

<sup>2</sup> <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=16416&prmTIPO=INICIATIVA>

emisiones, residuos y transferencia de contaminantes potencialmente dañinos para la salud y el medio ambiente (Ministerio del Medio Ambiente, 2013). Relacionado con esto existe el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER), el cual es una plataforma web que permite al generador, destinatario y gestores de residuos, cumplir con las obligaciones establecidas en el Reglamento RETC. En esta plataforma pueden realizar sus declaraciones de residuos no peligrosos anualmente o por períodos mensuales (Ministerio del Medio Ambiente, 2023).

- **Decreto 189 Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios**

Este reglamento tiene como objetivo evitar contingencias de carácter sanitario y ambiental, asegurando una disposición final adecuada de residuos sólidos domiciliarios y asimilables. Dentro de las disposiciones del reglamento, el Artículo 16 se enfoca en el manejo de biogás generado en los rellenos sanitarios. Establece que todo proyecto de relleno sanitario debe contemplar un sistema de manejo de biogás, diseñado para garantizar condiciones de seguridad tanto dentro como alrededor de la instalación. El diseño del sistema debe considerar la extracción máxima de biogás durante las etapas de operación y cierre, con la opción de utilizar el biogás extraído. En caso de no utilizarse, se requiere un proceso para controlar el riesgo de formación de mezclas explosivas. Los rellenos sanitarios con una altura total inferior a seis metros no estarán obligados a tener un Sistema de Manejo de Biogás. Chile se inscribió en este compromiso como parte de sus esfuerzos por abordar la biodiversidad y la conservación ambiental (Ministerio de Salud y Subsecretaría de Salud Pública, 2008).

- **Decreto 119 Aprueba reglamento de seguridad de las plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instaladores de gas**

Este reglamento establece requisitos mínimos de seguridad en las etapas de diseño, construcción, operación, mantenimiento, inspección y término de operaciones de plantas de biogás. El reglamento se aplica a actividades como la producción, almacenamiento, uso o consumo de biogás, y actividades relacionadas. Se destaca que las instalaciones que utilizan biogás proveniente de rellenos sanitarios también deben cumplir con estas disposiciones. Se establece la obligación de realizar un proceso de limpieza del biogás antes del consumo para reducir el deterioro de los productos por corrosión, con excepción de las plantas destinadas exclusivamente a la quema de biogás. Los operadores de instalaciones medianas y grandes deben mantener registros de la calidad y producción de biogás, incluyendo muestras trimestrales y registros mensuales. Estas regulaciones buscan asegurar la seguridad y eficiencia en la generación, captura y uso de biogás en el país (Ministerio de Energía, 2017).

- **Reglamento sobre Manejo Sanitario de las Instalaciones de Valorización de Residuos Orgánicos**

Este reglamento establece las condiciones sanitarias para las instalaciones de valorización de residuos orgánicos, que comprenden el compostaje en condiciones aeróbicas, excluyendo el compostaje doméstico, en escuelas y en predios agrícolas. Además, se señala que, en ausencia de regulaciones específicas, las instalaciones que practican procesos anaeróbicos deben cumplir con este reglamento. Se clasifican los residuos aptos para compostaje en cuatro categorías, incluyendo

residuos industriales de procesos agroindustriales y alimentarios en las Clases 2 y 4 (Ministerio de Salud, 2021).

- **Reglamento derivado de la Ley Marco de Cambio Climático**

La Ley Marco de Cambio Climático mandata la elaboración de 13 reglamentos a cargo del Ministerio del Medio Ambiente en áreas de estructura orgánica, procedimentales, sistemas de información, sistema de compensación de GEI y normas de emisión de GEI. Estos actúan de forma sinérgica y permiten establecer el marco normativo para la gestión del cambio climático. La elaboración del PSM se encuentra detallada en el D.S. N°16/2023 del MMA, el cual debe contener al menos un diagnóstico sectorial, descripción de las medidas de mitigación en las diferentes escalas territoriales, medidas relativas a los medios de implementación, indicadores de monitoreo, reporte y verificación (MRV) y recomendaciones de revisión de los Planes de Acción Regionales de Cambio Climático. Además, se presenta los procedimientos de elaboración y las diferentes etapas hasta su aprobación.

El PSM del MMA deberá resultar en un instrumento que permita el cumplimiento de la NDC y establezca los mecanismos para la implementación de las respectivas medidas. Se espera entre las directrices se encuentre la prohibición a las industrias la disposición de sus residuos orgánicos. Además, se plantea la posibilidad de que las atribuciones que entrega el reglamento el D.S. N°16/2023 establezca un porcentaje de residuos orgánicos que puedan recibir los rellenos sanitarios para reducir las emisiones emitidas en esos sitios.

#### **2.1.4. Instrumentos de política pública**

- **Política Nacional de Parques Urbanos**

En el marco de esta política se promueve la implementación de estrategias y sistemas de gestión de residuos bajo la premisa de reducir, reutilizar, reciclar y eventualmente, como fuente de recursos, producción de compost y energía (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2022).

- **Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040**

En 2020, el Ministerio del Medio Ambiente a través de su oficina de Economía Circular, publicó la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) cuya meta es aumentar la valorización de los residuos orgánicos generados a nivel municipal de un 1% a un 66% al año 2040. Para cumplir con este propósito se establecen las siguientes metas intermedias al 2030 dentro de las cuales se destacan las siguientes (Ministerio del Medio Ambiente, 2021):

- Valorizar un 30% de los residuos orgánicos generados a nivel municipal
- Llegar a 5.000 establecimientos educacionales con composteras y/o vermicomposteras.
- Contar con un 50% de las instituciones públicas separando en origen y valorizando los residuos orgánicos.
- Lograr que todos los parques urbanos administrados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo valoricen los residuos orgánicos generados.

- **Estrategia Climática de Largo Plazo**

Chile en la COP26 presentó su Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) la cual busca consolidar la visión del Estado para enfrentar el cambio climático y cumplir el objetivo establecido en el acuerdo

de París que indica que las ECLP se deberán elaborar tomando en cuenta el objetivo de temperatura establecido. Este instrumento, define los lineamientos generales de largo plazo que seguirá el país de manera transversal e integrada para lograr el cumplimiento de las NDC. Para ello, se deberá dar cumplimiento al presupuesto nacional, a través de los cumplimientos de las metas de mitigación sectoriales de emisiones de gases de efecto invernadero al 2030, descrito en la Sección 2.2. Los compromisos de la NDC y las metas sectoriales se establecen a partir de las categorías del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), donde el MINSAL tiene la autoridad sectorial de las emisiones asociadas a la gestión de residuos. Esta estrategia será actualizada cada 10 años (Gobierno de Chile, 2021) y tiene metas específicas para el sector residuo que se resumen en la Sección 3.9, junto con objetivos de otros instrumentos.

- Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS)

Este es un programa de inversión pública cuyo objetivo es mejorar las condiciones de salubridad y calidad ambiental de los centros urbanos y rurales del país. En específico, busca aumentar el porcentaje de Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) dispuestos adecuadamente en instalaciones sanitarias, cerrar instalaciones sin autorización sanitaria o ambiental, fomentar programas destinados a la prevención y reducción RSD, mejorar la planificación regional de residuos sólidos y fortalecer las capacidades técnicas regionales y locales en esta materia (SUBDERE, 2023)

- Programa de Regulación Ambiental

Este programa establecido por el Ministerio del Medio Ambiente contiene los criterios de sustentabilidad, el estado de la situación ambiental de país y las prioridades programáticas para la gestión del cambio climático en la Estrategia Climática de Largo Plazo. En su última versión, se indica que solo el 21% de los residuos no peligrosos generados es valorizado y se destaca la importancia de promover la transición hacia una economía circular que permita minimizar los residuos generados y hacer un uso sustentable de los recursos naturales (Ministerio del Medio Ambiente, 2022b).

- Programa Estado Verde

Programa de acreditación desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente, cuyo objetivo es que los órganos del Estado incorporen buenas prácticas ambientales en su quehacer diario, mediante un proceso de acreditación que certifica que las entidades suscriptoras desarrollan distintas medidas de sostenibilidad íntegra. Mediante este programa se podrían incentivar acciones orientadas a la valorización de residuos orgánicos generados por estas instituciones (Ministerio del Medio Ambiente, 2023a).

- Planes Sectoriales de mitigación, Planes Sectoriales de adaptación y Planes de Acción Regional y Comunal

Los Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación son instrumentos de política pública que surgen a partir de la Ley Marco de Cambio Climático y contienen el conjunto de acciones que deben ser implementadas por las autoridades sectoriales para mitigar y enfrentar los efectos del cambio climático. Los Planes Sectoriales de Mitigación buscan reducir o absorber gases de efecto invernadero, asegurando que no se sobrepase el presupuesto de emisiones asignado para cada autoridad sectorial. En particular, requiere de la elaboración de un diagnóstico sectorial,

identificación de potencial de reducción de emisiones, desarrollo de medidas de mitigación e indicadores de monitoreo, reporte y verificación (Ministerio del Medio Ambiente, 2022c). Entre las autoridades que deben elaborar Planes Sectoriales de Mitigación destaca el Ministerio de Salud, Ministerio de Energía, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Ministerio de Minería, Ministerio de Obras Públicas, entre otros.

Por su parte, los Planes Sectoriales de Adaptación se centran en sectores más vulnerables al cambio climático, estos son biodiversidad, recursos hídricos, infraestructura, salud, minería, energía, entre otros, y contienen acciones específicas para enfrentar los desafíos de cada sector. Al igual que los Planes Sectoriales de Mitigación, deben incorporar un diagnóstico sectorial en materia de adaptación, medidas de acción, medidas asociadas a medios de implementación e indicadores MRV.

A los dos instrumentos de política pública anterior se suman los Planes de Acción Regional y Comunal de Cambio Climático. Los primeros son elaborados por los Comités Regionales para el Cambio Climático y buscan definir objetivos e instrumentos de gestión a nivel regional y comunal, en concordancia con la Estrategia Climática de Largo Plazo y los Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación. Los segundos, a cargo de las municipalidades, deben establecer directrices locales para la implementación de los Planes Regionales y la ECLP (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

En conjunto, esta batería de instrumentos de política pública forma un marco integral que busca alinear acciones a nivel nacional, regional y comunal, promoviendo una gestión más eficiente y coordinada de los efectos del cambio climático, incluyendo la gestión adecuada de residuos sólidos, donde la valorización y la recolección diferenciada podrían ser aspectos cruciales en la estrategia de mitigación y adaptación. En la figura a continuación se observa la vinculación entre estos distintos instrumentos de acción climática.

- **Estrategia Nacional de Salud**

La Estrategia Nacional de Salud (ENS) representa la carta de navegación del sector salud al 2030. En esta estrategia se exponen los principales desafíos que enfrenta Chile y se plantean las alternativas para abordarlos. Se compone de ejes estratégicos y objetivos de impacto. En el Eje Estratégico N°6 de “Emergencias y Desastres”, se incluye el Objetivo de Impacto sobre “Cambio Climático”, que busca disminuir el impacto negativo del cambio climático sobre la salud de la población.

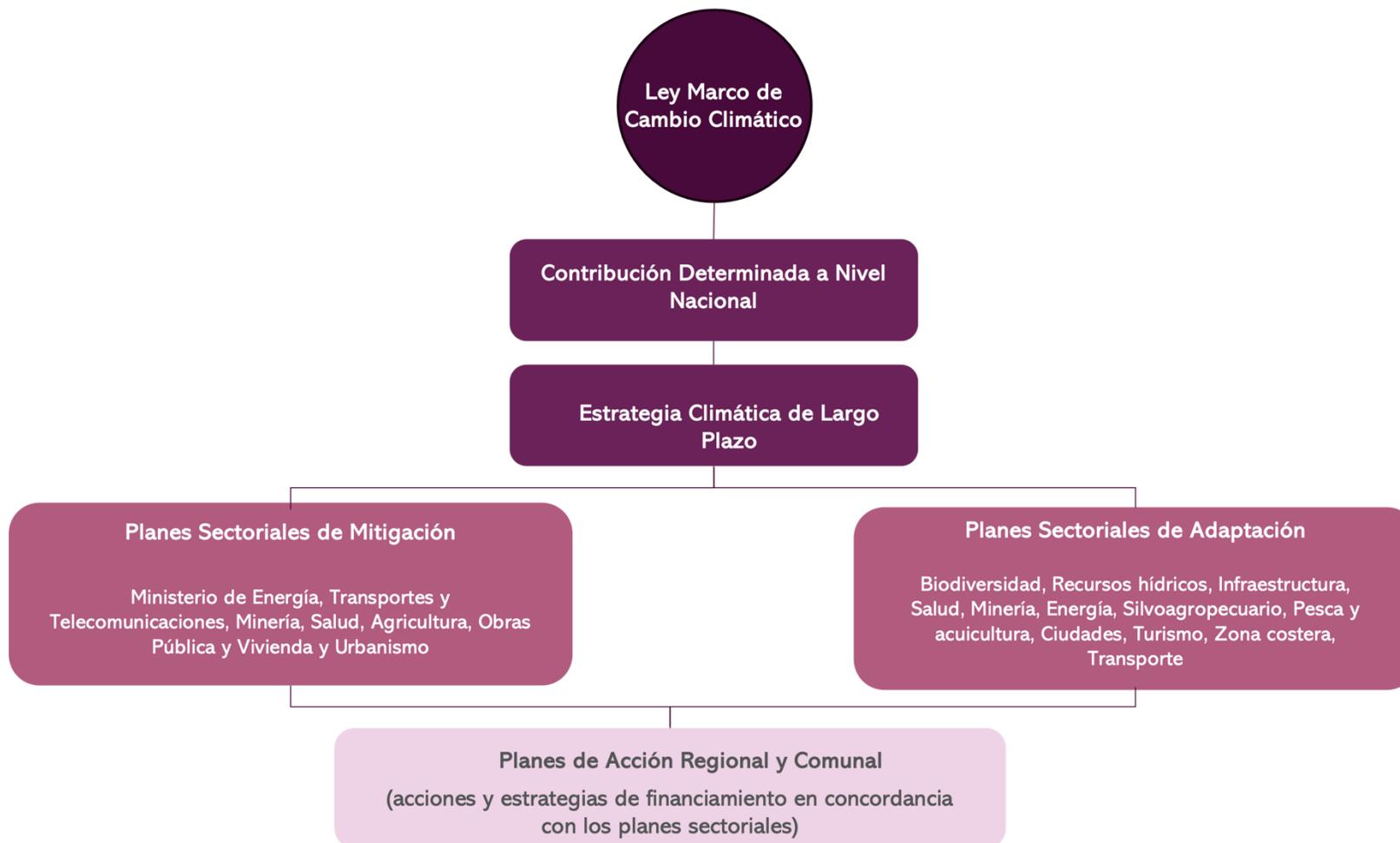


Figura 2-2. Instrumentos de política pública de la Ley Marco de Cambio Climático  
Fuente: Elaboración propia basado en (Ministerio del Medio Ambiente, 2023b)

### 3. RESULTADOS PRELIMINARES

A continuación, se presentan los resultados preliminares de los productos de la consultoría (productos A al G). En cada caso, se presenta la descripción del objetivo del producto y una breve descripción metodológica.

#### 3.1. PRODUCTO A: Fichas de sistema de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados<sup>3</sup>

En esta sección, se presentan las fichas descriptivas de los sistemas de manejo pre-evaluados por el Ministerio de Medio Ambiente para la mitigación de emisiones de metano del sector residuos: compostaje, digestión anaeróbica y captura y/o quema de gas de relleno sanitario.

Cada ficha proporciona una visión integral de los sistemas de manejo, incluyendo los siguientes elementos:

- **Descripción:** Se brinda una explicación general del funcionamiento de las alternativas de tratamiento de residuos orgánicos, con el propósito de facilitar una comprensión más profunda de sus requisitos y mecanismos fundamentales.
- **Tipos de tratamientos:** Se presenta una descripción de los principales tipos de tratamientos existentes para cada uno de los sistemas de manejo de residuos pre-evaluados.
- **Principales productos:** Se destacan los subproductos resultantes de la implementación del sistema de manejo, los cuales pueden ser comercializados o incluso aprovechados en el mismo entorno de producción. Estos subproductos añaden valor a la aplicación del sistema de manejo y pueden tener implicaciones económicas significativas.
- **Consideraciones:** Se detallan los factores climáticos y técnicos que impactan en el rendimiento del sistema de manejo y sus consecuencias. Dado que Chile presenta una amplia variedad de condiciones climáticas, desde el norte hasta el sur del país, la elección de ubicación para proyectos es crítica. Por lo tanto, esta información es esencial para evaluar de manera adecuada las medidas propuestas en etapas posteriores.
- **Ventajas:** Se identifican y describen las ventajas comparativas asociadas al sistema de manejo, que pueden incluir aspectos como la sostenibilidad ambiental, la eficiencia energética, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de empleo local o cualquier otro beneficio significativo. Estos beneficios adicionales se consideran en la evaluación del sistema de manejo de residuos para tomar decisiones informadas sobre su implementación.

Con esta estructura, se logra una presentación más clara y cohesionada de la información contenida en cada ficha. Esta información será utilizada como base para la creación del **Producto D “Ficha de caracterización y descripción de las medidas de mitigación seleccionadas”**, en el cual se presenta el detalle y análisis de cada una de las medidas de mitigación a evaluar, según sistema de manejo de residuos orgánicos.

---

<sup>3</sup> El título original del producto es fichas de medidas pre-evaluadas. Sin embargo, en el marco de esta consultoría se referirá a sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados toda vez que no incluyen metas de implementación específicas.

### 3.1.1. Compostaje

A continuación, se presentan las distintas alternativas de tratamientos pre-evaluados de compostaje, estos se clasifican en: compostaje domiciliario (Ver Tabla 3-1) y compostaje a gran escala (Ver Tabla 3-2)

Tabla 3-1: Ficha descriptiva de compostaje domiciliario

Nombre de la medida	Compostaje domiciliario
<b>Descripción</b>	Proceso de descomposición de materiales orgánicos que se efectúa a través de microorganismos en un entorno controlado y en presencia de oxígeno (Compost Research & Education Foundation, 2021). Cuando se realiza a nivel domiciliario, este proceso se lleva a cabo en composteras especiales o en el jardín, y las personas son responsables de mantener las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y aireación.
<b>Tipos de tratamientos</b>	<p>Existen distintos tipos de tratamientos que aplican para este sistema de manejo, algunos de estos son:</p> <p><b>Vermicompostaje:</b> Es un proceso biológico controlado que se apoya en las lombrices y microorganismos para descomponer y estabilizar materiales orgánicos. Las lombrices ingieren partículas orgánicas y microorganismos presentes que luego expulsan a través de "excremento" o "lombricompost". El producto resultante es una mezcla de estos excrementos y materiales orgánicos que se han descompuesto, se denomina "vermicompost" o "vermicast" (Rynk R., 1992).</p> <p><b>Compostaje con mosca soldado:</b> El compostaje utilizando la mosca soldado negro (BSF por sus siglas en inglés) consiste en la puesta de huevos en lugares cercanos a la materia orgánica en descomposición, donde los huevos luego eclosionan en larvas que consumen activamente esta materia orgánica. Este tipo de tratamiento requiere un clima cálido, sombreado, alimentos con un contenido de agua del 60% al 90%, nutrientes ricos en proteínas y carbohidratos disponibles, así como partículas pequeñas o alimentos en forma líquida (Dortmans et al., 2017).</p> <p><b>Compostaje con Bokashi:</b> Es un método tradicional japonés que utiliza la fermentación láctica ácida controlada (FLA) en condiciones anaeróbicas. El entorno ácido y anaeróbico actúa de manera efectiva para suprimir la viabilidad de patógenos, permitiendo así el reciclaje incluso de residuos orgánicos contaminados (Margit Olle, 2021).</p>
<b>Principales productos</b>	Fertilizante orgánico o compost
<b>Consideraciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura: las temperaturas extremadamente bajas pueden notoriamente ralentizar el proceso de compostaje, mientras que, en áreas más cálidas, suele llevarse a cabo en un período más corto. Sin embargo, altas temperaturas pueden producir olores indeseados y atraer plagas.</li> <li>• Precipitaciones: estas añaden agua a la mezcla que puede generar condiciones de humedad y/o temperaturas desfavorables.</li> </ul>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo Tecnológico y de Horas Hombre Bajo: Una de las ventajas principales del compostaje domiciliario es que requiere una inversión tecnológica mínima y una cantidad limitada de trabajo manual. Los contenedores de compostaje o los sistemas de vermicompostaje son relativamente asequibles y fáciles de usar. Además, el</li> </ul>

	<p>mantenimiento generalmente implica tareas sencillas como voltear los materiales y asegurarse de que la relación de carbono a nitrógeno sea adecuada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere Poco Espacio: El compostaje domiciliario se adapta bien a entornos urbanos y hogares con espacio limitado. Los sistemas de contenedores compactos y las unidades de vermicompostaje son ideales para aquellos con áreas de jardín pequeñas o incluso sin jardín.</li> </ul>
--	---

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-2: Ficha descriptiva de compostaje a gran escala

Nombre de la medida	
Nombre de la medida	<b>Compostaje a gran escala</b>
Descripción	Proceso de descomposición de materiales orgánicos que se efectúa a través de microorganismos en un entorno controlado y en presencia de oxígeno. El compostaje a gran escala puede realizarse en sistemas abiertos o cubiertos y la gestión de su descomposición podrá ser en tanto pasiva o activa cuando se utiliza aireación y/o volteo de los residuos (Compost Research & Education Foundation, 2021)
Tipos de tratamientos	Existen distintos tipos de tratamientos de compostaje, algunos de ellos son: <p><b>Pila Abiertas:</b> Corresponde a volteo, estos pueden ser manuales o a través de máquinas como volteadoras o retroexcavadoras. Así mismo, dependiendo de las condiciones ambientales el compostaje en pilas abiertas puede ser techado, por ejemplo, dentro de un galpón o un invernadero, o al aire libre.</p> <p><b>Aireación Forzada:</b> Proceso de descomposición de materiales orgánicos que se efectúa a través de microorganismos en un entorno controlado y en presencia de oxígeno. En el caso del compostaje con aireación forzada, las pilas de material orgánico son aireadas mediante un ventilador, también conocido como soplador, que proporciona un flujo de aire controlado a la pila (Compost Research &amp; Education Foundation, 2021).</p>
Principales productos	Fertilizante orgánico/Compost
Consideraciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura: las temperaturas extremadamente bajas pueden notoriamente ralentizar el proceso de compostaje, mientras que en áreas más cálidas, suele llevarse a cabo en un período más corto. Sin embargo, altas temperaturas pueden producir olores indeseados y atraer plagas.</li> <li>• Precipitaciones: estas añaden agua a la mezcla que puede generar condiciones de humedad y/o temperatura desfavorables. En territorios donde la lluvia es escasa, los requerimientos de infraestructura, como losa y galpón, pueden ser menores ya que la acumulación de agua en las pilas de compostaje y/o generación de lixiviados del proceso suelen ser menores y manejables con menor inversión. Sin embargo, cuando la cantidad de lluvia es elevada o intensa, la inversión asociada al suelo e infraestructura aumenta con el objetivo de disminuir los problemas mencionados en la operación del proyecto. Un exceso de humedad en el compostaje agrega peso a los materiales, lo que provoca una mayor compactación y una pérdida de espacio poroso dentro de la pila de compost, disminuyendo su aireación y conduciendo a condiciones anaeróbicas (Rynk R., 1992)</li> </ul>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El compostaje puede tener ventajas tanto económicas como ambientales. Económicamente, genera ingresos por la venta de los subproductos y ahorra dinero en la gestión de residuos, al tiempo que amplía los mercados para los residuos orgánicos. Ambientalmente, el compost mejora la salud del suelo, soltando y conserva agua, reduce enfermedades de las plantas y controla malezas, disminuyendo la</li> </ul>

Nombre de la medida	Compostaje a gran escala
	necesidad de pesticidas. También destruye patógenos y semillas de malezas y tiene menos impacto ambiental que los materiales no procesados.(Rynk R., 1992)

Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos de compostaje a gran escala se pueden caracterizar según su complejidad tecnológica, duración en la etapa activa y tipos de materias primas tratadas (Global Methane Initiative, 2023):

- **Nivel de tecnología:** Tiene relación con la complejidad del sistema, las habilidades requeridas y la infraestructura para su implementación.
- **Costo:** Tiene relación con el costo promedio para cada una de estas tecnologías.
- **Duración Activa:** Es el tiempo promedio que se mantiene la materia prima en el proceso de compostaje para lograr la descomposición adecuada. Este período, va luego acompañado de un periodo de maduración que puede durar de 1 a 4 meses para la obtención del compost final.
- **Tipos de Materias Primas:** Son los residuos que pueden ser compostados mediante este sistema de manejo. La elección de las materias primas se ve influenciada por la variabilidad del operador, las condiciones climáticas y la escala de la operación. Estas se pueden categorizar en 'Básicas' (como desechos verdes y de jardín) y 'Avanzadas' (como desechos de alimentos y biosólidos).

Tabla 3-3: Ficha comparativa de los tipos de tecnologías de compostaje

Tecnología de Compostaje	Nivel de tecnología	Costo	Duración Activa	Tipos de Materias Primas	Consideraciones
<b>Pilas Pasivas:</b> Grandes pilas de materia prima se dejan desatendidas para descomponerse sin intervención humana	Ninguno-Bajo	Ninguno-Bajo	+1 año	Básico	(+) Costo, tecnología y mano de obra mínimo. (-) Puede sobrecalentarse y combustionar, puede volverse anaeróbico y generar olores, ocupa espacio por años, se asemeja a un vertedero, y puede atraer desechos y plagas.
<b>Pilas Abiertas:</b> Largas pilas de materia prima se giran o agitan manualmente usando maquinaria pesada	Bajo	Bajo	3-9 semanas	Avanzado	(+) Método simple y de bajo costo. Acepta varias materias primas (residuos alimentarios, estiércol). (-) Requiere mucho tiempo, trabajo y un gran uso de terreno. Susceptible al clima.
<b>Pilas Estáticas:</b> Largas pilas de materia prima (cubierta o descubierta) que puede o no girarse o airearse	Bajo	Bajo	<= 9 semanas	Básico	(+) Método simple y costo-efectivo que requiere tecnología mínima. (-) Puede no alcanzar las temperaturas requeridas para descomponer determinadas materias primas.

Tecnología de Compostaje	Nivel de tecnología	Costo	Duración Activa	Tipos de Materias Primas	Consideraciones
manualmente y puede llevar incorporados tubos de aireación					
<b>Aireación forzada:</b> Variación de la pila estática con un soplador/ventilador usado para airear la materia prima y acelerar la descomposición	Bajo-Medio	Bajo-Medio	3-5 semanas	Avanzado	(+) Adecuado para un amplio rango de materias primas, incluyendo biosólidos, RSU y residuos alimentarios. (+) Buen control de temperatura para la reducción de patógenos (-) Requiere de mucha energía con monitoreo obligatorio. (-) Puede generar olores.
<b>En recipiente:</b> La materia prima es colocada en recipientes para crear un ambiente controlado con aireación o agitación	Alto	Alto	1-2 semanas	Avanzado	(+) Trabajo, uso de terreno y olores mínimos. Producción de productos de calidad en poco tiempo. Alto rendimiento y habilidad de compostar materias primas difíciles (residuos alimentarios, estiércol, lodo). (-) Altos costos de infraestructura, operación y mantenimiento. Capacidad limitada debido al tamaño del recipiente.

Fuente: GMI, 2023 (basado en EPA, 2023).

### 3.1.2. Digestión anaeróbica

Tabla 3-4: Ficha descriptiva digestión anaeróbica

Nombre de la medida	Digestión anaeróbica
<p><b>Descripción</b></p>	<p>El proceso biológico de degradación de la materia orgánica es realizado por microorganismos que descomponen la materia con el propósito de obtener la energía y nutrientes requeridos para su crecimiento y reproducción. La digestión anaeróbica, llevada a cabo en una estructura designada como reactor, tiene como objetivo proporcionar un entorno propicio para los microorganismos presentes en su interior, permitiendo así el desarrollo de este proceso (Environmental Protection Agency, 2020).</p> <p>La digestión anaeróbica tiene una amplia aplicabilidad, pudiendo abordar tanto residuos ganaderos y agrícolas como residuos industriales. Además, puede ser empleada para tratar lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales y la fracción orgánica de los desechos municipales (GIZ México, 2018). Estos residuos pueden ser tratados de manera individual o en conjunto a través de la co-digestión. La co-digestión presenta la ventaja de aprovechar sinergias entre las mezclas, abordando las limitaciones individuales de cada sustrato por separado (Ministerio de Energía, 2012). Ambos sistemas de manejo de residuos demuestran ser eficientes y el interés en ellos ha aumentado sustancialmente en los últimos años (IDAE, 2007) con la finalidad de mejorar su eficiencia y optimizar variables de diseño como tipo de sustrato o tipo de reactor utilizado.</p>
<p><b>Tipos de tratamientos</b></p>	<p>Hay varios tipos de digestión anaeróbica, que difieren en función de las condiciones de operación y los sustratos utilizados:</p> <p><b>Laguna Cubierta:</b> Estas lagunas están cubiertas herméticamente con una cubierta flexible o flotante que impide la fuga de gas. Requieren residuos con un contenido de sólidos entre el 0.5% y el 2% y su tiempo de retención hidráulica generalmente es de 30 a 45 días o más. En su mayoría, carecen de calefacción y mezcla, lo que las hace más económicas en términos de construcción y operación en comparación con otros tipos de digestores. Son más apropiadas para regiones cálidas, donde el calor atmosférico contribuye a mantener la temperatura del digestor. Sin embargo, son menos productivas en la generación de biogás, ya que esta producción varía con la temperatura, llegando incluso a detenerse en invierno.</p> <p><b>Biodigestor de Mezcla Completa (CSTR):</b> Estos biodigestores pueden tener forma de tanques cilíndricos sobre el suelo o pozos rectangulares subterráneos, y permiten la mezcla del estiércol. Pueden contar con cubiertas rígidas o flexibles y operar a diferentes temperaturas, ya sea en el rango mesofílico o termofílico. Son ideales para procesar residuos con un contenido de sólidos que oscila entre el 3% y el 10%. El tiempo de retención hidráulica varía entre 10 a 25 días.</p> <p><b>Flujo Continuo o Pistón:</b> Este tipo de digestor consiste en un tanque cilíndrico donde los gases y otros subproductos son expulsados por el residuo fresco que se introduce en el extremo opuesto. Requiere residuos con un contenido de sólidos del 11% al 14% y generalmente utiliza agua para mantener la temperatura necesaria. Puede operar en el rango de temperatura mesofílica y requiere que los residuos se agreguen diariamente en un extremo del digestor</p>

	<p>y se descompongan mientras se mueven a través del sistema como un tapón. Después de 15 a 30 días de tiempo de retención hidráulica, el tapón de estiércol alcanza la salida del digestor .</p> <p><b>Flujo Ascendente con Manto de Lodo (USB):</b> Este diseño implica una columna rellena con medios como virutas de madera o pequeños anillos de plástico que sostienen una película delgada de bacterias llamada biopelícula. Requiere materiales de alimentación con un contenido de sólidos del 1% al 2% y emplea tiempos de retención más cortos, que pueden ser de entre 2 a 6 días. Esto permite el uso de digestores relativamente pequeños en comparación con otras opciones para un volumen de influencia determinado. Por lo general, se recicla el efluente con menos del 1% de sólidos para mantener un flujo ascendente constante (Chen, L., &amp; Neibling, H. ,2014).</p>
<b>Principales productos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biogás que puede aprovecharse como fuente de energía renovable.</li> <li>• Fertilizante orgánico/Digestato.</li> </ul>
<b>Consideraciones</b>	<p>Temperatura: La temperatura desempeña un papel fundamental en la eficiencia del proceso de descomposición de la materia orgánica. A medida que la temperatura aumenta, la velocidad de descomposición y, por ende, la producción, también se incrementa. Aunque en este contexto los reactores son herméticos, lo que facilita el control de la temperatura, las condiciones ambientales también ejercen influencia en este aspecto.</p>
<b>Ventajas</b>	<p>Una de las características más destacadas de la digestión anaeróbica es la producción de biogás como fuente de energía renovable, al tiempo que reduce la cantidad de residuos, aliviando así la presión sobre los lugares de disposición final y contribuyendo a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Cuando se gestiona de manera adecuada, este proceso también permite el control de olores y contaminantes (ImplementaSur, 2019).</p>

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 – 5 a continuación, se comparan los tipos comunes de sistemas de digestión anaerobia (AD) y se presentan valores estimados para sus características representativas. Las características del digestor incluyen:

- **Nivel de Tecnología:** una estimación de la complejidad de los componentes del sistema, la habilidad y conocimiento necesarios para su operación y la infraestructura asociada para su implementación.
- **Porcentaje de Sólidos Totales (% ST):** El porcentaje de la materia total de alimentación que está compuesta por sólidos. Algunos tipos de digestores requieren alimentaciones con alto contenido de sólidos, mientras que otros son óptimos para ser utilizados con alimentaciones de alto contenido líquido.
- **HRT:** Tiempo de Retención Hidráulica: la duración promedio durante la cual se mantiene la alimentación en el reactor para lograr una descomposición satisfactoria y la producción de biogás.
- **Prevalencia:** Una estimación de cuán comúnmente se utiliza esta tecnología de digestión en aplicaciones actuales. Ten en cuenta que esto se basa en datos de digestión anaerobia en la agricultura de Estados Unidos y puede no ser representativo de variaciones globales o regionales.

Tabla 3-5: Ficha comparativa de los tipos de tecnologías de digestión anaeróbica

Tipo de digestor y descripción	Nivel de tecnología	Costo	Biogás producido	% total sólidos	HRT (días)	Clima ideal	Prevalencia
<b>Laguna Cubierta:</b> Digestor relativamente simple que opera a temperatura ambiente cubierto de geotextil y lagunas líquidas de gran volumen. La co-digestión no es óptima.	Bajo	Bajo	Bajo	0,5% - 5%	+30 o +60	Clima y temperaturas cálidas	Alto
<b>Flujo continuo o pistón:</b> Digestor de alto contenido de sólidos, calentado y cubierto. La co-digestión no es óptima.	Bajo	Bajo - Medio	Bajo	12% - 15%	+20	Todos	Alto
<b>Biodigestor de Mezcla Completa (CSTR):</b> Digestor de tanque calentado con mezcla mecánica o hidráulica y cubierta. La co-digestión y dilución son comunes.	Medio	Medio	Alto	3% - 10%	+15	Todos	Alto
<b>Reactor de lecho inducido:</b> Reactor de volumen reducido con medios en suspensión y gran población de microbios. Puede ser IBR o UASB dependiendo de la dilución de la materia prima. La co-digestión es posible utilizando la materia prima adecuada (sólidos totales)	Alto	Alto	Alto	IBR: 6% - 12% UASB: <3%	<=5	Todos	Bajo
<b>Película Fija:</b> Digestor pequeño	Medio	Medio	Medio	1% - 5%	<=5	Todos (si se calienta)	Bajo

Tipo de digestor y descripción	Nivel de tecnología	Costo	Biogás producido	% total sólidos	HRT (días)	Clima ideal	Prevalencia
con proceso de biopelícula, utilizado con materias primas de bajo sólidos totales.						cuando es necesario)	
<b>Reactor discontinuo de secuenciación anaeróbica:</b> Tanque calentado con reactor de mezcla intermitente. Los sólidos sedimentan y decantan para una producción constante de gas. La co-digestión es factible.	Alto	Alto	Alto	2,5% - 8%	<=5	Todos	Bajo
<b>DA alta en sólidos:</b> “Fermentación seca” con alto contenido de sólidos calentados en una cámara de digestión. La co-digestión es factible.	Medio	Alto	Alto	>25%	20-30	Todos	Bajo

Fuente: GMI, 2023 (basado en EPA, 2023).

### 3.1.3. Captura de gas en rellenos sanitarios

Tabla 3-6: Ficha descriptiva captura y destrucción de gas en relleno sanitarios

Nombre de la medida		Captura y destrucción de gas en rellenos sanitarios
Descripción		Este sistema de manejo se encarga de capturar el gas que se forma de manera natural en los vertederos como resultado de la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, es decir, en ausencia de oxígeno. Este gas es recolectado a través de un sistema diseñado específicamente para su captura, cuyo diseño se adapta según la ubicación, los objetivos operativos y las prácticas de disposición de residuos.
Tipos de tratamientos	de	<p>Algunos de los principales métodos de captura de gas en rellenos sanitarios:</p> <p><b>Sistema de Captura Pasiva:</b> Este método se basa en la instalación de una serie de pozos de extracción de gas distribuidos estratégicamente en el relleno sanitario. Estos pozos están diseñados para permitir la liberación controlada del biogás generado durante la descomposición de los residuos. El gas se recoge pasivamente a medida que asciende a través de los residuos y se canaliza hacia un sistema de recolección. Aunque es menos eficiente que otros métodos, es relativamente económico de implementar.</p> <p><b>Sistema de Captura Activa:</b> Este enfoque es más eficiente y se basa en la aplicación de un vacío o presión negativa en los pozos de extracción de gas. Esto acelera la extracción del biogás y permite su recolección más efectiva. Un sistema de extracción activa puede incluir bombas de vacío que succionan el gas hacia una red de tuberías interconectadas, desde donde se dirige a un punto central de recolección. El gas puede ser recolectado mediante tuberías situadas de manera vertical u horizontal o mediante colectores superficiales.</p>
Principales productos		Biogás que puede aprovecharse como fuente de energía renovable.
Consideraciones climáticas		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura: La temperatura en la zona tiene un impacto directo en la velocidad a la que los residuos generan metano. En climas más cálidos, esta generación es más rápida.</li> <li>• Precipitaciones: Los niveles de precipitación ejercen un impacto significativo en la humedad de los rellenos sanitarios, una variable para la producción de metano. En ambientes con una mayor humedad, la generación de metano tiende a ser más elevada. Sin embargo, las precipitaciones también conllevan un incremento en la generación de lixiviados, lo cual puede ocasionar inconvenientes operativos al provocar el llenado de los pozos de captura con agua, obstaculizando así la eficaz recolección de biogás.</li> </ul>
Ventajas		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de emisiones de metano y otros contaminantes.</li> <li>• Potencial generación de electricidad y contribución adicional a la reducción de emisiones de la matriz energética.</li> <li>• Potencial incentivo financiero por venta de certificados de reducción de emisiones. Tanto los proyectos de captura de gas de relleno como de generación eléctrica por biogás de relleno tienen el potencial de vender y transferir créditos por su reducción de emisiones. Esto último puede ser considerado un incentivo financiero para los desarrolladores de proyectos. Aún más, recientemente Chile lanzó el Sistema de Compensaciones de Emisiones del Impuesto Verde que se espera que promueva rellenos sanitarios con sistema de captura (Pizzoleo, 2023). Cabe destacar que, independiente de lo anterior, de aprobarse una obligación</li> </ul>

Nombre de la medida	Captura y destrucción de gas en rellenos sanitarios
	regulatoria sobre la captura de gas de relleno, la implementación de estos proyectos dejaría de cumplir con el criterio de adicionalidad mínimo requerido para la certificación según estándares internacionales.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta una ficha comparativa con las ventajas y desventajas de los distintos sistemas de captura de gas de relleno sanitario:

Tabla 3-7: Ficha comparativa de los tipos de tecnologías de captura de gas

Tecnología	Ventajas	Desventajas	Componentes Requeridos
<b>Colección LFG con quema controlada</b>	Mitigación continua de metano cuando la recuperación de energía no es factible o deseada. Reduce los olores y mitiga las emisiones en vertederos abiertos o cerrados. Más del 99% del metano puede ser destruido bajo condiciones óptimas.	Costos iniciales y continuos necesarios para instalar, operar y mantener el sistema de recolección y quema. Debe haber suficiente contenido de metano disponible para sustentar una combustión estable. Es posible que se requieran costos adicionales por propano suplementario en sitios con niveles de gas más bajos.	Pozos y cabezas de pozos, antorchas, sistema de recolección de tuberías, sistema de eliminación de condensado, equipo soplador y patín, y kit registrador de datos para el monitoreo. La ingeniería, los permisos, la perforación de pozos y los estudios del sitio también generan costos.
<b>Sistema de captura pasiva o activa con ventilación</b>	Mientras que la combustión es preferible a la ventilación, en algunas circunstancias, ventilar puede ser beneficioso al controlar olores y mitigar migración subterránea de LFG a vertederos y terrenos aledaños y mitigación de riesgos de fuego y explosión. En algunos casos, filtros de ventilación pasiva pueden romper la molécula de metano a CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O como medida de mitigación.	Sin quemas ni filtros, la ventilación LFG no provee reducciones de emisiones. En casos pasivos (sin vacío activo), el LFG puede migrar a estructuras del lugar o áreas residenciales cercanas y crear condiciones peligrosas y explosivas. Operación inapropiada y monitoreo activo de sistemas crea, potencialmente, condiciones aeróbicas que llevan a deformación de tuberías y fuegos subterráneos.	Pozos y cabezas de pozos, sistema de recolección de tuberías, sistema de eliminación de condensado, equipo de soplador y patín, y kit registrador de datos para el monitoreo. La ingeniería, los permisos, la perforación de pozos y los estudios del sitio también generan costos.

Fuente: GMI, 2023 (basado en EPA, 2023).

Las fichas descriptivas de los sistemas de manejo pre-evaluados, que se encuentran en esta sección, proporcionan una comprensión general de cada sistema de manejo y tratamiento bajo evaluación. Estos manejos sirven como fundamento para construir los productos posteriores, donde se

identifican y analizan diversas medidas de mitigación. A continuación, se presenta un mapa que muestra la ubicación de proyectos que han sido implementados en Chile en relación a los diversos sistemas de manejo. El mapa permite visualizar la distribución geográfica en todo el país (más información en Anexo 1).

# EJEMPLOS DE PROYECTOS IMPLEMENTADOS EN CHILE

## Compostaje domiciliario en viviendas

En el contexto del programa Reciclo Orgánicos se entregaron composteras a en las siguientes regiones:

- Región de Coquimbo
- Región de Valparaíso
- Región de Ñuble
- Región de Araucanía

## Compostaje domiciliario en colegios

- Programa empresa Blumar Seafoods en Región de los lagos y Región de Aysén.
- Programa empresa Aramark en Región Metropolitana.
- Programa Secretaría general ministerial del Medio Ambiente en Región Metropolitana.

## Compostaje a gran escala

- Santa Juana - Región del Biobío
- Armony - Región Metropolitana
- Ideacorp - Región Metropolitana
- Zero Corp - Región de Los Lagos
- Talca - Región del Maule

## Digestión anaeróbica

- BioE - Región del Maule
- Ecoprial - Región de Los Lagos
- Genera4 - Región Metropolitana
- Genera4 - Región del Maule

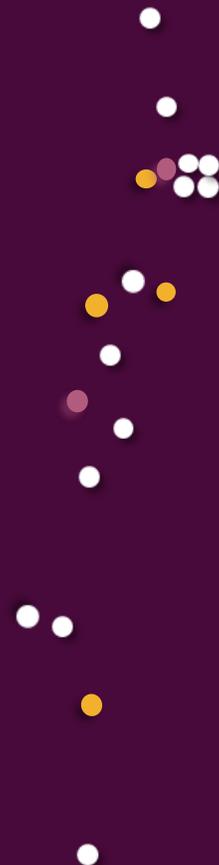
## Captura de gas de relleno sanitario

- Santa Marta - Región Metropolitana
- Copiulemu - Región de Biobío
- Los Pinos - Región de Biobío

### Leyenda

- Compostaje
- Digestión anaeróbica

- Captura de gas de relleno



### 3.2. PRODUCTO B: Levantamiento de conocimiento de actores clave

Este producto presenta el levantamiento de conocimientos desarrollado en entrevistas con actores clave del sector público, sector privado y ONGs, **para la evaluación de medidas pre-evaluadas y la identificación de medidas complementarias**. La información levantada en las entrevistas es utilizada como insumo tanto para este producto (Producto B) como para el Producto E en donde se analizan las barreras, riesgos y oportunidades para la implementación de las medidas de mitigación evaluadas.

Para el levantamiento de información se desarrollaron **12 entrevistas al sector público y privado entre julio y agosto de 2023** (Detalles en minutas Anexo 2). En la siguiente tabla se presenta el listado de entrevistados, la fecha de ejecución de la entrevista y la institución representada.

Tabla 3-8. Listado de entrevistados y fechas de ejecución de entrevistas

Tipo de institución	Institución	Entrevistado/os	Fecha
<b>Gobierno central y municipalidades</b>	MMA – Economía Circular	Pablo Fernandois y Norma Plaza (Proyecto Comunas Circulares)	03-08-2023
	MINSAL	Pamela Santibáñez, Juan Pablo Compas, Guido Martínez, Alejandro V, Julio Monreal, Gonzalo Aguilar	11-08-2023
	SUBDERE	Manuel Muñoz (Encargado de Unidad de Gestión de Inversiones)	04-09-2023
	Municipalidad de Peñalolén	Ricardo Cofré (Director de Medio Ambiente)	16-08-2023
	Municipalidad de Santa Juana	Ana Belén Carrasco (Encargada de la planta de compostaje de Santa Juana)	28-07-2023
<b>Representante ONG o Sociedad Civil</b>	Global Methane Hub	Carolina Urmeneta (Directora de Programa Residuos y Economía Circular)	07-08-2023
	Red de Alimentos	María José Vergara (Gerente de gestión social)	24-08-2023
<b>Desarrolladores de proyectos de captura de gas de relleno</b>	ENC Energy	Gonzalo Rojas (Gerente General)	03-08-2023
	Consorcio Santa Marta	Alberto Tagle (Gerente General)	
<b>Desarrolladores de proyectos de compostaje</b>	Armony	José Manuel Rivera (Gerente General)	07-08-2023
	Sin Institución.	Andrea Arriagada (Socia de directorio de Geociclos)	02-08-2023
<b>Desarrollador de proyectos de digestión anaeróbica</b>	Schwager	Josefa Gutiérrez (Encargada de biogás)	18-08-2023

Fuente: Elaboración propia.

Del total de preguntas realizadas en cada entrevista, el siguiente listado presenta aquellas conducentes a levantar información sobre las medidas pre-evaluadas (costos, potenciales de mitigación y co-beneficios) y sobre potenciales medidas complementarias<sup>4</sup>:

- Respecto de los sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados (compostaje, captura de gas de relleno y digestión anaeróbica) ¿Cuáles son los co-beneficios de la implementación de medidas asociadas a estos sistemas de manejo?
- ¿Cuál es el monto de inversión necesaria para la implementación proyectos asociados a estos sistemas de manejo de residuos?
- ¿Cuánto es el costo de operación y mantención de este tipo de proyectos?
- ¿Cuál es el potencial de mitigación de este tipo de proyectos?
- Además de los sistemas de manejo pre-evaluados ¿Hay otras medidas que consideras/n útiles para mitigar emisiones de metano en el sector residuos?

Los resultados fueron sistematizados y se resumen por ítem a continuación. Cabe destacar que el listado presentado representa únicamente aquellos costos, potenciales de mitigación, co-beneficios y medidas complementarias expresadas por los entrevistados.

- **Costos y potencial de mitigación de los sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados:**

Los desarrolladores y titulares de proyectos entrevistados fueron consultados por valores relativos al costos de inversión y operación, así como también de capacidad de tratamiento y mitigación de GEI de sus proyectos. Como se observa en la información resumida en la siguiente tabla, los datos entregados son generales y no homogéneos (i.e. los entrevistados entregaron información de distintas características). Por ello, el desarrollo y cálculo de costos de abatimiento considera el uso de otras fuentes de información, cuyo detalle se presenta en el Anexo 3, y los datos que se presentan a continuación son solo referenciales.

De todas formas, es posible concluir de la información levantada que el costo de inversión de proyectos de cogeneración eléctrica es sustantivamente mayor en digestión anaeróbica que rellenos sanitarios. Por su parte, se observa que, para algunos municipios, disponer residuos orgánicos en plantas de compostaje representa un ahorro en la gestión de residuos.

Tabla 3-9 Valores de costos, capacidad y mitigación de GEI entregadas por entrevistados

Empresa/Titular	Sistema de manejo	Valores
Consortio Santa Marta	Captura de gas de relleno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo marginal: \$85 USD/Mwh</li> <li>• Costo generación: \$30 USD/MWh</li> <li>• Volumen recibido 100.000 ton/mes</li> <li>• Capacidad instalada: 20 MW</li> </ul>

<sup>4</sup> Dependiendo del tipo de entrevistado, la dinámica generada entre las partes y la disponibilidad de tiempo, algunas preguntas fueron priorizadas y preguntas adicionales fueron desarrolladas.

Empresa/Titular	Sistema de manejo	Valores
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mitigación de GEI: 1,5 Mt CO<sub>2</sub> eq entre 2007 y 2011 mediante quema.</li> </ul>
<b>ENC Energy</b>	Generación eléctrica a partir de biogás de relleno y digestión anaeróbica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generación eléctrica: 1MWh por cada 1.000.000 ton de residuos.</li> <li>CAPEX biodigestión: \$6.000.000 USD/MWh</li> <li>CAPEX relleno: \$2.000.000 USD/MWh</li> <li>OPEX: 40-45 USD/MWh</li> </ul>
<b>Municipalidad de Santa Juana</b>	Compostaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>OPEX: \$300.000.000<sup>5</sup> CLP</li> <li>Capacidad: 15-20 ton/semana en verano, 7-10 ton/semana en invierno</li> <li>Ahorro: \$14.500 CLP por tonelada al no disponer en rellenos sanitarios</li> </ul>
<b>Armony</b>	Compostaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad: 100.000 ton/año</li> <li>CAPEX: Depende de magnitudes, sistemas de manejo y mezclas microbiológicas. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Con aireación forzada, \$7-10 MM USD.</li> <li>- Sin aireación forzada, \$5-7 MM USD</li> </ul> </li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

- Co-beneficios:**

En la siguiente tabla se presenta el resumen de co-beneficios levantados por los entrevistados. Se distinguen aquellos que son transversales (i.e. que aplican a todos los sistemas de manejo de residuos pre-evaluados) de aquellos que destacan en un sistema de manejo específico.

A diferencia del resto del sistema de manejo, el compostaje destaca por promover educación ambiental y el cuidado de la naturaleza en general. Esto ocurre porque es más conocida por la población, además de que incluye medidas que pueden ser directamente implementadas en los hogares, en conexión con los ciclos naturales de la tierra. Por su parte, la digestión anaeróbica es un proceso que destaca por ser capaz de generar nuevos recursos aprovechables por nuevas cadenas de producción, en particular el digestato para la recuperación de suelos y biogás para la producción de energía eléctrica. La captura y uso de gas de relleno es identificada como sistemas de manejo de residuos orgánicos con menor cantidad de co-beneficios, solo destacando su capacidad de generación eléctrica.

Tabla 3-10 Sistematización de resultados de entrevistas en relación a co-beneficios de medidas pre-evaluadas

Sistema de manejo	Co-beneficios
<b>Transversales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Beneficios ambientales generales:</b> La valorización de residuos orgánicos tiene diversos co-beneficios ambientales. Entre ellos destaca la promoción de la recirculación de nutrientes y el tratamiento de residuos (ambos servicios ecosistémicos).</li> <li><b>Generación de empleos:</b> Estos proyectos de inversión generan empleo multisectorial, especialmente en su etapa de operación.</li> </ul>

<sup>5</sup> Este costo corresponde para la Municipalidad de Santa Juana la recolección, transporte y tratamiento tanto de residuos orgánicos e inorgánicos generados en la comuna. No se cuenta con el desglose sobre qué porcentaje corresponde a la fracción de orgánicos.

Sistema de manejo	Co-beneficios
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Generación de alianzas:</b> Los proyectos de gestión de residuos requieren de la asociatividad público-privadas y privadas-privadas. Esta construcción de alianzas fortalece un ecosistema en el que todas las partes conocen las necesidades y problemas de las otras partes involucradas.</li> </ul>
<b>Compostaje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sensibilización y regeneración de tejido social:</b> Los proyectos de compostaje, en especial domiciliario, promueven los valores de sostenibilidad social y ambiental de forma transgeneracional. Asimismo, incentivan la conexión de la sociedad con la naturaleza y sus ciclos.</li> <li>• <b>Facilita el reciclaje de inorgánicos:</b> Incrementar las tasas de segregación en origen de residuos orgánicos domiciliarios y su gestión en centros de compostaje facilita el reciclaje de otros tipos de residuos sólidos domiciliarios ya que disminuye su contaminación, facilitando la separación y el tratamiento. Esto a su vez, mejora de las condiciones de trabajo de los recicladores de base disminuyendo los focos de infección.</li> </ul>
<b>Captura y uso de biogás de relleno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Generación energética:</b> Los proyectos de captura y uso de gas de relleno no solo mitigan importantes emisiones de GEI, sino que también abastecen de energía a otros rubros aportando a la diversificación de fuentes energéticas, reducción del factor de emisión de la matriz y resiliencia de los sectores demandantes.</li> </ul>
<b>Digestión anaeróbica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Biol y potencial de utilizar agua para riego de AV:</b> Como subproducto de la digestión anaeróbica se produce biol (agua con alto valor de nutrientes que puede ser aprovechada por predios aledaños). Dependiendo de los tratamientos que sean aplicados al biol, este podría incluso llegar a ser agua utilizable para riego de áreas verdes. Esto aporta a la circularidad del recurso hídrico y nutrientes, en especial en territorios que se enfrentan a amenazas climáticas de sequías y reducción de precipitaciones.</li> <li>• <b>Generación energética:</b> Al igual que en el caso de los proyectos de generación de biogás de relleno, los proyectos de digestión anaeróbica son capaces de generar biogás que puede ser aprovechado por otras industrias, diversificando sus fuentes energéticas y con ello su resiliencia.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

- **Medidas complementarias**

La siguiente tabla resume el listado de sistemas de manejo de residuos complementarios levantados por los entrevistados y un breve análisis sobre su consideración en el marco de evaluación del presente proyecto. Cabe destacar que, a pesar de que diversos sistemas de manejo o acciones fueron comentados, la mayoría de los entrevistados declaró que los sistemas de manejo pre-evaluados (i.e. compostaje, captura y uso de gas de relleno y digestión anaeróbica) debieran ser las principales a considerar para la reducción de emisiones de metano del sector residuos.

Tabla 3-11 Sistemas de manejo de residuos orgánicos complementarios mencionado por los entrevistados

Sistema de manejo complementario	Aplicabilidad
<b>Reducción de desperdicio de alimentos</b>	Esta medida complementaria tiene el potencial de tener un impacto significativo en la reducción de residuos orgánicos y, por lo tanto, en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Aunque aún no se han establecido metas nacionales concretas para su implementación, se reconoce su relevancia en el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible, que busca reducir en un 50% la pérdida y el desperdicio de alimentos para el año 2030. Por esta razón, se incluye en esta evaluación con el propósito de estimar su potencial de mitigación y costo-abatimiento.
<b>Pirólisis</b>	El sistema de manejo de pirólisis implica una inversión inicial costosa y un mayor consumo de energía en comparación con otras opciones, <u>no se evaluará</u> en términos de costo-abatimiento en Chile, principalmente debido a su estado incipiente en el país y la falta de madurez tecnológica (SUBDERE, 2019).
<b>Gasificación</b>	Este sistema de manejo, que según literatura es compleja de operar y al igual que la pirólisis requiere más energía que otras cuando trata residuos con altos porcentajes de humedad (Cegesti,2014). Esta medida aún incipiente en Chile <u>no se evaluará</u> principalmente debido a su madurez tecnológica (SUBDERE, 2019).
<b>Eradicación de microbasurales y vertederos</b>	<p>Si bien la eliminación de microbasurales y vertederos no constituye un sistema de manejo de valorización específico, sino más bien un objetivo, existen regulaciones vigentes que buscan regular esta problemática. Sin embargo, los entrevistados enfatizan la importancia de que las autoridades establezcan medidas concretas para asegurar su efectiva implementación.</p> <p>La eliminación de microbasurales y vertederos es fundamental para facilitar el cumplimiento de los objetivos relacionados con la captura y uso de gas de relleno. Por lo tanto, dentro del alcance de este proyecto, se abordará este objetivo complementario mediante la definición de medidas relacionadas con los medios de implementación. No obstante, <u>no se evaluará</u> por sí mismo como una medida de acción en las curvas de costo-abatimiento.</p>
<b>Reciclaje de cartón y papel</b>	El reciclaje de cartón y papel (residuos orgánicos) es una medida que reduce emisiones de GEI al disminuir el ingreso de residuos orgánicos a rellenos sanitarios. En la actualidad se encuentra vigente el Decreto N°12 (MMA/2023) que Establece Metas de Recolección y Otras Obligaciones Asociadas de Envases y Embalajes, conforme la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP). Entendiendo que existen metas concretas de implementación de la medida y que estas afectarán las emisiones de las categorías que afectan al presupuesto sectorial del MINSAL, se incorpora el tratamiento como medida dentro de esta evaluación con el fin de estimar su potencial de mitigación y costo-abatimiento.
<b>Biocombustibles de 3era generación</b>	Los biocombustibles de 3era generación corresponden a aquellos producidos a partir de biomasa de productos no comestibles, microorganismos y algas. En Chile, la Pontificia Universidad Católica de Chile se encuentra desarrollado un trabajo de investigación para producir biodiésel a partir de microalgas cultivadas. El sistema de manejo ha mostrado gran potencial de reducción de emisiones en el uso de combustibles, sin embargo, su uso es incipiente, dado que no tiene la madurez requerida y a la fecha no se relaciona directamente con la valorización de residuos orgánicos municipales. Por lo anterior, esta medida <u>no se evaluará</u> en este proyecto.
<b>Tratamiento de lodos</b>	Dado que el alcance de este trabajo es la evaluación de las medidas de reducción de GEI del sector residuos asociadas al cumplimiento de los esfuerzos de mitigación

<b>Sistema de manejo complementario</b>	<b>Aplicabilidad</b>
	esperados del Ministerio de Salud, y que según el MMA el liderazgo de las medidas asociadas al uso de lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas recae en el Ministerio de Obras Públicas, el sistema de manejo no será incluido en la curva de costo-abatimiento.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. PRODUCTO C: Evaluación de costos y curva MAC

Este producto tiene por objetivo mostrar la evaluación de costo-abatimiento de cada una de las medidas diseñadas por el equipo consultor con previa aprobación de la contraparte técnica.

El costo medio de abatimiento corresponde al costo medio de mitigar una tonelada de CO<sub>2</sub>e y, a su vez, corresponde a un indicador que permite evaluar la costo - eficiencia de las medidas y poder compararlas entre ellas. De forma general, el costo de abatimiento se calcula como la diferencia entre Costo Anual Equivalente (CAE) y la diferencia entre las emisiones del escenario con la medida y con el escenario de línea base. El detalle de su cálculo para cada caso se presenta en las siguientes subsecciones.

Mientras que la curva MAC (Curva de Costo Marginal de abatimiento), por su sigla en inglés, permite visualizar en un gráfico los costos medios de abatimiento de las diferentes medidas, presentando el costo por tonelada de carbono equivalente evitada y la cantidad de toneladas de dióxido de carbono equivalente que la medida es capaz de mitigar.

Para obtener los costos medios de abatimiento y su respectiva curva MAC es necesario definir los alcances de las diferentes medidas a evaluar para así poder estimar su CAE y su potencial de mitigación, de esta definición se pueden identificar los parámetros y supuestos necesarios para el cálculo. De forma general, los siguientes párrafos presentan la estructura y contenido de las subsecciones que componen este producto con el objetivo de que se pueda entender el proceso lógico que se siguió para obtener los resultados.

En primer lugar, se definió el alcance de cada medida a partir del análisis de metas de implementación desarrollado en la Sección 3.9, de las entrevistas con actores clave y de las discusiones sostenidas con la contraparte técnica en las reuniones de seguimiento.

Luego, entendiendo que el costo-abatimiento de proyectos de cada sistema de manejo de residuos orgánicos difiere sustantivamente dependiendo de las condiciones climáticas, y que existen diversas urgencias regionales sanitarias en la gestión de residuos, se realizó un análisis de espacialidad para proponer una distribución de las medidas que fuera consistente con la realidad del país.

En una tercera instancia se realizó un análisis de temporalidad basado en el flujo anual de implementación de proyectos con el objetivo de cuantificar el efecto sinérgico de algunas medidas<sup>6</sup>. Por ejemplo, el efecto de la implementación de las medidas asociadas a la valorización de residuos orgánicos disminuiría la cantidad de residuos recibidos en rellenos sanitarios y, por ende, la generación de biogás junto con el potencial de mitigación de estas medidas.

Finalmente se realizó la estimación de costo-abatimiento de las medidas y la construcción de la curva MAC. Para ello se seleccionaron y se estimaron valores CAPEX y OPEX de diferentes fuentes y se estimó el potencial de mitigación de cada medida en función de la cantidad de residuos disponibles, sus condiciones climáticas y las particularidades del sistema de manejo de residuos asociados a cada medida

---

<sup>6</sup> Este análisis de sinergia no incluye la evaluación del efecto de la implementación de medidas asociadas a medios de implementación. Dicho análisis será realizado en próximas actividades de la consultoría.

A continuación, se presentan los resultados intermedios (listado de medidas, distribución espacial y temporal de la implementación de las medidas, entre otros) y resultado final (curvas de costo-abatimiento) del Producto C.

### 3.3.1. Definición del alcance de las medidas

En esta etapa se delimitan las medidas en función de la información levantada en secciones anteriores y las discusiones con la contraparte técnica. Es importante recalcar que el alcance de cada medida está apoyado en las estrategias, compromisos y diferentes instrumentos que han sido desarrollados por el país. La delimitación consiste en la definición de un horizonte temporal de implementación y una cantidad de proyectos estimado.

La principal fuente de información utilizada para la definición del alcance de las medidas fue el volumen proyectado de generación de residuos orgánicos municipales e industriales al 2050 que fue compartido por la contraparte. Esta base de datos consideraba la cantidad de residuos dispuestos por tipo de sitio de disposición entre los años 1950 al 2060.

Los **principales supuestos** utilizados en esta etapa son:

#### Transversales:

- Las metas de implementación asociadas a cada sistema de manejo deben ser consistentes con aquellas presentadas en instrumentos de política pública nacionales. Se asumen los mayores niveles de ambición para cada caso.

#### Compostaje:

- Para estimar el potencial e impacto de la medida se definieron unidades mínimas de proyectos de compostaje a gran escala para poder darle una bajada territorial a las metas de compostaje en el país.
- Las unidades mínimas se definen analizando volumen anual necesario a tratar por región y los umbrales de las Categorías A, B y C de plantas propuestas en el Reglamento sobre Manejo Sanitario de las Instalaciones de Valorización de Residuos Orgánicos (en proceso de aprobación). Lo anterior, procurando definir una cantidad de proyectos que resulte factible de implementar en consideración de la alta ambición propia de la medida. Se hace notar que este supuesto permite estimar la cantidad de proyectos que sería necesario implementar a fin de evaluar el costo abatimiento de la medida. Sin embargo, la capacidad de tratamiento requerida puede ser lograda con una cantidad equivalente de proyectos de menor o mayor escala.
- Las unidades mínimas de proyecto utilizadas para la evaluación se detallan a continuación:
  - Región Metropolitana: 100.000 ton/año<sup>7</sup> (Categoría A).

---

<sup>7</sup> Capacidad de tratamiento equivale a aquella observada en proyectos de gran escala existentes en el país. Por ejemplo, planta de compostaje Armony instalada en la Región Metropolitana tiene una capacidad aproximada de tratamiento de entre 100.000 ton/año y 120.000 ton/año.

- Región de Arica y Parinacota, Aysén, y Magallanes: 10.000 ton/año<sup>8</sup> (Categoría C).
- Otras regiones: 36.000 ton/año<sup>9</sup> (Categoría B).

#### Digestión anaeróbica:

- Para esta medida, al igual que el caso de compostaje a gran escala, se asumió una unidad mínima de planta, que en este caso fue cercana a 36,5 kton anuales (equivalente a 100 toneladas de residuos diarias) con enfoque en residuos industriales. Este tamaño se definió por conversaciones con desarrolladores quienes comentaron que la unidad mínima rentable según experiencia a nivel nacional es cercana a las 100 toneladas diarias. Cabe mencionar que esta capacidad está dentro del margen de capacidad observada a nivel internacional para este tipo de tratamiento, siendo este entre 20 a 240 kton al año (BID, 2022).
- Por otro lado, es necesario mencionar que, según la proyección de residuos industriales compartida por la contraparte técnica, la cantidad de residuos de la categoría “alimentos” en 12 de las 16 regiones es menor a 10 kton al año, lo que permitió descartar estas regiones como territorios en los cuales emplazar este tipo de tratamientos.

#### Captura y quema de gas de relleno:

- Para la medida relacionada con la captura de gas en rellenos sanitarios ya construidos, se consideró la proyección de residuos compartidos por la contraparte y se cruzó con la información del estudio de SUBDERE del 2018 que caracterizaba los rellenos sanitarios en Chile y su vida útil<sup>10</sup>.
- Se asume que los sistemas de captura y quema de gas de relleno en los sitios de disposición preexistente se implementará en el 2028.
- Además, para la medida asociada a nuevos rellenos sanitarios, se asume que estos tendrán la capacidad suficiente para tratar los residuos que se dejarán de tratar por el cierre de los sitios ya construidos, y lo necesario para cumplir con un 97% de los residuos no valorizados depositados en rellenos sanitarios al 2035 (Sección 3.9). Esto contempla el tratamiento de residuos que en la proyección serían dispuestos en vertederos y basurales.
- Se descontaron de los residuos de la disposición proyectada aquellos que serían desviados como resultados de las medidas de valorización (compostaje domiciliario, a gran escala y digestión anaeróbica).

---

<sup>8</sup> Equivalen a regiones con una generación de residuos orgánicos menor a 50.000 ton/año.

<sup>9</sup> Se utiliza el límite superior de la categoría a fin de reducir la cantidad de proyectos en cada región. Sin embargo, se recuerda que para efectos de lograr los potenciales de mitigación esperados, lo más relevante es el volumen de residuos valorizados. Así, los proyectos pueden ser más pequeños o grandes según las realidades territoriales.

<sup>10</sup> En función de la entrevista desarrollada a SUBDERE se deja fuera del listado de RS a los siguientes: RS Panul (Región de Coquimbo), RS el Molle (Región de Valparaíso), RS La Yesca (Región de O’Higgins) y RS Laguna Verde (Región del Biobío).

- Se excluyeron de la medida los rellenos sanitarios manuales identificados en el estudio de la SUBDERE del 2018.
- Se consideran en la medida todos los rellenos sanitarios tradicionales (no manuales) independiente de su volumen de generación de biogás. Esto, buscando alinear la realidad de la gestión de residuos en Chile a estándares internacionales consistentes con una alta ambición de mitigación de GEI. En esta materia destaca la Directiva de la Unión Europea sobre vertido de residuos (Directiva 1999/31/CE y modificaciones posteriores en Directiva 2018/8050 del Parlamento Europeo) que en su Anexo I estipula lo siguiente: “En todos los vertederos<sup>11</sup> que reciban residuos biodegradables se recogerán los gases de vertedero, se tratarán y se utilizarán. Si el gas recogido no puede utilizarse para producir energía, deberá hacerse quemar.” (Punto 4.2, Anexo I sobre Requisitos Generales para todas las clases de vertederos).

Medidas complementarias:

- Reciclaje de papel y cartón: en línea con lo conversado con la contraparte técnica se evalúa la medida de papel y cartón. Para definir el alcance de esta medida, se utilizan los mismos supuestos que la contraparte técnica en cuanto al % de reciclaje de estos residuos, los cuales provienen de las metas de valorización domiciliarias para este producto prioritario en el marco de la Ley REP.

Es necesario mencionar que esta medida al estar establecida por la Ley REP, la obligación de la valorización de este tipo de residuos es del industrial. Por lo que el principal interés de evaluar esta medida está relacionado con ver cuánto disminuyen las emisiones en el sector de residuos y no necesariamente los costos de su implementación.

- Reducción del desperdicio de alimentos: se incorpora la medida debido a su importancia en la disminución de los residuos dispuestos en rellenos sanitarios y la seguridad alimentaria, además de la existencia de un objetivo de reducción específico (ODS, Meta 12.3). Dado que el trabajo en la materia es más reciente y los datos existentes son limitados el equipo consultor tuvo reuniones con actores clave en la materia para definir el alcance de la iniciativa (Red de Alimentos, Microbanco de Cerro Navia, ODEPA, Oficina Economía Circular). Como resultado de tales conversaciones se decide limitar la medida a la reducción del desperdicio de alimentos<sup>12</sup>, el que es definido por la FAO como los alimentos que son perdidos en las etapas de distribución, venta y consumo (FAO, 2011).

Dado que no se cuenta con datos nacionales específicos acerca del desperdicio de alimentos, se utilizan estimaciones de la EPA. En particular, la agencia define que aproximadamente un 24% de los residuos sólidos municipales que llegan a rellenos

<sup>11</sup> Cabe destacar que internacionalmente el concepto vertedero se utiliza para el sitio de disposición que en Chile reconocemos como Relleno Sanitario.

<sup>12</sup> En esta ocasión se deja fuera la estimación para la medida de reducción de pérdida de alimentos dada la falta de información para estimar una línea base.

sanitarios corresponden a alimentos (EPA, 2018). Por otro lado, para la estimación de la medida se contempla que el desperdicio de alimentos se aborda mediante la implementación de Bancos de Alimentos.

La tabla presentada a continuación muestra el listado de las **ocho medidas** que fueron evaluadas según sistema de manejo de residuos orgánicos. El detalle de la estimación de la cantidad de proyectos necesarios para dar cumplimiento a las necesidades de tratamiento de las medidas se detalla en el Anexo 3. Por su parte, el análisis de distribución territorial de los proyectos se presenta en la siguiente sección.

Tabla 3-12 Medidas a evaluar.

Medida	Objetivo de la medida	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Equivalencia en cantidad de proyectos
<b>Medida 1 (M1): Instalación y uso de composteras en viviendas</b>	Tratar 216 kton de residuos orgánicos mediante compostaje domiciliario en el 2030, evitando que lleguen a rellenos sanitarios.	Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos	500.000 composteras instaladas en viviendas al 2030.
<b>Medida 2 (M2): Instalación y uso de composteras en establecimientos educativos</b>	Tratar 12,6 kton de residuos orgánicos mediante compostaje en establecimientos educativos en el 2030, evitando que lleguen a rellenos sanitarios.	Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos	5.000 composteras instaladas en establecimientos educativos al 2030.
<b>Medida 3 (M3): Instalación y uso de nuevas plantas de compostaje a gran escala</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tratar 30% del volumen de residuos orgánicos municipales al 2030 mediante compostaje a gran escala (alrededor de 1.390 kton al 2030), evitando que lleguen a rellenos sanitarios.</li> <li>Tratar 66% del volumen de residuos orgánicos municipales al 2040 mediante compostaje a gran escala (alrededor de 2.900 kton al 2040), evitando que lleguen a rellenos sanitarios.</li> </ul>	Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación y operación de 37 plantas de compostaje de 10 kton/año (5 proyectos), 36 kton/año (29 proyectos) y 100 kton/año (3 proyectos) al 2030, para tratar residuos municipales.</li> <li>Instalación y operación de 58 centros de compostaje de 10 kton/año, 36 kton/año y 100 kton/año al 2050, para tratar residuos municipales.</li> </ul>
<b>Medida 4 (M4): Instalación de plantas de digestión anaeróbica para el</b>	Tratar el 30% de residuos orgánicos industriales al 2030, y 66% al 2040, evitando que lleguen a rellenos sanitarios.	-	Instalación de 6 plantas de digestión anaeróbica con capacidad de tratamiento de 36,5 kton de residuos industriales al 2040.

Medida	Objetivo de la medida	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Equivalencia en cantidad de proyectos
tratamiento de residuos orgánicos industriales			
<b>Medida 5 (M5): Instalación de sistemas de captura y quema o uso de biogás en rellenos sanitarios pre-existentes</b>	100% de los rellenos sanitarios tradicionales (no manuales) existentes tienen sistema de captura de gas de relleno al 2035.	Contribuciones Nacionalmente Determinadas y Estrategia Climática de Largo Plazo	-
<b>Medida 6 (M6): Instalación de sistemas de captura y quema o uso de biogás en nuevos rellenos sanitarios</b>	100% de los nuevos rellenos sanitarios (no manuales) tiene sistema de captura o quema de gas de relleno al 2035.	Contribuciones Nacionalmente Determinadas y Estrategia Climática de Largo Plazo	-
<b>Medida 7 (M7): Reciclaje de papel y cartón</b>	Alcanzar progresivamente un 70% de reciclaje de papel y cartón al 2033 y que se mantenga dicho porcentaje a lo largo de los años, evitando la disposición de este residuo en los rellenos sanitarios	Ley de Responsabilidad Extendida del Productor	-
<b>Medida 8 (M8): Reducir el desperdicio de alimentos</b>	Reducir en un 50% el desperdicio de alimentos al 2030, equivalente a 1.905 kton de alimentos al 2030.	Meta 12.3 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 (ODS)	-

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2. Línea base

La línea de base para todas las medidas se ha establecido siguiendo la proyección de residuos realizada por el Ministerio del Medio Ambiente para los años desde el 1960 al 2050. A partir de esta información, se ha determinado el alcance y la ambición de las medidas propuestas. Es fundamental resaltar que los cálculos efectuados están sujetos a la incertidumbre inherente de esta proyección de residuos dispuestos. Cualquier modificación en esta base de datos implica un ajuste en los cálculos presentados en este informe para todas las medidas evaluadas<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Se tiene conocimiento de que SUBDERE está llevando a cabo un estudio detallado de caracterización de residuos, el cual abarca datos sobre el desperdicio de alimentos. Se recomienda que se revisen los resultados de este estudio en función de los hallazgos que arroje dicho análisis.

De acuerdo con las proyecciones de datos, se prevé un total de aproximadamente 286 millones de toneladas de residuos municipales entre 2020 y 2050, con un promedio anual de 9,2 millones de toneladas. En el caso de los residuos industriales, se estima un total cercano a 85,6 millones de toneladas para el mismo período, con un promedio anual de 2,8 millones de toneladas. Además, es importante destacar que tanto los residuos municipales como los industriales muestran un incremento en relación con los valores de 2020, con un aumento del 31% en el caso de los residuos municipales y un incremento del 133% en los residuos industriales. Las tablas siguientes muestran los residuos proyectados para distintos años.

Tabla 3-13: Total de residuos municipales por región (kton)

Región	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Tarapacá	196	211	223	236	242	247	249
Antofagasta	179	192	201	209	215	219	221
Atacama	143	157	165	172	178	182	185
Coquimbo	336	371	401	429	445	456	462
Valparaíso	685	765	812	853	882	902	912
Libertador General Bernardo O'Higgins	352	383	407	427	441	452	458
Maule	388	418	444	467	483	494	499
Bio-Bío	534	575	601	622	642	657	665
La Araucanía	196	210	221	230	238	244	247
Los Lagos	374	396	419	439	455	467	473
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	51	69	73	75	77	79	80
Magallanes y Antártica Chilena	40	41	43	44	45	46	46
Metropolitana de Santiago	3.788	4.182	4.449	4.669	4.848	4.974	5.048
Los Ríos	141	149	157	164	170	174	176
Arica y Parinacota	90	95	100	104	107	109	110
Ñuble	216	232	243	251	260	265	269
<b>Total</b>	<b>7.709</b>	<b>8.446</b>	<b>8.959</b>	<b>9.388</b>	<b>9.727</b>	<b>9.964</b>	<b>10.101</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-14: Total de residuos industriales por región

Región	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Tarapacá	18	43	49	54	58	61	63
Antofagasta	16	39	44	49	53	56	58
Atacama	2	4	5	5	6	6	6
Coquimbo	514	400	408	416	423	429	433
Valparaíso	34	82	92	101	108	115	119
Libertador General Bernardo O'Higgins	31	63	67	72	76	79	82
Maule	31	72	79	86	92	96	99
Bio-Bío	514	400	408	416	423	429	433
La Araucanía	-	-	-	-	-	-	-
Los Lagos	80	173	185	197	207	217	225
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	-	-	-	-	-	-	-
Magallanes y Antártica Chilena	9	21	23	26	27	29	30
Metropolitana de Santiago	641	1.439	1.606	1.758	1.890	1.995	2.068
Los Ríos	8	18	20	22	23	25	25
Arica y Parinacota	2	4	4	5	5	5	6
Ñuble	5	12	14	15	16	17	18
<b>Total</b>	<b>1.398</b>	<b>2.389</b>	<b>2.617</b>	<b>2.826</b>	<b>3.008</b>	<b>3.155</b>	<b>3.259</b>

Fuente: Elaboración propia.

Las siguientes tablas presentan la cantidad de residuos tanto a nivel municipal como industrial por tipo de residuos, destacando la categoría de residuos orgánicos y el papel y cartón. Es importante mencionar que en la base de datos utilizadas, estos residuos reciben los nombres “alimentos” y “papel” cuando son parte de la fracción industrial.

Tabla 3-15: Total de residuos orgánicos municipales por región (kton)

Región	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Tarapacá	111	112	114	114	112	108	107
Antofagasta	101	102	102	101	99	96	95
Atacama	81	84	84	83	82	80	79
Coquimbo	190	198	204	208	205	199	197
Valparaíso	388	407	413	413	406	394	390
Libertador General Bernardo O’Higgins	199	204	207	207	203	197	195
Maule	217	221	224	225	222	215	213
Bio-Bío	299	303	304	300	295	287	284
La Araucanía	110	111	112	111	109	106	106
Los Lagos	209	209	212	212	209	204	202
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	29	36	37	36	35	34	34
Magallanes y Antártica Chilena	22	22	22	21	21	20	20
Metropolitana de Santiago	2.148	2.230	2.265	2.264	2.234	2.172	2.157
Los Ríos	79	79	79	79	78	76	75
Arica y Parinacota	51	51	51	50	49	47	47
Ñuble	121	123	123	121	119	116	115
<b>Total</b>	<b>4.355</b>	<b>4.491</b>	<b>4.551</b>	<b>4.546</b>	<b>4.479</b>	<b>4.351</b>	<b>4.315</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-16: Total papel y cartón en residuos municipales por región (kton)

Región	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Tarapacá	21	26	31	36	41	45	47
Antofagasta	19	24	28	32	36	40	41
Atacama	15	20	23	26	30	33	35
Coquimbo	36	47	56	66	75	83	87
Valparaíso	73	96	113	131	148	164	171
Libertador General Bernardo O’Higgins	37	48	57	66	74	82	86
Maule	42	53	63	72	81	90	94
Bio-Bío	58	74	85	96	108	119	124
La Araucanía	21	27	31	36	40	44	46
Los Lagos	41	51	59	68	77	85	89
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	6	9	10	12	13	14	15
Magallanes y Antártica Chilena	4	5	6	7	8	8	9
Metropolitana de Santiago	466	579	666	750	833	910	946
Los Ríos	15	19	22	25	29	32	33
Arica y Parinacota	10	12	14	16	18	20	21
Ñuble	24	30	34	39	44	48	50
<b>Total</b>	<b>887</b>	<b>1.120</b>	<b>1.299</b>	<b>1.478</b>	<b>1.653</b>	<b>1.817</b>	<b>1.892</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-17: Total de residuos orgánicos en residuos industriales (kton)

Región	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Tarapacá	-	-	-	-	-	-	-
Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-
Atacama	0	1	1	1	1	1	1

Región	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Coquimbo	-	-	-	-	-	-	-
Valparaíso	4	7	8	8	8	8	9
Libertador General Bernardo O'Higgins	16	32	34	35	36	38	39
Maule	4	7	8	8	8	9	9
Bio-Bío	14	28	29	30	31	32	34
La Araucanía	-	-	-	-	-	-	-
Los Lagos	55	113	117	122	126	131	137
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	-	-	-	-	-	-	-
Magallanes y Antártica Chilena	1	2	3	3	3	3	3
Metropolitana de Santiago	41	85	88	92	95	99	103
Los Ríos	2	4	4	4	4	5	5
Arica y Parinacota	-	-	-	-	-	-	-
Ñuble	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>280</b>	<b>291</b>	<b>302</b>	<b>314</b>	<b>327</b>	<b>339</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-18: Total de papel en residuos industriales (kton)

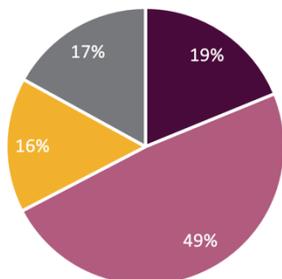
Región	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Tarapacá	-	-	-	-	-	-	-
Antofagasta	-	-	-	-	-	-	-
Atacama	-	-	-	-	-	-	-
Coquimbo	-	-	-	-	-	-	-
Valparaíso	-	-	-	-	-	-	-
Libertador General Bernardo O'Higgins	4	3	3	3	3	3	3
Maule	6	4	4	4	4	4	4
Bio-Bío	476	312	312	312	312	312	312
La Araucanía	-	-	-	-	-	-	-
Los Lagos	-	-	-	-	-	-	-
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	-	-	-	-	-	-	-
Magallanes y Antártica Chilena	-	-	-	-	-	-	-
Metropolitana de Santiago	74	48	48	48	48	48	48
Los Ríos	-	-	-	-	-	-	-
Arica y Parinacota	-	-	-	-	-	-	-
Ñuble	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>561</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>	<b>368</b>

Fuente: Elaboración propia

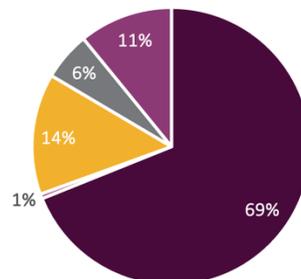
Observando las tablas, se evidencia que la región Metropolitana concentra la mayor cantidad de residuos, representando aproximadamente 50% del total de residuos municipales seguido por la región de Valparaíso con un 9% del total. En el caso de los residuos industriales, ocurre algo similar donde la región Metropolitana abarca un 60% de los residuos generados seguida por la región de Bio-Bío con un 18%. Esta información es de gran importancia para determinar la priorización de las regiones y la cantidad de proyectos asignados a cada una de ellas.

En lo que respecta la proporción de tipos de residuos, se observa que, dentro de los residuos municipales, los residuos orgánicos predominan representando en promedio el 49% del total de residuos. En el caso de los residuos industriales, la categoría "otros" es la más preponderante con un 69%, seguida de la categoría "papel" con un 14%, como se ilustra en la siguiente figura.

Distribución de Residuos Municipales



Distribución de Residuos Industriales



■ NOORGANICO ■ ORGANICO ■ PAPELCARTON ■ OTROS ■ OTROS ■ TEXTILES ■ PAPEL ■ CONSTRUCCION ■ ALIMENTOS

Figura 3-1: Distribución por tipo de residuo

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la disposición final de los residuos proyectados, se prevé que la mayoría de los residuos municipales serán destinados a rellenos anaeróbicos y vertederos, mientras que los residuos industriales serán depositados en rellenos y vertederos, como se detalla en las tablas siguiente. Esta información es crucial, ya que el tipo de sitio de disposición final influye en las emisiones de metano asociadas y, por lo tanto, en el potencial de mitigación al redirigir los residuos orgánicos.

Tabla 3-19: Cantidad de residuos municipales por tipo de sitio de disposición final.

Tipo de sitio	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Basural	285	185	196	204	212	217	220
Relleno Anaeróbico	6.075	6.789	7.206	7.553	7.831	8.025	8.138
Relleno Semiaeróbico	117	221	233	243	251	256	259
Vertedero	1.232	1.250	1.323	1.388	1.434	1.466	1.484
<b>Total</b>	<b>7.709</b>	<b>8.446</b>	<b>8.959</b>	<b>9.388</b>	<b>9.727</b>	<b>9.964</b>	<b>10.101</b>

Fuente: Elaboración propia

A diferencia de la tabla anterior, para los residuos industriales solo se identifican tres tipos de sitios de disposición final “Basural”, “Relleno” y “Vertedero”, siendo el relleno el sitio que recibe más residuos, cantidad que va aumentando con el tiempo.

Tabla 3-20: Cantidad de residuos industriales por tipo de sitio de disposición final.

Tipo de sitio	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Basural	6	14	16	17	18	19	20
Relleno	776	1.779	1.979	2.162	2.322	2.450	2.540
Vertedero	617	596	622	647	668	686	699
	1.398	2.389	2.617	2.826	3.008	3.155	3.259

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3. Análisis de distribución regional de medidas

Para estimar el costo de abatimiento de cada una de las medidas fue necesario definir una distribución territorial de los proyectos, para ello se consideró no solo la disponibilidad de residuos orgánicos en la región, sino que también información relacionada a la necesidad de contar con alternativas de tratamiento y/o valorización.

- **Priorización comunal**

Durante el 2021, el Programa Reciclo Orgánicos Chile realizó un ejercicio de priorización de las comunas del país identificando aquellas que presentaban más urgencia en contar con un programa o proyecto de valorización de residuos orgánicos para sus territorios. Para ello, se hizo un análisis multicriterio del cual se obtuvo un puntaje de 0 al 100 para cada comuna del país, donde 0 indicaba menos prioridad y 100 la mayor. Los criterios que se consideraron en dicho análisis fueron los siguientes<sup>14</sup>:

- Tipo del sitio de disposición.
- Situación sanitaria del sitio de disposición.
- Vida útil del sitio de disposición.
- Existencia de sistemas de captura en el sitio de disposición.
- Estimación de emisiones de GEI por transporte y tratamiento.
- Costos de tratamiento y recolección por tonelada.
- Situación económica comunal de ingresos por Derechos de Aseo.

Para la presente consultoría se utilizaron los resultados del ejercicio multicriterio realizado, en particular, el puntaje de priorización calculado para cada comuna del país. Con esta información se realizó un análisis por región identificando la cantidad de comunas con puntaje de priorización entre distintos rangos de puntuación.

Es importante mencionar que no solo se consideró la cantidad predominante en el primer intervalo, sino su relación y proporción de comunas con los siguientes. Los resultados se encuentran en la siguiente tabla, donde se puede observar que las regiones que presentan mayor urgencia en función son la Región de Los Lagos, Tarapacá, y de La Araucanía.

Tabla 3-21 Distribución de comunas por región por puntuación en ejercicio de priorización Programa Reciclo Orgánicos Chile.

Región	Cantidad de RO 2025 <sup>15</sup> (kton)	Cantidad de comunas	Comunas de la región según puntuación de prioridad ENRO (%)				
			60 - 100	50 - 60	40 - 50	30 - 40	30 - 0
Los Lagos	209	30	7	3	8	1	11
Tarapacá	111	7	5	0	0	1	1
La Araucanía	110	32	2	4	16	8	1
Magallanes y Antártica Chilena	22	10	3	3	2	1	1
Bio-bío	299	33	1	2	20	10	0
Valparaíso	388	38	2	1	3	17	15

<sup>14</sup> La información utilizada para el ejercicio de priorización correspondía principalmente del “Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y Asimilables” de SUBDERE del 2018.

<sup>15</sup> Representa el volumen de residuos orgánicos proyectado por el MMA para el 2025.

Región	Cantidad de RO 2025 <sup>15</sup> (kton)	Cantidad de comunas	Comunas de la región según puntuación de prioridad ENRO (%)				
			60 - 100	50 - 60	40 - 50	30 - 40	30 - 0
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	29	10	2	2	3	1	2
Los Ríos	79	12	1	0	6	5	0
Antofagasta	101	9	1	1	2	3	2
Arica y Parinacota	51	4	1	1	1	1	0
Coquimbo	190	15	0	1	7	6	1
Maule	217	30	1	0	7	10	12
Atacama	81	9	1	1	0	4	3
Ñuble	121	21	0	0	1	13	7
Libertador General Bernardo O'Higgins	199	33	0	0	5	15	13
Metropolitana de Santiago	2.148	52	0	0	4	32	16

Fuente: Elaboración propia.

- **Urgencias y oportunidades regionales en la gestión de residuos**

Cada región presenta una situación particular en materia de cobertura y estado de sitios de disposición, además de carteras de inversión. La distribución regional de los proyectos que deben ser implementados para dar cumplimiento a los objetivos de las medidas de mitigación propuestos en la sección anterior deben no solo responder a consideraciones de costo-efectividad, sino que también deben atender a las urgencias y oportunidades de los territorios para asegurar el cumplimiento de otros pilares de la ECLP, como el pilar social y la gobernanza climática.

Tomando en cuenta las distintas consideraciones levantadas en la entrevista realizada a SUBDERE, la siguiente tabla resume los niveles de prioridad para implementación de proyectos valorización de residuos orgánicos asignados por el equipo consultor a cada región. Estos niveles (Baja, Media o Alta) consideran tanto la urgencia de soluciones de disposición, como las oportunidades particulares que se dan en territorios que se encuentran en procesos de planificación estratégica.

Como se observa, las regiones con mayor prioridad para la implementación de proyectos de valorización corresponden a la **Región de Coquimbo, Región de O'Higgins, Región del Biobío y Región de Los Lagos**. A estas las siguen regiones con prioridad media como la Región de Atacama, la Región Metropolitana, la Región de la Araucanía, y la Región de Magallanes y la Antártica Chilena.

Tabla 3-22 Nivel de prioridad regional según urgencias y consideraciones territoriales

Región	Consideraciones	Prioridad
Región de Arica y Parinacota	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CTI en proceso de implementación desde 2017 para la comuna de Arica. Gestionará un 99% de los residuos de la población.</li> </ul>	Baja
Región de Tarapacá	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RS en proceso de diseño para la comuna de Iquique y Alto Hospicio. Gestionará un 97% de los residuos de la región.</li> </ul>	Baja
Región de Antofagasta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RS inaugurado hace menos de 5 años en Antofagasta.</li> <li>• RS inaugurado hace menos de 5 años en San Pedro de Atacama.</li> <li>• RS pronto a ser inaugurado en Mejillones</li> <li>• Déficit de RS en Taltal.</li> </ul>	Baja
Región de Atacama	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran porcentaje de disposición bajo normativa.</li> <li>• RS pronto a ser inaugurado en Diego de Almagro.</li> </ul>	Media

Región	Consideraciones	Prioridad
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déficit de RS en Chañaral.</li> </ul>	
<b>Región de Coquimbo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RS Panul le quedan menos de 2 años de vida útil</li> <li>No se visualizan nuevos proyectos, situación crítica a nivel país.</li> </ul>	Alta
<b>Región de Valparaíso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene un 98% de disposición a nivel regional.</li> <li>Déficit de RS en comunas del norte de la región.</li> <li>La región está principalmente enfocada en proyectos que disminuyan la carga sobre RS.</li> <li>RS el Molle tiene vida útil al 2032 y su administración pronto pasará a ser municipal.</li> </ul>	Baja
<b>Región Metropolitana</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se avanza en conversión del Vertedero de Popeta.</li> <li>Complicaciones en la ampliación de RS Santa Marta.</li> </ul>	Media
<b>Región de O'Higgins</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incertidumbre en la vida útil real de RS La Yesca que gestiona los residuos de 17 de las 33 comunas de la región.</li> <li>Proyecto de estación de transferencia lleva aproximadamente 10 años en proceso de aprobación.</li> <li>La región se encuentra desarrollando una planificación estratégica para levantar una cartera de proyectos</li> </ul>	Alta
<b>Región del Maule</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Región con un 100% de disposición con oferta principalmente privada.</li> <li>Proyectos de plantas de compostaje en desarrollo.</li> </ul>	Baja
<b>Región del Ñuble</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Región con 100% de disposición y baja demanda de proyectos.</li> </ul>	Baja
<b>Región del Biobío</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RS Hidronor cerrado.</li> <li>Grandes comunas como Talcahuano, Hualpén y Florida están disponiendo en Chillán Viejo (Región del Ñuble).</li> <li>Este año se acaba la Resolución de Calificación Ambiental de RS CEMARC.</li> <li>Se estima que la vida útil del RS Laguna Verde, que cubre gran parte de la demanda de comunas del norte de la Región de la Araucanía y el sur de la Región de Biobío, se reducirá al 2026.</li> </ul>	Alta
<b>Región de la Araucanía</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se avanza en proyectos, pero con dificultad por conflictos regionales.</li> <li>Se apuesta a proyectos de compostaje de gran escala y compostaje domiciliario.</li> <li>Comunas con situaciones de gestión de residuos complejas como Villarrica.</li> </ul>	Media
<b>Región de Los Ríos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proyectos de RS en proceso de implementación.</li> <li>Inversión estatal en centros de transferencia y plantas de compostaje.</li> </ul>	Baja
<b>Región de Los Lagos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Provincia de Osorno es un punto crítico nacional. Dispone en un vertedero al que le queda entre 2 y 3 años de vida útil.</li> <li>Chiloé es también un punto complejo a nivel nacional. Solo destaca Ancud con altas tasas de reciclaje. El resto de las comunas disponen en vertederos que se encuentran en situación crítica.</li> <li>RS La Laja en funcionamiento con proyecto de conversión a un CTI.</li> <li>Palena cuenta con CTI y hay proyectos de valorización en Chaitén.</li> </ul>	Alta
<b>Región de Aysén</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CTI en proceso para Cochrane.</li> <li>Centros de transferencia con financiamiento a lo largo de la región.</li> <li>CTI de Villa O'Higgins destaca por sus sistemas de tratamiento.</li> </ul>	Baja

Región	Consideraciones	Prioridad
Región de Magallanes y la Antártica Chilena	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existen diversos proyectos de inversión para sitios de disposición de residuos, pero todos demorados por distintas razones.</li> <li>RS a la espera de Resolución Sanitaria en Puerto Natales.</li> <li>Vertederos sufren incendios constantes que aumentan los gastos en la región.</li> </ul>	Media

Fuente: Elaboración propia.

- **Distribución espacial de la implementación de proyectos por medida**

La estimación del costo-abatimiento de las medidas depende del sistema de manejo de residuos y de la región donde se implementa. Por ello, fue necesario generar una distribución espacial de las previamente delimitadas. En este proceso se utilizó el grupo de análisis territoriales presentados en el inciso anterior, además de la generación de residuos orgánicos de cada región. Además, por medida, se utilizaron los siguientes principales supuestos y consideraciones:

- **Medida 1: 500.000 composteras instaladas en viviendas al 2030.**
  - Para estimar la cantidad de viviendas por región, se utilizó una tasa de ocupación de 3,1 habitantes por vivienda<sup>16</sup> y la cantidad de personas del CENSO del 2017.
  - Para repartir los equipos a nivel regional se utilizó una proporción según la cantidad de viviendas existentes por territorio. De esta forma, las regiones con más viviendas recibirán proporcionalmente más equipos que aquellas regiones con menos hogares.
  - Respecto a la distribución temporal, por simplicidad los equipos se repartieron de manera constante en el tiempo sumando a nivel nacional una cantidad cercana a 83.334 equipos por año desde el 2025 al 2030.
- **Medida 2: 5.000 composteras instaladas en establecimientos educacionales al 2030.**
  - Para la distribución por región se consideró la cantidad de establecimientos municipales y particular subvencionados por comuna vigentes al 2022 disponibles en la página de la Biblioteca del Congreso Nacional<sup>17</sup>.
  - De igual forma que la medida anterior, se calculó la cantidad de equipos por región proporcional a la cantidad de establecimientos educacionales en el territorio. Es decir, a más establecimiento educacionales en la región, más equipos se les asignó a repartir.
  - Respecto a la distribución temporal, por simplicidad se repartió la cantidad de equipos totales de manera constante por año, de forma que a nivel nacional por año se repartieran alrededor de 830 equipos en los establecimientos educacionales del país.
- **Medida 3: implementación de 37 plantas de compostaje al 2030 y de un total de 58 al 2040.**

<sup>16</sup>

[http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion\\_de\\_la\\_segunda\\_entrega\\_de\\_resultados\\_censo2017.pdf](http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion_de_la_segunda_entrega_de_resultados_censo2017.pdf)

<sup>17</sup> <https://www.bcn.cl/siit/estadisticasterritoriales/tema?id=52>

- La medida considera tres tamaños de plantas de compostaje (10 kton, 36 kton y 100 kton) que varían según ubicación geográfica. A su vez, se consideran dos formas de compostaje, el compostaje mediante pilas abiertas y volteo mecánico y el compostaje mediante aireación forzada y la utilización de membranas.
  - Las diferencias entre los tamaños o capacidad de residuos a tratar y la forma de compostaje dependen fuertemente de la cantidad de residuos disponible, en función de la proyección de residuos, y el tipo de clima presente en el territorio, en particular de la cantidad de precipitaciones.
  - No se incluye un análisis de la disponibilidad de terreno en la estimación de los costos de la medida.
  - Se asume que las regiones desarrollarán cada dos años un proyecto de compostaje y luego del 2030 las plantas se construyen de forma consecutiva, con algunas excepciones que se presentan más adelante.
- **Medida 4: 6 plantas de digestión anaeróbica de 50 kton de capacidad de tratamiento anual instaladas al año 2040, cada una tratando 100% de su capacidad con residuos industriales de alimentos.**
    - Se descartó aquellas regiones que al 2025 tienen una proyección de residuos industriales de alimentos menor al 10 kton. De esta forma, quedaron elegibles las regiones de O'Higgins, Bio Bio, Los Lagos y la Región Metropolitana.
    - Por simplicidad, la definición de la medida contempla que solo se traten residuos orgánicos industriales, sin embargo, en la práctica o implementación de esta medida se podrían considerar el tratamiento de residuos orgánicos de origen municipal. En una de las entrevistas, se comentó que la participación de residuos municipales en la digestión anaeróbica podía ser incluso de 25% y que dependerá de que en el diseño del proyecto se contemple dicha materia prima en el proceso y la limpieza de los residuos orgánicos municipales que se entreguen ya que cualquier agente o residuo no orgánico que se incluya puede afectar el equilibrio del proceso de digestión anaeróbica.
    - En este caso, como son residuos industriales, el punto de vista de evaluación de la medida fue desde una mirada privada.
  - **Medida 5: 100% de los rellenos sanitarios tradicionales existentes tienen sistema de captura de gas de relleno al 2035**
    - Se excluye de esta medida los rellenos sanitarios manuales, aunque estos correspondan a menos del 0,5% del total de residuos municipales que se disponen en sitios de disposición según el estudio de SUBDERE del 2018.
    - Se considera la sinergia con otras medidas. Por lo tanto, el volumen proyectado de residuos orgánicos que llega a sitios de disposición final se reduce en función del volumen tratado por otros sistemas de manejo de valorización.
    - Por otro lado, a diferencia de las medidas anteriores, la forma de abordar esta no fue por medio de la definición de una unidad mínima, sino que se consideró la cantidad de residuos que debieran ser dispuestos en rellenos sanitarios.

- Se consideran los residuos dispuestos desde el año 2000 en rellenos sanitarios anaeróbicos y semi aeróbicos, y su proyección al 2050.
  - Para determinar cuánto de los residuos proyectados serían dispuestos en rellenos sanitarios existentes y cuánto en nuevos, se tomó como base el estudio de SUBDERE del 2018 y la información sobre la vida útil (o el año de cierre proyectado) para estos sitios de disposición.
  - También se asumió que estos sitios cubrían el 100% de los residuos que fueron proyectados para relleno sanitario anaeróbico y relleno sanitario semi aeróbico, al 2025.
  - De esta forma, se cuantificó cómo variaba la cobertura de estos sitios de disposición por año considerando la vida útil antes identificada en base a la proporción de los residuos tratados.
  - Respecto a la implementación del sistema de captura se asume como fecha de inicio el 2028 debido a la duración de los procesos de tramitación.
  - También, se menciona que la disposición de residuos considera no solo los residuos orgánicos, sino que también la de papel y cartón, textiles, entre otros, tanto de origen municipal como industrial.
  - Los residuos que debido al cierre de sitios no podrían ser tratados por estos sitios de disposición se asumen que se tratarán en nuevos sitios, supuesto que es utilizado para la siguiente medida.
- **Medida 6: 100% de los nuevos rellenos sanitarios tiene sistema de captura o quema de gas de relleno al 2035**
    - Consideraciones y supuestos de la medida 5.
    - Se asume que los nuevos rellenos sanitarios comienzan su operación en el 2028 (siempre que existan residuos disponibles), y que su construcción contempla la incorporación de sistemas de captura de gas. Lo que va en línea de lo conversado con SUBDERE.
    - Para la estimación de costos, cuyo detalle se muestra en las siguientes subsecciones, se consideró solo la implementación del sistema de captura y no la construcción del relleno sanitario en sí.
    - A su vez, se asume que al 2035 se logra el 97% de cobertura de disposición en rellenos sanitarios por lo que se asume que desde el 2030 se comienzan a desviar los residuos que se irían a vertederos o basurales hasta alcanzar el 97% de cobertura.
- **Medida 7: Reciclaje del 70% de papel y cartón al 2033.**
    - Para esta medida se utilizan como porcentajes de valorización las metas propuestas a nivel domiciliario de reciclaje de papel y cartón, establecidas en el marco de la Ley REP.
    - Como la Ley REP ya está en marcha y la responsabilidad de lograr la valorización de este tipo de residuos es de los productores (empresas), la evaluación de esta medida estuvo más centrada en estimar su potencial de mitigación y poder

descontar estos residuos de la proyección de residuos que terminarían en sitios de disposición.

- De esta forma, el análisis económico de esta medida se realizó desde un punto de vista de los ahorros que significan para la municipalidad no tener que hacer recolección, transporte ni disposición de este tipo de residuos.
- Por último, la forma de evaluar esta medida no fue mediante la definición de una unidad mínima, sino de un total de residuos valorizados o desviados de sitios de disposición.

- **Medida 8: Reducir en un 50% el desperdicio de alimentos al 2030**

- Para estimar el desperdicio de alimentos, se considera que representa el 24% de los residuos orgánicos municipales dispuestos. Aunque el cálculo del EPA incluye el 24% del total de los residuos, se optó por una aproximación más conservadora al limitar este porcentaje a la fracción orgánica.
- Para efectos más precisos, se limita su alcance únicamente al desperdicio de alimentos, es decir, a la distribución, venta y consumo de alimentos, y no a la pérdida que incluye las etapas de producción que están más relacionadas a las empresas o industrias de alimentos.
- Para la definición de esta medida no se consideró unidades de proyectos a evaluar, si no que se consideró la cantidad de alimentos que serían recuperados.
- Para la implementación de esta medida se asume como fecha de inicio el año 2025 y que se extiende hasta el 2050 aumentando progresivamente la cantidad de alimentos desviados hasta alcanzar un 50% al 2030.

Los resultados de la distribución de proyectos o programas por medida se resumen en la siguiente tabla. Se observa que la Región Metropolitana tiene la mayor cantidad de proyectos y programas debido a su proporción de generación de residuos a nivel nacional, mientras que las regiones de Arica y Parinacota, Aysén y de Magallanes y la Antártica Chilena presentan una menor cantidad.

Cabe destacar que la tabla no incluye las medidas 5, 6, 7 y 8, ya que, a diferencia de las medidas anteriores enfocadas en la valorización de residuos orgánicos, las otras medidas se estimaron en función del total de residuos y no con una unidad mínima de evaluación. En el Anexo 3 se presentan otros supuestos y parámetros utilizados para la estimación de cada una de las medidas.

Tabla 3-23. Distribución regional de cada medida a evaluar

Medida	Instalación de 500.000 composteras instaladas en viviendas al 2030.	Instalación de 5.000 composteras instaladas en establecimientos educacionales al 2030.	Instalación de plantas de compostaje al 2040 para la valorización de residuos orgánicos municipales	Instalación de plantas de digestión anaeróbica al 2040 para el tratamiento de residuos orgánicos industriales
Unidad	Compostera	Composteras	Plantas de compostaje	Plantas
Tarapacá	9.408	90	2	0

Medida	Instalación de 500.000 composteras instaladas en viviendas al 2030.	Instalación de 5.000 composteras instaladas en establecimientos educacionales al 2030.	Instalación de plantas de compostaje al 2040 para la valorización de residuos orgánicos municipales	Instalación de plantas de digestión anaeróbica al 2040 para el tratamiento de residuos orgánicos industriales
Antofagasta	17.273	102	2	0
Atacama	8.148	29	1	0
Coquimbo	21.545	330	4	0
Valparaíso	51.666	528	7	0
Libertador General Bernardo O'Higgins	26.022	311	3	0
Maule	29.736	402	4	0
Bio-bío	44.298	474	5	0
La Araucanía	27.240	498	2	0
Los Lagos	23.567	426	4	3
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	2.940	53	2	0
Magallanes y Antártica Chilena	4.740	53	1	0
Metropolitana de Santiago	202.368	1248	15	3
Los Ríos	10.937	222	1	0
Arica y Parinacota	6.432	36	3	0
Ñuble	13.680	198	2	0
<b>Total</b>	<b>500.000</b>	<b>5.000</b>	<b>58</b>	<b>6</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4. Análisis distribución temporal de medidas

En una siguiente etapa se realizó una distribución temporal de implementación de las medidas considerando el cumplimiento de las metas de los instrumentos previamente revisados y la disponibilidad de los residuos generados. Esto para evitar que por región y año la cantidad de residuos orgánicos a tratar fuera mayor a la cantidad proyectada.

De manera general, la distribución de los proyectos en el tiempo consideró, para las medidas 1 y 2 de composteras, una distribución lineal, es decir, se repartieron la cantidad de equipos comprometidos de manera constante en el tiempo, en este caso, 5 años. Para el caso de las medidas de compostaje a gran escala y la digestión anaeróbica se consideró la ambición de la ENRO para el 2030 y el 2040, 30% y 66%, respectivamente, de manera independiente entre residuos orgánicos municipales e industriales. Para estas medidas, un aspecto importante fue calcular cuántos proyectos eran necesarios para cumplir el porcentaje de valorización definido.

En la siguiente tabla se muestra la distribución temporal de implementación por medida. Al igual que en la distribución espacial, las medidas 5,6, 7 y 8 no se distribuyen temporalmente dado que no fueron estimadas con una unidad mínima de evaluación.

Tabla 3-24. Distribución temporal de cada medida a evaluar

N°	Medida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
1	500.000 composteras instaladas en viviendas al 2030.  Unidad de medida: compostera.	83.334	83.334	83.334	83.334	83.334	83.330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5.000 composteras instaladas en establecimientos educacionales al 2030.  Unidad de medida: compostera	830	830	830	830	830	850	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

N°	Medida	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
3	58 centros de compostaje de distintas capacidades	7	6	7	5	7	5	3	3	3	3	2	2	1	2		2
	Unidad de medida: centros de compostaje.																
	Centros de compostaje de 10 kton	1	1	1	1	1			1								
	Centros de compostaje de 36 kton	6	4	6	3	6	4	2	1	2	2						
	Centros de compostaje de 100 kton		1		1		1	1	1	1	1	2	2		2		2
4	6 plantas de digestión anaeróbica de 36,5 kton de capacidad de tratamiento anual instaladas al año 2040		1	1	1	1	1		1	1	1	1					
	Unidad de medida: plantas de digestión anaeróbica.																

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, la cantidad de residuos valorizados y reducidos en el tiempo se muestra en la siguiente figura.

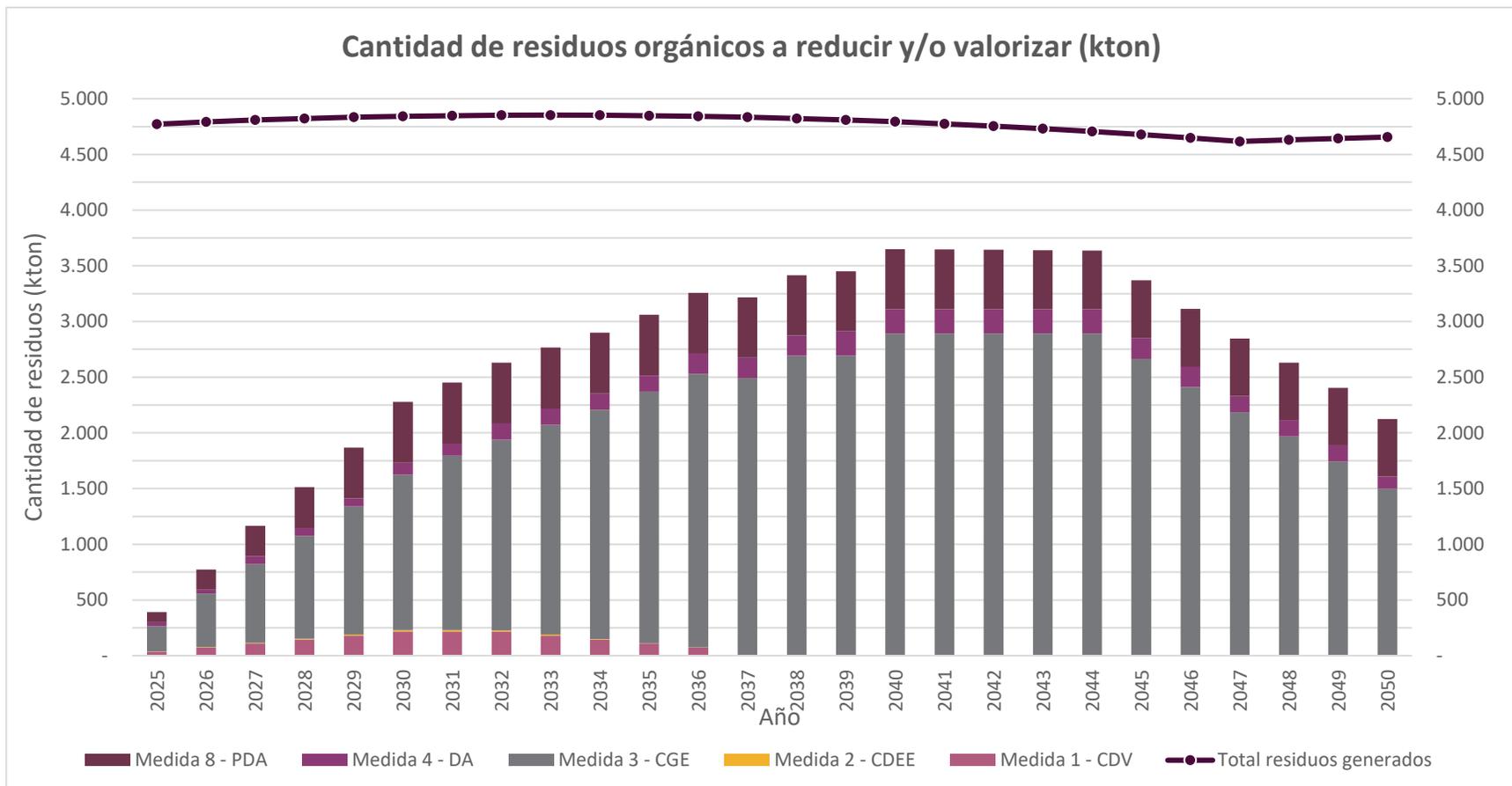


Figura 3-2: Cantidad de residuos tratados por medida.

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.5. Estimación de costo abatimiento

Para el cálculo del costo de abatimiento de las medidas fue necesario establecer supuestos y definir parámetros asociados a las condiciones climáticas de los territorios. Estas afectan de forma directa la estimación del potencial de mitigación de emisiones y de forma indirecta a los costos de inversión y operación de estas. El detalle de los parámetros y supuestos utilizados se presentan en el Anexo 3.

#### 3.3.5.1. Identificación de zonas climáticas en Chile

Las zonas climáticas utilizadas fue la misma clasificación utilizada en el INGEI de Chile al 2020, esta se presenta a continuación.

Tabla 3-25 Resumen de zonas climáticas por Región.

Zona climática <sup>18</sup>	Regiones
Boreal y templado, seco.	Arica y Parinacota hasta la del Libertador Bernardo O’Higgins.
Boreal y templadas, húmedo.	Del Maule a la Región de Magallanes y la Antártica Chilena.

Fuente: Elaboración propia

#### 3.3.5.2. Selección del sistema de manejo de compostaje

Las variables climáticas no solo afectan el costo abatimiento de los proyectos, también la elección del sistema de manejo prioritario, en particular para el compostaje de gran escala. En los territorios donde la lluvia es escasa, los requerimientos de la infraestructura (p.ej. losa o galpón) pueden ser menores ya que la acumulación de agua en las pilas de compostaje y/o generación de lixiviados del proceso suele ser más baja, requiriendo menor inversión. Sin embargo, cuando la cantidad de lluvia es elevada o intensa, la inversión asociada al suelo e infraestructura aumenta.

En el primer caso, el compostaje mediante pilas abiertas se considera la mejor opción, mientras que en la situación con más precipitaciones se recomienda el compostaje mediante aireación forzada. Este último entrega mayor control de las condiciones climáticas del proceso.

Considerando la variable de precipitación media anual de cada región (Anexo 3), se seleccionó la siguiente distribución de sistemas de manejo de residuos. Cabe destacar que el listado presentado es referencial y responde a una escala de análisis regional. Siempre es recomendable analizar la realidad de cada territorio a la hora de seleccionar el mejor sistema de manejo para un proyecto en particular.

Tabla 3-26 Sistema de manejo de residuos de compostaje prioritaria por región

Región	Sistema de manejo de compostaje prioritaria
Región de Arica y Parinacota	Pilas abiertas
Región de Tarapacá	Pilas abiertas
Región de Antofagasta	Pilas abiertas
Región de Atacama	Pilas abiertas
Región de Coquimbo	Pilas abiertas
Región de Valparaíso	Pilas abiertas

<sup>18</sup> Combinación de características según la Methodological Tool: “Emissions from solid waste disposal sites” (Tool 04) del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Disponible en <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-04-v8.0.pdf>

Región	Sistema de manejo de compostaje prioritaria
Región Metropolitana	Pilas abiertas
Región de O'Higgins	Pilas abiertas
Región del Maule	Pilas abiertas
Región del Ñuble	Pilas abiertas
Región del Biobío	Pilas abiertas
Región de la Araucanía	Aireación forzada
Región de Los Ríos	Aireación forzada
Región de Los Lagos	Aireación forzada
Región de Aysén	Aireación forzada
Región de Magallanes y la Antártica Chilena	Aireación forzada

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en consideración los tamaños de los proyectos, las zonas climáticas de cada región y el sistema de manejo prioritario de compostaje a gran escala, se distinguen las siguientes combinaciones entre zonas climáticas y sistemas de manejo.

Tabla 3-27 Resumen de zonas climáticas por región.

Zona climática	Capacidad de tratamiento (kton)	Sistema de manejo
Boreal y templado, y seco	10	Pilas abiertas
Boreal y templado, y seco	36	Pilas abiertas
Boreal y templado, y seco	100	Pilas abiertas
Boreal y templado, y húmedo	10	Aireación forzada
Boreal y templado, y húmedo	36	Aireación forzada
Boreal y templado, y húmedo	36	Pilas abiertas

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5.3. Costo anual equivalente por medida

Para estimar el costo anual equivalente (CAE) de cada una de las medidas se realizaron supuestos generales y particulares por cada sistema de manejo.

#### Parámetros generales:

- **Tasa de descuento:** tasa de descuento social de 2023 definida en 6% según el Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2022. Con excepción de la medida de digestión anaeróbica que trataría residuos orgánicos industriales y la evaluación se realiza desde el punto de vista privado con una tasa de descuento del 12%.
- **Vida útil u horizonte de evaluación:** 8 años para las medidas de compostaje en viviendas y establecimientos educacionales, y 20 años para compostaje a gran escala, digestión anaeróbica, captura de gas de relleno, y medidas de reciclaje de papel y cartón, y desperdicio de alimentos.

#### Parámetros específicos:

- **Costos y potencial de mitigación:** se calcularon valores ponderados en función de la cantidad de residuos dispuestas por sitio y por región (zona climática) según la

información desagregada levantada por SUBDERE. Este método permitió obtener costos de recolección, transporte y disposición diferenciados por zona climática.

En la siguiente tabla se presentan los CAE de cada medida. El detalle de los supuestos y los parámetros utilizados para el cálculo del costo y unidades mínimas definidas (aplica para algunas medidas) se desglosan en el Anexo 3.

Tabla 3-28 Costos por medida evaluada.

Medida	VAN(CAPEX) + VAN (OPEX) (MM USD)	CAE (MM USD)
Medida 1 – Compostaje domiciliario	\$-3,76	\$0,61
Medida 2 – Compostaje en establecimientos educativos	\$-0,23	\$0,04
Medida 3 – Compostaje a gran escala	\$-2.187	\$200,97
Medida 4 – Digestión anaeróbica	\$-153,72	\$20,76
Medida 5 – Captura de gas en rellenos existentes	\$-23,32	\$2,03
Medida 6 – Captura de gas en rellenos nuevos	\$-8,93	\$0,78
Medida 7 – Reciclaje de papel y cartón	\$534,95	\$-46,64
Medida 8 – Reducción del Desperdicio de Alimentos	\$-999,14	\$87,11

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.3.5.4. Estimación del potencial de mitigación

Para la estimación del potencial de mitigación de cada medida se utilizaron las siguientes metodologías del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL):

- AMS-III.F “*Avoidance of methane emissions through composting*”<sup>19</sup>: Se aplicó en las medidas 1, 2 y 3 relacionadas al compostaje.
- AMS-III.AO “*Methane recovery through controlled anaerobic digestion*”<sup>20</sup>: Se aplicó en la medida 2 de digestión anaeróbica.
- ACM0001 “*Flaring or use of landfill gas*”<sup>21</sup> : Se aplicó para las medidas 5 y 6 que implican la captura del gas generado en los rellenos sanitarios.
- Como complemento, para estimar la reducción de emisiones producto del no transporte de los residuos orgánicos compostados en viviendas y establecimientos educativos se utilizó un factor de emisión por kilómetro y kilogramo transportado<sup>22</sup>, donde la distancia a considerar es aquella desde la ciudad al sitio de disposición de la línea base considerada tanto la ida como la vuelta.

<sup>19</sup> <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/NZ83KB7YHBIA7HL2U1PCNAOCHPUQYX>

<sup>20</sup> <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/F5U41CTG7ENWK9RSS15BV1LUPDG76W>

<sup>21</sup> <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/JPYB4DYQUXQPZLBDVPHA87479EMY9M>

<sup>22</sup> El factor de emisión utilizado proviene del “Greenhouse gas reporting: conversion factors 2022” del Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) del Reino Unido. Disponible en <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022>

Para estimar el potencial de mitigación se tomaron diversos supuestos sobre la cantidad de residuos a tratar por año, características de los sitios de disposición y el consumo de recursos energéticos proyectado. En algunos casos estos valores fueron ponderados para representar adecuadamente la zona climática de interés (Anexo 3).

### **Potencial de mitigación versus categorías INGEI afectadas**

La estimación del potencial de mitigación de emisiones de GEI de las medidas evaluadas no solo afecta la cuantificación de las emisiones de las categorías INGEI del MINSAL, sino que también a categorías de otros Ministerios (en menor medida). Esto porque los proyectos de valorización generarán emisiones que no solo están relacionadas al tratamiento biológico de los residuos, sino que también a la operación de los proyectos que hacen posible las medidas (p.ej. una planta de compostaje considera uso de electricidad y combustibles para su funcionamiento). Las metodologías de estimación utilizadas por el equipo asesor incorporan tales consideraciones.

En la siguiente tabla se muestra el potencial de mitigación de cada una de las medidas evaluadas en el horizonte temporal según la vida útil del tipo de tratamiento. **Como se aprecia, la suma del potencial de mitigación de las 8 medidas es de 82,72 Mt CO<sub>2</sub>eq. Esto equivale a un 82,72% del esfuerzo de mitigación esperado para el conjunto de medidas del sector residuos según los valores que se encuentra actualizando el MMA (Sección 3), pero más de tres veces el esfuerzo de mitigación esperado del Ministerio de Salud según los presupuestos sectoriales actualmente establecidos en la ECLP.**<sup>23</sup>

Tabla 3-29 Costos por medida evaluada.

Medida	Potencial de mitigación (Mt CO <sub>2</sub> eq)
Medida 1 – Compostaje domiciliario	0,17
Medida 2 – Compostaje en establecimientos educacionales	0,001
Medida 3 – Compostaje a gran escala	8,06
Medida 4 – Digestión anaeróbica	1,27
Medida 5 – Captura de gas en rellenos existentes	23,41
Medida 6 – Captura de gas en rellenos nuevos	25,26
Medida 7 – Reciclaje de papel y cartón	17,94
Medida 8 – Reducción del desperdicio de alimentos	6,61
<b>Total</b>	<b>82,72</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados difieren de los esfuerzos de mitigación pre-evaluados para el periodo 2020-2050. Como se muestra en la siguiente tabla comparativa, las diferencias más significativas se observan

<sup>23</sup>Recordar que, de acuerdo a la información destacada en el box previo, el potencial de mitigación de las medidas no solo afectará a las categorías del INGEI del MINSAL, sino que también a la de otros Ministerios, en menor medida.

en la estimación del potencial de mitigación de la medida de **compostaje a gran escala y de la medida de captura de gas de relleno**.

Se advierte que las principales diferencias pueden deberse a los siguientes supuestos de cálculo:

- **Compostaje de gran escala:** La estimación actual consideró la particularidad climática y tecnológica de la región en la que se inserta cada proyecto, según la distribución regional presentada en secciones previas.
- **Captura de gas de relleno:** La medida se evaluó considerando que el potencial de mitigación de los rellenos disminuirá en el tiempo en la medida en que reciben menos volumen de residuos orgánicos por la instalación de proyectos de valorización (compostaje y digestión anaeróbica) según la distribución temporal presentada en las secciones previas.

A su vez, para todas las medidas se consideraron las emisiones asociadas al escenario con proyecto producto de fuentes de emisión que no corresponden al sector de residuos, tales como el consumo de electricidad o de combustible de los proyectos.

Tabla 3-30 Análisis entre el potencial de mitigación estimado y el pre-evaluados.

Medida	Potencial de mitigación evaluado en este proyecto 2020 - 2050 (Mt CO <sub>2</sub> eq)	Potencial de mitigación pre-evaluados por la contraparte 2020 - 2050 (Mt CO <sub>2</sub> eq)
Medida 1 – Compostaje domiciliario	0,17	3,89
Medida 2 – Compostaje en establecimientos educativos	0,001	No se estima
Medida 3 – Compostaje a gran escala	8,06	16,47
Medida 4 – Digestión anaeróbica	1,27	No se estima
Medida 5 – Captura de gas en rellenos sanitarios antiguos	23,41	56,07
Medida 6 – Captura de gas en relleno sanitario nuevo	25,26	
Medida 7 – Reciclaje de papel y cartón	17,94	21,68
Medida 8 – Reducción del desperdicio de alimentos	6,61	No se estima
<b>Total</b>	<b>82,72</b>	<b>98,11<sup>24</sup></b>

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la distribución del potencial de mitigación de cada una de las medidas en el tiempo. Es importante mencionar que la razón de las caídas en los potenciales de mitigación de algunas se debe a que la vida útil de los equipos o instalaciones son de 8 a 20 años, por lo que en caso de comenzar la operación de un proyecto de compostaje en el 2025, su potencial de mitigación se va a visualizar hasta el 2044 solamente.

<sup>24</sup> Este valor está en proceso de ajuste por parte del MMA.

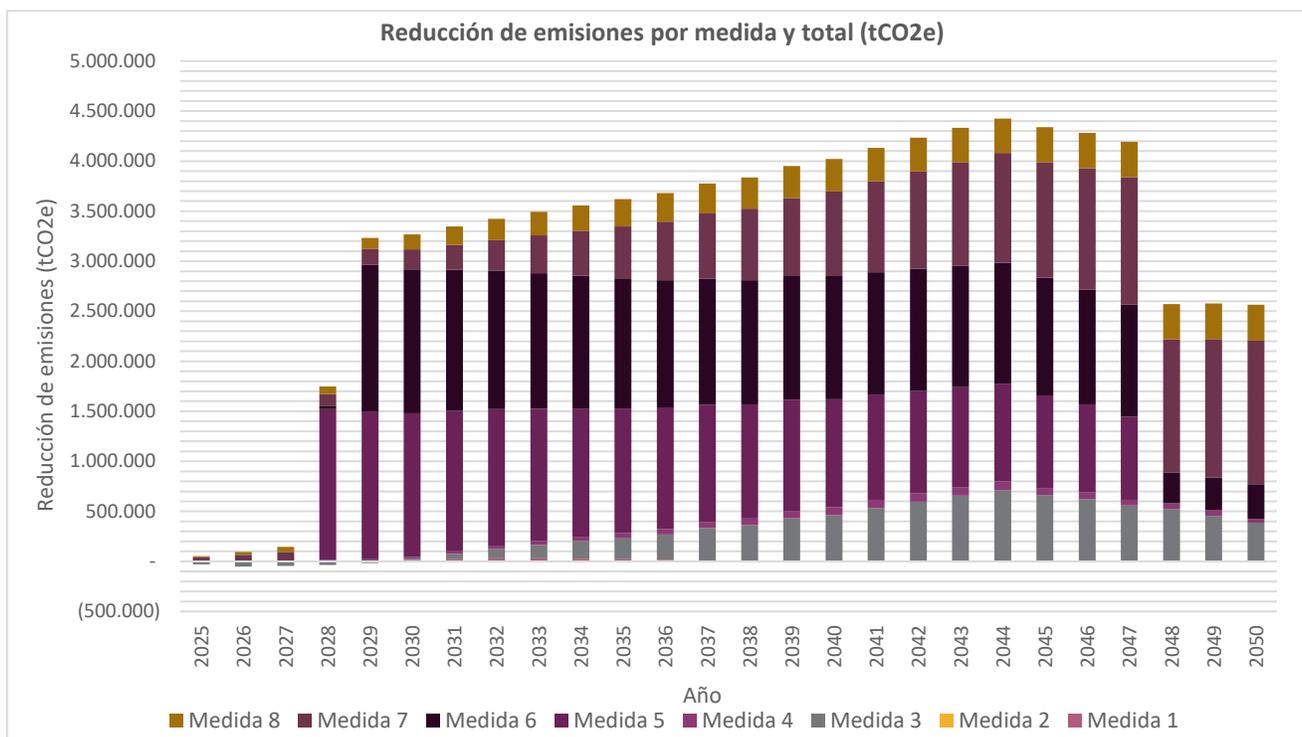


Figura 3-3: Potencial de mitigación por medida en el tiempo.  
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5.5. Análisis de emisiones por uso de electricidad y combustible

Como fue explicado en la sección previa, la estimación del potencial de mitigación de emisiones de GEI de las medidas evaluadas no solo afecta la cuantificación de las emisiones de las categorías INGEI del MINSAL, sino que también a categorías de otros Ministerios (en menor medida). Esto porque el potencial de mitigación se estima como la diferencia entre las emisiones del escenario base y las emisiones de la situación con proyecto. En el caso de algunas medidas, los nuevos proyectos (p.ej plantas de compostaje o sistemas de captura de gas) requieren del uso de combustible y electricidad para operar maquinarias e instalaciones, y esto genera gases de efecto invernadero. Al contabilizarlas, las emisiones del escenario con proyecto aumentan (levemente) y con ello el potencial de mitigación disminuye.

La siguiente tabla presenta el porcentaje de las emisiones de las situaciones con proyecto que son generadas producto del uso de combustible y electricidad. En ella se distinguen las proporciones según la zona climática en que se instala el proyecto, capacidad de tratamiento y tecnología.

Tabla 3-31 Proporción de las emisiones del escenario con proyecto generadas por el uso de combustibles y electricidad<sup>25, 26, 27</sup>

Medida	Zona climática y tecnología	Proporción promedio de las emisiones por uso de combustible y electricidad en el escenario con proyecto
<b>M3: Compostaje a gran escala, capacidad 10, 36 y 100 kton/año</b>	-Boreal y templado, y seco -Pila abierta	17%
<b>M3: Compostaje a gran escala, capacidad 10 y 36 kton/año</b>	-Boreal y templado, y húmedo -Aireación forzada	7%
<b>M3: Compostaje a gran escala, capacidad 36 kton/año</b>	-Boreal y templado, y húmedo - Pila abierta	6%
<b>M5: Sistemas de captura de gas en rellenos preexistentes</b>	-Boreal y templado, y seco - Rellenos Sanitarios Semiaeróbicos	0,6%
<b>M5: Sistemas de captura de gas en rellenos preexistentes</b>	-Boreal y templado, y húmedo - Rellenos Sanitarios Semiaeróbicos	0,4%
<b>M6: Sistemas de captura de gas en nuevos rellenos</b>	-Boreal y templado, y seco - Rellenos Sanitarios Anaeróbicos	0,1%
<b>M6: Sistemas de captura de gas en nuevos rellenos</b>	-Boreal y templado, y húmedo - Rellenos Sanitarios Anaeróbicos	0,1%
<b>M6: Sistemas de captura de gas en nuevos rellenos</b>	-Boreal y templado, y seco - Rellenos Sanitarios Semiaeróbicos	1,9%
<b>M6: Sistemas de captura de gas en nuevos rellenos</b>	-Boreal y templado, y húmedo - Rellenos Sanitarios Semiaeróbicos	1,9%
<b>M8: Reducción del desperdicio de alimentos</b>	-Boreal y templado, y seco	1,52%
<b>M8: Reducción del desperdicio de alimentos</b>	-Boreal y templado, y húmedo	0,8%

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla previa, en el caso de las medidas 5, 6 y 8, el porcentaje de las emisiones totales de un proyecto atribuibles a su operación (consumo de electricidad y combustible) son menores al 2%. Por ende, se puede concluir que su efecto en el potencial de mitigación es despreciable.

<sup>25</sup> Las medidas 1 y 2 no se incluyen porque se asume una reducción asociada a la no recolección del transporte de residuos hacia y desde los sitios de disposición final.

<sup>26</sup> La medida 4 no se incluye porque se asume que la energía o combustible necesarios para el funcionamiento es producido por el mismo biogás capturado

<sup>27</sup> La medida 7 no se incluye porque se considera solo el proceso de desvío de residuos de un sitio de disposición. Se asume que el transporte ocurre igualmente, pero hacia la planta de valorización.

En el caso de la medida de compostaje a gran escala, el porcentaje de las emisiones de los proyectos que se atribuye a su operación varía entre un 6 y 17% dependiendo de la zona climática y tecnología. Esto quiere decir que el efecto que verán las categorías INGEI del MINSAL serán mayores que el efecto mostrado por el potencial de mitigación de la medida. La diferencia debiera verse observada en un aumento en las categorías de otros ministerios (principalmente Ministerio de Energía).

#### 3.3.5.6. Curvas MAC por medida y como conjunto

En este inciso se presentan las curvas MAC por medidas considerando las diferentes zonas climáticas. Luego, se presenta el conjunto de medidas al 2050.

En el análisis de cada medida y la comparación de su costo de abatimiento entre zonas climáticas se utilizan diferentes abreviaciones, a continuación, se describen las más relevantes:

- MX: Medida X, pudiendo ser la medida del 1 al 8.
- BD: boreal y templado, y seco.
- BW: boreal y templado, y húmedo.
- PA: aplica para las medidas de compostaje a gran escala e indica el método de tratamiento utilizado, en este caso es pilas abiertas.
- FA: al igual que la anterior, aplica para las medidas de compostaje a gran escala, y corresponde a aireación forzada.

En cuanto al análisis, para cada curva MAC construida, el eje vertical muestra el Costo Marginal de Corrección (MAC) de una tonelada de CO<sub>2</sub> y, el eje horizontal corresponde a la capacidad de reducción de emisiones para cada uno de los casos analizados.

Por un lado, si se analiza el eje vertical los casos ubicados debajo del eje horizontal tienen un MAC negativo, es decir, son costos efectivos al reducir costos o generar ingresos adicionales. Por el contrario, los proyectos con MAC positivo representan opciones que necesitan de inversión neta de capital.

Por otro lado, si se analiza el eje horizontal se tiene el total de emisiones corregidas, por lo que mientras más ancha sea la columna del caso de estudio, mayor será el potencial de reducción.

Luego, se ordenan los casos para crear una curva MAC creciente, lo que permite concluir que los casos que se encuentren a la izquierda de la gráfica son prioritarios y los más convenientes al prevenir una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente a menor costo.

- **Medida 1 – Compostaje domiciliario en viviendas**

En la figura siguiente se representan los costos de abatimiento y el potencial de mitigación para un sistema de compostaje domiciliario en las distintas zonas climáticas identificadas en el país. En este contexto, la opción con menor costo abatimiento y con un mayor potencial de mitigación es la ubicada en una zona climática boreal y templada, y húmeda. Es importante destacar que existe una marcada diferencia con la medida ubicada en una zona climática boreal y templada, pero seca. Esta

diferencia se debe principalmente a las condiciones del lugar de disposición final, lo que se traduce en un menor potencial de mitigación y, por lo tanto, en un mayor costo de abatimiento.

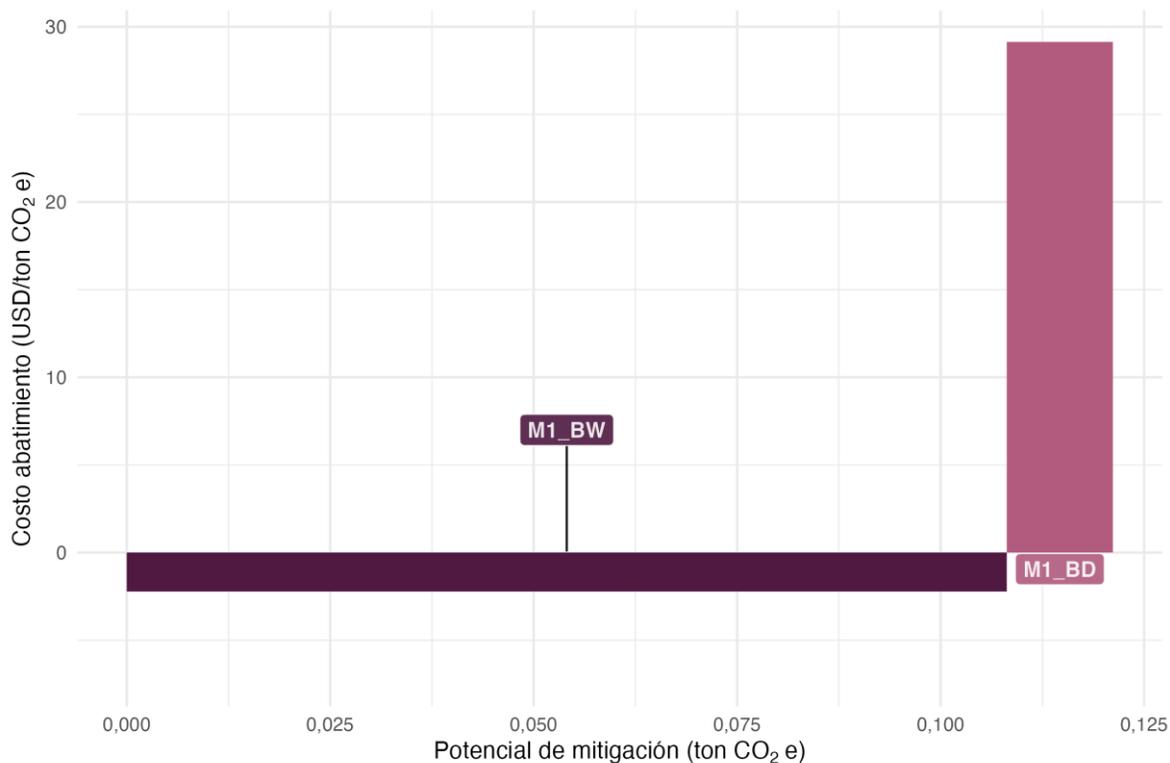


Figura 3-4: Curva MAC para la Medida 1 de compostaje domiciliario en viviendas.  
Fuente: Elaboración propia.

- **Medida 2 – Compostaje en establecimientos educacionales**

En la figura siguiente se representan los costos de abatimiento y el potencial de mitigación para un sistema de compostaje domiciliario en establecimientos educacionales en las distintas zonas climáticas identificadas. Al igual que en la medida anterior, la opción con menor costo abatimiento y con un mayor potencial de mitigación es la ubicada en una zona climática boreal y templada, y húmeda. Nuevamente, se observa una marcada diferencia con respecto a la medida ubicada en una zona climática boreal y templada, y seca, la cual se explica de la misma forma que para la Medida 1.

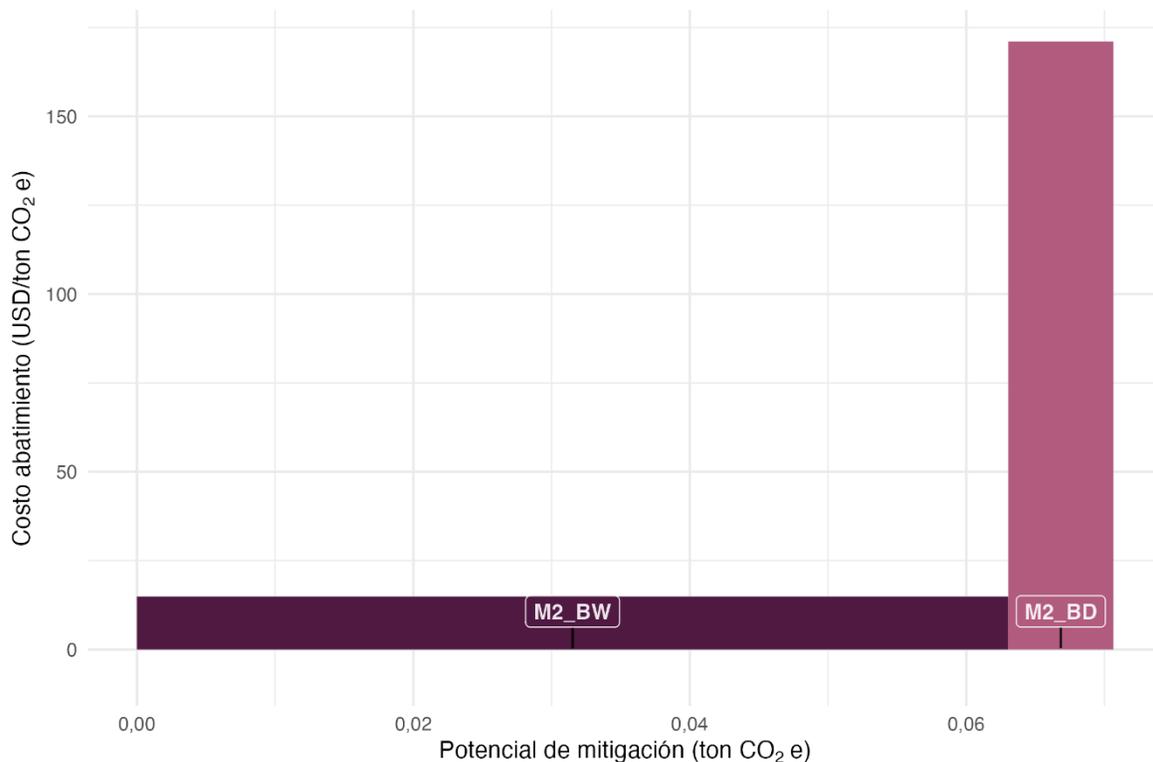


Figura 3-5: Curva MAC para la Medida 2 de compostaje en establecimientos educativos.

Fuente: Elaboración propia.

- **Medida 3 – Compostaje a gran escala**

En este caso, además de las siglas de las zonas climáticas (BD y BW), se consideró el sistema de manejo del compostaje utilizado, utilizando "AF" para indicar aireación forzada y "PA" para referirse a pilas abiertas. Además, se ha incorporado la capacidad de las distintas plantas (10 kton, 36 kton y 100 kton).

En el contexto de esta medida, las plantas de compostaje que presentan un costo de abatimiento más favorable son aquellas ubicadas en regiones con zonas climáticas definidas como boreales y templadas, y húmedas, y que utilizan el compostaje mediante aireación forzada. Por otro lado, las plantas que se encuentran en zonas climáticas boreales y templadas, pero secas, tienen un potencial de mitigación menor.

Como se observa en la figura, para ambas zonas climáticas, las plantas que emplean la misma tecnología de tratamiento muestran costos de abatimiento similares. Esto se debe principalmente a la naturaleza lineal de los costos asociados con esta medida, lo que significa que al aumentar la capacidad de la planta, el factor que se modifica en mayor medida es el potencial de mitigación.

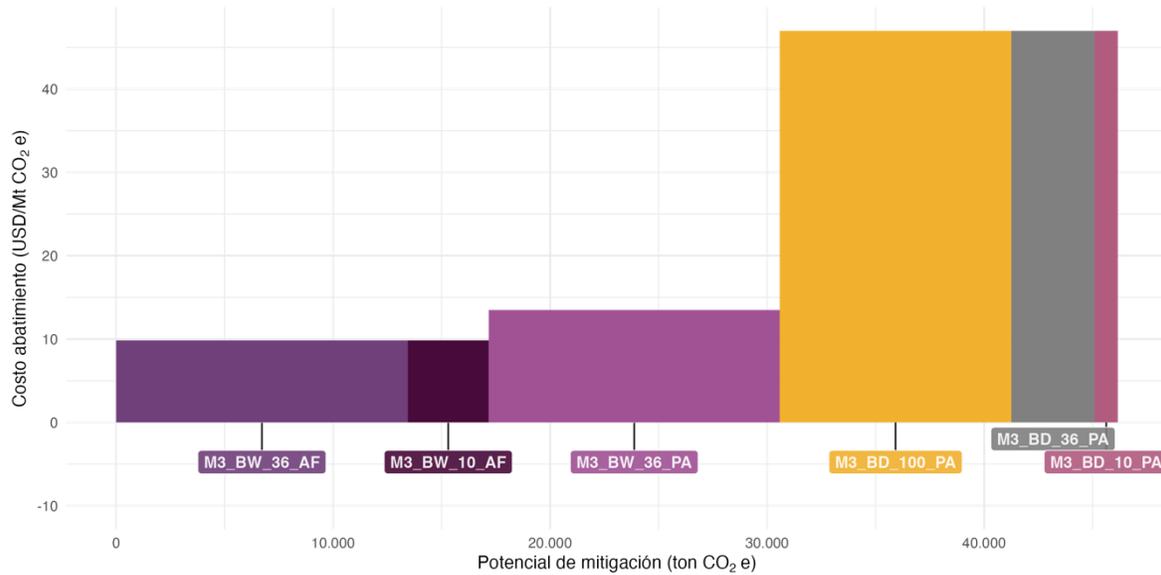


Figura 3-6: Curva MAC para la Medida 3 de compostaje a gran escala.  
Fuente: Elaboración propia.

- **Medida 4 – Digestión anaeróbica**

Para esta medida, la planta de digestión anaeróbica con mejores costos de abatimiento es la que se encuentra en la región con zona climática boreal, templada y húmeda. Mientras que con menor potencial se encuentran las plantas que se ubicarían en una zona boreal y templada, y seca.

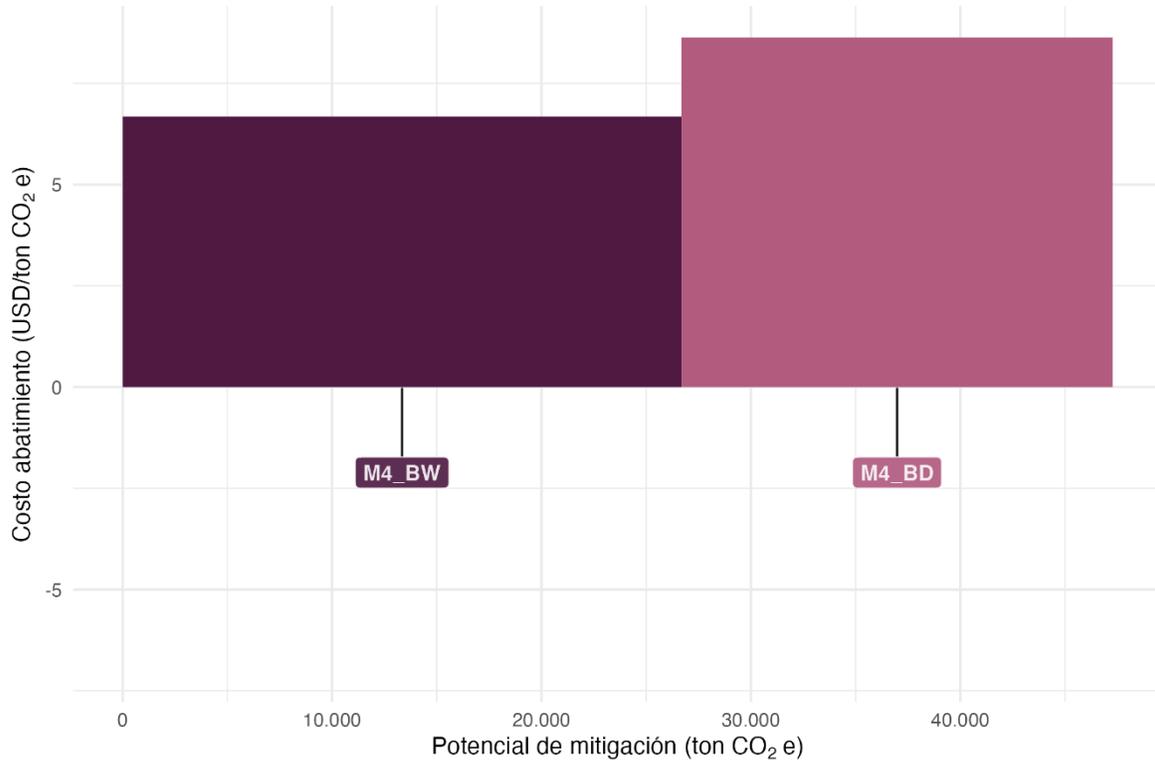


Figura 3-7: Curva MAC para la Medida 4 de digestión anaeróbica.  
Fuente: Elaboración propia.

- **Conjunto de medidas**

Por último, se presenta la siguiente figura con el conjunto de medidas evaluadas. Para este ejercicio se consideró la cantidad de programas y de proyectos correspondiente a cada medida con su respectiva zona climática, y sistema de manejo de residuos si correspondía.

Se puede observar que las medidas con mejores costos de abatimiento son las de reciclaje de papel y cartón y la de captura de gas en los rellenos sanitarios nuevos (M7\_RPC y M6\_LFG N, respectivamente), seguido de las medidas de captura de gas en relleno sanitarios existentes y la medida de compostaje domiciliario en viviendas (M5\_LFG V y M1\_CD, respectivamente). En últimos lugares se presentan las medidas de compostaje a gran escala y compostaje en establecimientos educacionales.

Sobre el potencial de mitigación logrado por el conjunto de medidas este corresponde a 82,67 Mt CO<sub>2</sub>eq al año 2050, el cual está por debajo (casi 20%) del esfuerzo de mitigación esperado, como fue comentado en inciso previo.

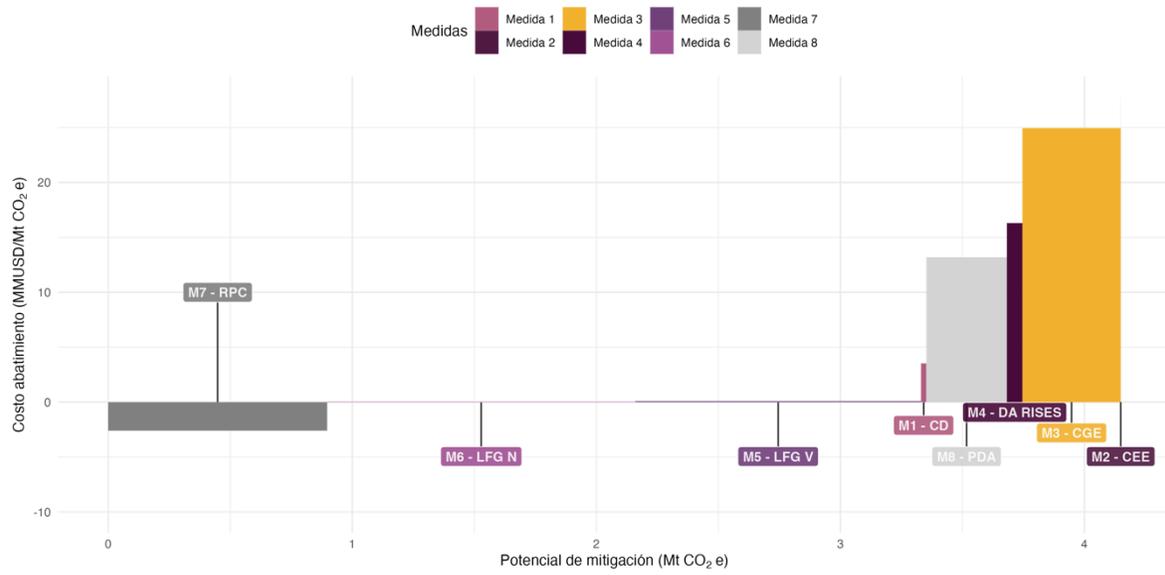


Figura 3-8: Curva MAC para el conjunto de medidas.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. PRODUCTO D: Fichas de caracterización y descripción de medidas seleccionadas.

A partir de la evaluación previa de sistemas de manejo, el equipo consultor diseñó un conjunto de medidas que fueron evaluadas para estimar su costo-abatimiento. Este proceso se dividió en diversas etapas.

En primera instancia, se definió el alcance de cada medida a través del análisis de metas de implementación, discusiones con actores clave y diálogos con la contraparte técnica en reuniones de seguimiento. Luego, dado que el costo-abatimiento de los proyectos varía dependiendo de condiciones climáticas y urgencias regionales en la gestión de residuos, se realizó una distribución regional. Asimismo, se examinó la temporalidad proyectando un flujo anual de implementación para medir el efecto conjunto de las medidas. Finalmente, se estimó el potencial de mitigación de cada una y su costo. Los resultados se presentan en el **Producto C “Evaluación de costos y curva MAC”**.

En total, se diseñaron 8 medidas. De ellas, tres se basan en el compostaje, una de digestión anaeróbica, dos con la captura de gas de relleno, una de reciclaje de papel y cartón, y una el desperdicio alimentos. A continuación, se presentan fichas que resumen las características de cada. Estas abarcan detalles sobre entidades involucradas, potencial de mitigación, aspectos económicos, riesgos, co-beneficios, entre otros. Es necesario mencionar que la información cuantitativa referente al potencial de mitigación y de costos proviene del análisis realizado en el Producto C de curvas MAC (resultado anterior). El detalle de la información utilizada para estimar los valores de las fichas se presenta en el Anexo 3.

Las fichas no incluyen información sobre características que se espera que sean diseñadas en próximos pasos de la consultoría, entre las que se encuentran:

- Velocidad de implementación de la medida según año (Informe 3)
- Acciones requeridas para la implementación de la medida (Informe 2)
- Instrumentos (Informe 2)
- Periodo de implementación (Informe 3)
- Alcance territorial (Informe 3)
- Indicadores para evaluar su cumplimiento (Informe 3)

Cabe destacar que cada ficha destaca las **categorías INGEI** que se verían afectadas por su implementación (Subelemento *Subsector afectado*). En cada caso, se especifica si se espera que las emisiones de la categoría aumenten (+) o disminuyan (-). Para su identificación se utilizan las cadenas causales presentadas en el **Producto G “Cadenas causales por medida”**.

En la misma línea, se destaca que las metodologías mediante las cuales se estima el potencial de mitigación de las medidas no solo toma en consideración la disminución de las emisiones asociadas a la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y el aumento de las emisiones asociadas al tratamiento biológico de los residuos en los nuevos proyectos (categorías INGEI Minsal) también considera las emisiones asociadas a la operación de los nuevos proyectos como las de combustibles y electricidad (que corresponderían a categorías INGEI de otros Ministerios). Estas últimas representan una proporción menor de las emisiones asociadas al cálculo del potencial de mitigación.

### 3.4.1. Compostaje

Tabla 3-3232 Ficha medida de compostaje domiciliario en viviendas

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Identificación y Descripción</b> <sup>28</sup>	Nombre de la medida	Medida 1 (M1): Instalación y uso de composteras en viviendas
	Objetivo de valorización	Tratar 216 kton de residuos orgánicos mediante compostaje domiciliario en el 2030, evitando que lleguen a rellenos sanitarios.
	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos
	Equivalencia del objetivo en proyectos	Instalación y uso de 500.000 de composteras en viviendas al 2030
	Descripción general	Esta medida implica tratar residuos orgánicos generados en los hogares en composteras individuales instaladas en cada vivienda. El propósito principal es que estos residuos pasen por un proceso de descomposición que los transforme en compost, al mismo tiempo que se previene su disposición en sitios de disposición final.
	Tipo de medida de mitigación	Es una medida que afecta el Nivel de Actividad
	Fecha inicio de implementación	2025
	Distribución regional referencial <sup>29</sup> (n° composteras)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Región Arica y Parinacota: 6.432</li> <li>• Región de Tarapacá: 9.408</li> <li>• Región de Antofagasta: 17.273</li> <li>• Región de Atacama: 8.148</li> <li>• Región de Coquimbo: 21.545</li> <li>• Región de Valparaíso: 51.666</li> <li>• Región Metropolitana: 202.368</li> <li>• Región de O'Higgins: 26.022</li> <li>• Región del Maule: 29.736</li> <li>• Región del Ñuble: 13.680</li> <li>• Región del Biobío: 44.298</li> <li>• Región de la Araucanía: 27.240</li> <li>• Región de los Ríos: 10.937</li> <li>• Región de Los Lagos: 23.567</li> <li>• Región de Aysén: 2.940</li> <li>• Región de Magallanes: 4.740</li> </ul>
Medidas de mitigación relacionadas	Asistencia técnica al uso eficiente de fertilizantes (Agricultura – NDC, 2020)	
<b>Metas de mitigación</b>	Sector(es) afectado(s)	Residuos
	Subsector(es) afectado(s)	Categorías INGEI imputadas al MINSAL afectadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición de residuos sólidos (5.A) (-)</li> </ul>

<sup>28</sup> Se unen ambas secciones para facilitar la lectura de la información. Esta medida se repite en todas las fichas.

<sup>29</sup> Se agrega a modo referencial. La metodología de distribución se presenta en el Producto C para todas las medidas. La distribución fue utilizada para la estimación del potencial.

Elemento	Subelemento	Contenido
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B) (+)</li> </ul> <p>Otras categorías INGEI afectadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte (1.A.3) (-)</li> <li>• Suelos agrícolas (3.D)<sup>30</sup> (-)</li> <li>• Aplicación de urea (3.H) (-)<sup>31</sup></li> </ul>
	Fuente emisora afectada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno sanitario, basurales y vertederos</li> <li>• Proyectos de compostaje<sup>32</sup></li> </ul>
	Gases y contaminantes climáticos afectados	$CH_4$ , $CO_2$ , $N_2O$ , $NO_x$ y $CO$
<b>Instituciones</b>	Autoridad Responsable	• Ministerio de Salud
	Contraparte Técnica	• Ministerio del Medio Ambiente
	Actores involucrados	Por definir en función de los instrumentos de política pública necesarios (Informe de Avance N°2)
<b>Potencial de mitigación</b>	Potencial de mitigación de la medida (MtCO <sub>2</sub> eq)	Total 2020-2050: 0,17
	Sinergias	La medida afecta el volumen y composición de los residuos afectados por las medidas de captura de gas de relleno.
<b>Información financiera</b>	Costo medio de abatimiento [MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq]	3,53 MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq
	VAN [MM USD]	-3,76 MM USD
<b>Riesgos y co-beneficios</b>	Riesgos a la operación y eficacia de la medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Familias no operan las composteras, o lo hacen deficientemente.</li> <li>• Diseño y operación del equipo no responde a las condiciones climáticas de uso.</li> <li>• Falta de acompañamiento y seguimiento a familias.</li> </ul>
	Co-beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilización y regeneración de tejido social.</li> <li>• Facilitar el reciclaje de inorgánicos.</li> <li>• Recirculación de nutrientes.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>30</sup> Disminución de emisiones por menor uso de fertilizantes inorgánicos.

<sup>31</sup> En la medida en que se utilice compost como mejorador de suelo, reemplazando la urea.

<sup>32</sup> De acuerdo al INGEI, los residuos que se compostan incluyen residuos de alimentos, residuos de jardines y parques, lodos de aguas residuales, restos vegetales de ferias libres y otros residuos orgánicos industriales. Los datos de gestión del estiércol que tienen como destino plantas de compostaje no se consideran ya que estos se contabilizan en el sector Agricultura,

Tabla 3-3333: Ficha medida de compostaje domiciliario en establecimientos educacionales.

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Identificación y descripción</b>	Nombre de la medida	Medida 2 (M2): Instalación y uso de composteras en establecimientos educacionales
	Objetivo de valorización	Tratar al 2030 0,21 kton de residuos orgánicos mediante compostaje en establecimientos educacionales, evitando que lleguen a rellenos sanitarios.
	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos
	Equivalencia del objetivo en proyectos	Instalación y uso de 5.000 composteras en establecimientos educacionales al 2030.
	Descripción general	Esta medida implica redirigir los residuos orgánicos generados en los colegios hacia composteras individuales instaladas en cada establecimiento. El propósito principal es someter estos residuos a un proceso de tratamiento que los transforme en compost, al mismo tiempo que se previene su disposición en sitios de disposición final.
	Tipo de medida de mitigación	Es una medida que afecta al Nivel de Actividad
	Fecha inicio de implementación	2025 <sup>33</sup>
	Distribución regional referencial <sup>34</sup> (n° composteras)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Región Arica y Parinacota: 36</li> <li>• Región de Tarapacá: 90</li> <li>• Región de Antofagasta: 102</li> <li>• Región de Atacama: 29</li> <li>• Región de Coquimbo: 330</li> <li>• Región de Valparaíso: 528</li> <li>• Región Metropolitana: 1.248</li> <li>• Región de O'Higgins: 311</li> <li>• Región del Maule: 402</li> <li>• Región del Ñuble: 198</li> <li>• Región del Biobío: 474</li> <li>• Región de la Araucanía: 498</li> <li>• Región de los Ríos: 222</li> <li>• Región de Los Lagos: 426</li> <li>• Región de Aysén: 53</li> <li>• Región de Magallanes: 53</li> </ul>
Medidas de mitigación relacionadas	Asistencia técnica al uso eficiente de fertilizantes (Agricultura – NDC, 2020)	

<sup>33</sup> Si bien este año de inicio es referencial, demuestra la urgencia de avanzar rápidamente en la implementación de proyectos a fin de cumplir con las metas de la ENRO al 2030 y las metas de mitigación de la ECLP. Adicionalmente, el año es utilizado para la estimación del potencial de mitigación y costo abatimiento de la medida.

<sup>34</sup> Se agrega a modo referencial. La metodología de distribución se presenta en el Producto C para todas las medidas. La distribución fue utilizada para la estimación del potencial.

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Metas de mitigación</b>	Sector(es) afectado(s)	Residuos
	Subsector(es) afectado(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Categorías INGEI imputadas al MINSAL afectadas:</li> <li>• Disposición de residuos sólidos (5.A) (-)</li> <li>• Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B) (+)</li> </ul> <p>Otras categorías INGEI afectadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte (1.A.3) (-)</li> <li>• Aplicación de urea (3.H) (-)<sup>35</sup></li> </ul>
	Fuente emisora afectada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno sanitario, basurales y vertederos</li> <li>• Proyectos de compostaje</li> </ul>
	Gases y contaminantes climáticos afectados	$CH_4$ , $CO_2$ , $N_2O$ , $NO_x$ y $CO$
<b>Instituciones</b>	Autoridad Responsable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Salud</li> </ul>
	Contraparte Técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio del Medio Ambiente</li> </ul>
	Actores involucrados	Por definir en función de los instrumentos de política pública necesarios (Informe de Avance N°2)
<b>Potencial de mitigación</b>	Potencial de mitigación de la medida (MtCO <sub>2</sub> eq)	Total 2020-2050: 0,001
	Sinergias	La medida afecta el volumen y composición de los residuos afectados por las medidas de captura de gas de relleno.
<b>Información financiera</b>	Costo medio de abatimiento [MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq]	27,76 MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq
	VAN [MM USD]	-0,23 MM USD
<b>Riesgos y co-beneficios</b>	Riesgos a la operación y eficacia de la medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colegios no operan las composteras, o lo hacen deficientemente.</li> <li>• Diseño y operación del equipo no responde a las condiciones climáticas de uso.</li> <li>• Falta de acompañamiento y seguimiento a establecimientos</li> </ul>
	Co-beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilización y regeneración de tejido social</li> <li>• Facilitar el reciclaje de inorgánicos</li> <li>• Recirculación de nutrientes</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>35</sup> En la medida en que se utilice compost como mejorador de suelo, reemplazando la urea.

Tabla 3-3434: Ficha medida de compostaje a municipal a gran escala

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Identificación y descripción</b>	Nombre de la medida	Medida 3 (M3): Instalación y uso de nuevas plantas de compostaje a gran escala
	Objetivo de valorización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratar 30% del volumen de residuos orgánicos municipales al 2030 mediante compostaje a gran escala (1.366 kton al 2030), evitando que lleguen a rellenos sanitarios.</li> <li>• Tratar 66% del volumen de residuos orgánicos municipales al 2040 mediante compostaje a gran escala (2.958 kton al 2040), evitando que lleguen a rellenos sanitarios.</li> </ul>
	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos
	Equivalencia del objetivo en proyectos	Instalación de 58 centros de compostaje de 10 kton/año, 36 kton/año y 100 kton/año al 2050, para tratar residuos municipales en infraestructura compartida
	Descripción general	Esta medida consiste en redirigir los residuos orgánicos que son recolectados por las municipalidades. En lugar de desecharlos en lugares destinados a la disposición final, estos residuos se someterán a un proceso de compostaje en una instalación que será, idealmente, compartida entre varias municipalidades. De esta forma, se evitará su acumulación en los sitios de disposición final.
	Tipo de medida de mitigación	Es una medida que afecta al Nivel de Actividad
	Fecha inicio de implementación	2025
	Distribución regional referencial <sup>36</sup> al 2050 (n° plantas de compostaje)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Región Arica y Parinacota: 3</li> <li>• Región de Tarapacá: 2</li> <li>• Región de Antofagasta: 2</li> <li>• Región de Atacama: 1</li> <li>• Región de Coquimbo: 4</li> <li>• Región de Valparaíso: 7</li> <li>• Región Metropolitana: 15</li> <li>• Región de O'Higgins: 3</li> <li>• Región del Maule: 4</li> <li>• Región del Ñuble: 2</li> <li>• Región del Biobío: 5</li> <li>• Región de la Araucanía: 2</li> <li>• Región de los Ríos: 1</li> <li>• Región de Los Lagos: 4</li> <li>• Región de Aysén: 2</li> <li>• Región de Magallanes: 1</li> </ul>
Medidas de mitigación relacionadas	Asistencia técnica al uso eficiente de fertilizantes (Agricultura – NDC, 2020)	

<sup>36</sup> Se agrega a modo referencial. La metodología de distribución se presenta en el Producto C para todas las medidas. La distribución fue utilizada para la estimación del potencial.

Elemento	Subelemento	Contenido
	Generación de compost proyectada <sup>37</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030: 1.019 kton/año</li> <li>Al 2050: 2.151 kton/año</li> </ul>
<b>Metas de mitigación</b>	Sector(es) afectado(s)	Sector Residuos
	Subsector(es) afectado(s)	Categorías INGEI imputadas al MINSAL afectadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>Disposición de residuos sólidos (5.A) (-)</li> <li>Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B) (+)</li> </ul> Otras categorías INGEI afectadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>Suelos agrícolas (3.D)<sup>38</sup> (-)</li> <li>Aplicación de urea (3.H) (-)<sup>39</sup></li> </ul>
	Fuente emisora afectada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relleno sanitario o sitio de disposición final</li> <li>Proyectos de compostaje</li> </ul>
	Gases y contaminantes climáticos afectados	<i>CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> y CO</i>
<b>Instituciones</b>	Autoridad Responsable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ministerio de Salud</li> </ul>
	Contraparte Técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ministerio del Medio Ambiente</li> </ul>
	Actores involucrados	Por definir en función de los instrumentos de política pública necesarios (Informe de Avance N°2)
<b>Potencial de mitigación</b>	Potencial de mitigación de la medida (MtCO <sub>2</sub> eq)	Total 2020-2050: 7,7
	Sinergias	La medida afecta el volumen y composición de los residuos involucrados en las medidas de captura de gas de relleno.
<b>Información financiera</b>	Costo medio de abatimiento [USD/tCO <sub>2</sub> eq]	204,8 USD/tCO <sub>2</sub> eq
	VAN [MM USD]	-2.215 MM USD
<b>Riesgos y co-beneficios</b>	Riesgos a la operación y eficacia de la medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incumplimientos normativos.</li> <li>Inexistencia de normativas, reglamentos y leyes asociadas.</li> <li>Brecha entre la composición de residuo proyectado en diseño y recibido. Es decir, en ocasiones se genera una diferencia entre la composición del residuo que se proyecta recibir y la que finalmente las plantas reciben.</li> <li>Riesgos climáticos físicos.</li> <li>Falta de financiamiento para sostener la operación.</li> <li>Mala gestión.</li> <li>Disminución de la demanda de producto.</li> </ul>
	Co-beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento del reciclaje de inorgánicos</li> <li>Sensibilización ambiental</li> <li>Mejora de las condiciones de recicladores de baja</li> <li>Disminución de emisiones por fertilizantes inorgánicos</li> <li>Generación de empleo</li> <li>Generación de alianzas</li> </ul>

<sup>37</sup> Estimado considerando una generación de un 30% de compost por cada unidad de volumen de residuo tratado considerando la proporción entre los residuos orgánicos verdes y cafés.

<sup>38</sup> Disminución de emisiones por menor uso de fertilizantes inorgánicos.

<sup>39</sup> En la medida en que se utilice compost como mejorador de suelo, reemplazando la urea.

### 3.4.2. Digestión Anaeróbica

Tabla 3-3535: Ficha medida de digestión anaeróbica para residuos orgánicos industriales

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Identificación y descripción</b>	Nombre de la medida	Medida 4 (M4): Instalación de plantas de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos industriales
	Objetivo de valorización	Tratar el 30% de residuos orgánicos industriales al 2030, y 66% al 2040, evitando que lleguen a rellenos sanitarios.
	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Ninguno en específico. El objetivo busca aumentar la capacidad de mitigación del conjunto de medidas de residuos.
	Equivalencia del objetivo en proyectos	Instalación de 6 plantas de digestión anaeróbica con capacidad de tratamiento de 36,5 kton de residuos industriales al 2040.
	Descripción general	Esta medida implica desviar parte de los residuos municipales hacia una planta de digestión anaeróbica. Mediante este proceso, se evitará la acumulación de estos residuos en sitios de disposición final
	Tipo de medida de mitigación	Es una medida que afecta al Nivel de Actividad
	Fecha inicio de implementación	2025
	Distribución regional referencial <sup>40</sup> (n° de plantas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Región Metropolitana: 3</li> <li>• Región de Los Lagos: 3</li> </ul>
	Medidas de mitigación relacionadas	<p>Dependiendo del nivel de asociatividad adoptada para la implementación de la medida, podría vincularse con las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de biogás (Energía – NDC, 2020)</li> <li>• Biodigestores de purines porcinos (Agricultura – NDC, 2020)</li> </ul> <p>Asistencia técnica al uso eficiente de fertilizantes (Agricultura – NDC, 2020)</p>
<b>Metas de mitigación</b>	Sector(es) afectado(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sector Residuos</li> <li>• Sector Agricultura</li> <li>• Sector Energía</li> </ul>
	Subsector(es) afectado(s)	<p>Categorías INGEI imputadas al MINSAL afectadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición de residuos sólidos (5.A) (-)</li> <li>• Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B) (+)</li> </ul> <p>Otras categorías INGEI afectadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones fugitivas (1.B) (-)<sup>41</sup></li> <li>• Actividades de quema de combustible – Industrias de la energía (1.A.1) (-)<sup>42</sup></li> </ul>

<sup>40</sup> Se agrega a modo referencial. La metodología de distribución se presenta en el Producto C para todas las medidas. La distribución fue utilizada para la estimación del potencial.

<sup>41</sup> Solo en caso de que el biogás capturado sea utilizado para la generación eléctrica.

<sup>42</sup> Solo en caso de que el biogás capturado sea utilizado para la generación eléctrica.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión de Estiércol (3.B) (-)<sup>43</sup></li> <li>• Quema de residuo agrícolas en el campo (3.F) (-)<sup>44</sup></li> <li>• Aplicación de urea (3.H) (-)<sup>45</sup></li> </ul>
	Fuente emisora afectada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno sanitario o sitio de disposición final</li> <li>• Proyectos de digestión anaeróbica</li> </ul>
	Gases contaminantes climáticos afectados	$CH_4$ , $CO_2$ , $N_2O$ , $NO_x$ y $CO$
<b>Instituciones</b>	Autoridad Responsable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Salud</li> </ul>
	Contraparte Técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Medio Ambiente</li> </ul>
	Actores involucrados	Por definir en función de los instrumentos de política pública necesarios (Informe de Avance N°2)
<b>Potencial de mitigación</b>	Potencial de mitigación de la medida (MtCO <sub>2</sub> eq)	Total 2020-2050: 1,27
	Sinergias	La medida afecta el volumen y composición de los residuos afectados por las medidas de captura de gas de relleno.
<b>Información financiera</b>	Costo medio de abatimiento [MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq]	5,54 MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq
	VAN [MM USD]	-154 MM USD
<b>Riesgos y co-beneficios</b>	Riesgos a la operación y eficacia de la medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimientos normativos.</li> <li>• Variabilidad normativa.<sup>46</sup></li> <li>• Brecha entre la composición de residuo proyectado en diseño y recibido.</li> <li>• Riesgos climáticos físicos.</li> <li>• Mala gestión.</li> <li>• Disminución de la demanda de producto.</li> </ul>
	Co-beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación energética</li> <li>• Agua y digesto con alto valor de nutrientes</li> <li>• Generación de empleo</li> <li>• Generación de alianzas</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>43</sup> Solo en caso de que la medida sea implementada utilizando asociaciones con el sector agrícola.

<sup>44</sup> Solo en caso de que la medida sea implementada utilizando asociaciones con el sector agrícola.

<sup>45</sup> En la medida en que se utilice digestato como mejorador de suelo, reemplazando la urea.

<sup>46</sup> La variabilidad normativa hace referencia a los múltiples cambios normativos que están ocurriendo en materia de sostenibilidad en general, y gestión de residuos en particular.

### 3.4.3. Captura de gas de relleno sanitario

Tabla 3-3636: Ficha medida de captura de gas de relleno sanitario en relleno sanitarios existentes

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Identificación y descripción</b>	Nombre de la medida	Medida 5 (M5): Instalación de sistemas de captura y quema o uso de biogás en rellenos sanitarios pre-existentes
	Objetivo de valorización	100% de los rellenos sanitarios tradicionales (no manuales) existentes tienen sistema de captura de gas de relleno al 2035
	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Contribuciones Nacionalmente Determinadas y Estrategia Climática de Largo Plazo
	Descripción general	Esta medida busca la instalación de sistemas de captura en todos los rellenos sanitarios existentes para el año 2035, con el propósito de prevenir la emisión de estos gases a la atmósfera.
	Tipo de medida de mitigación	Es una medida que afecta a la Capacidad de Captura
	Fecha inicio de implementación	2026
	Medidas de mitigación relacionadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captura o uso de biogás de relleno sanitarios (Residuos – NDC, 2020)</li> <li>• Generación de biogás (Energía – NDC, 2020)</li> </ul>
<b>Metas de mitigación</b>	Sector(es) afectado(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sector Residuos</li> <li>• Sector Energía</li> </ul>
	Subsector(es) afectado(s)	Categorías INGEI imputadas al MINSAL afectadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición de residuos sólidos (5.A) (-)</li> </ul> Otras categorías INGEI afectadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones fugitivas (1.B) (-)<sup>47</sup></li> <li>• Actividades de quema de combustible – Industrias de la energía (1.A.1) (-)<sup>48</sup></li> </ul>
	Fuente emisora afectada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno sanitario</li> <li>• Industrias de producción energética y actividades de extracción de combustibles</li> <li>• Extracción, procesamiento, almacenamiento y distribución de combustibles fósiles</li> </ul>
	Gases contaminantes climáticos afectados	$CH_4$ , $CO_2$ , $N_2O$ , $NO_x$ y $CO$
<b>Instituciones</b>	Autoridad Responsable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Salud</li> </ul>
	Contraparte Técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio del Medio Ambiente</li> </ul>

<sup>47</sup> Solo en caso de que el biogás capturado sea utilizado para la generación eléctrica.

<sup>48</sup> Solo en caso de que el biogás capturado sea utilizado para la generación eléctrica.

	Actores involucrados	Por definir en función de los instrumentos de política pública necesarios (Informe de Avance N°2)
<b>Potencial de mitigación</b>	Potencial de mitigación de la medida (MtCO <sub>2</sub> eq)	Total 2020-2050: 22,24
	Sinergias	La medida se ve afectada por todas las otras medidas de valorización de RO dado que disminuyen el volumen de residuos que llegan a los rellenos sanitarios.
<b>Información financiera</b>	Costo medio de abatimiento [MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq]	-0,15 MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq
	VAN [MM USD]	-41 MM USD
<b>Riesgos y co-beneficios</b>	Riesgos a la operación y eficacia de la medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimiento normativo.</li> <li>• Variabilidad normativa.</li> <li>• Reducción de la vida útil de los proyectos.</li> <li>• Dificultad para obtener licencia social</li> <li>• Mala gestión</li> </ul>
	Co-beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación eléctrica</li> <li>• Generación de empleo</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-37: Ficha medida de captura de gas de relleno sanitario en rellenos sanitarios nuevos

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Identificación y descripción</b>	Nombre de la medida	Medida 6 (M6): Instalación de sistemas de captura y quema o uso de biogás en nuevos rellenos sanitarios
	Objetivo de valorización	100% de los nuevos rellenos sanitarios tradicionales (no manuales) nuevos tienen sistema de captura de gas de relleno al 2035
	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Contribuciones Nacionalmente Determinadas y Estrategia Climática de Largo Plazo
	Descripción general	Esta medida consiste en la instalación de sistemas de captura en todos los nuevos rellenos sanitarios para el año 2035, con el propósito de prevenir la emisión de estos gases a la atmósfera.
	Tipo de medida de mitigación	Es una medida que afecta a la Capacidad de Captura
	Fecha inicio de implementación	2030
	Medidas de mitigación relacionadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captura o uso de biogás de rellenos sanitarios (Residuos – NDC, 2020)</li> <li>• Generación de biogás (Energía – NDC, 2020)</li> </ul>
	Sector(es) afectado(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sector Residuos</li> <li>• Sector Energía</li> </ul>
	Subsector(es) afectado(s)	Categorías INGEL imputadas al MINSAL afectadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición de residuos sólidos (5.A) (-)</li> </ul> Otras categorías INGEL afectadas:

<b>Metas de mitigación</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones fugitivas (1.B) (-)<sup>49</sup></li> <li>• Actividades de quema de combustible – Industrias de la energía (1.A.1) (-)<sup>50</sup></li> </ul>
	Fuente emisora afectada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno sanitario</li> <li>• Industrias de producción energética y actividades de extracción de combustibles</li> <li>• Extracción, procesamiento, almacenamiento y distribución de combustibles fósiles</li> </ul>
	Gases y contaminantes climáticos afectados	<i>CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> y CO</i>
<b>Instituciones</b>	Autoridad Responsable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Salud</li> </ul>
	Contraparte Técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio del Medio Ambiente</li> </ul>
	Actores involucrados	Por definir en función de los instrumentos de política pública necesarios (Informe de Avance N°2)
<b>Potencial de mitigación</b>	Potencial de mitigación de la medida (MtCO <sub>2</sub> eq)	Total 2020-2050: 4,83
	Sinergias	La medida se ve afectada por todas las otras medidas de valorización de RO dado que disminuyen el volumen de residuos que llegan a los rellenos sanitarios.
<b>Información financiera</b>	Costo medio de abatimiento [MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq]	0,03 MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq
	VAN [MM USD]	-1,5 MM USD
<b>Riesgos y co-beneficios</b>	Riesgos a la operación y eficacia de la medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimiento normativo.</li> <li>• Variabilidad normativa.</li> <li>• Reducción de la vida útil de los proyectos.</li> <li>• Dificultad para obtener licencia social</li> <li>• Mala gestión</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>49</sup> Solo en caso de que el biogás capturado sea utilizado para la generación eléctrica.

<sup>50</sup> Solo en caso de que el biogás capturado sea utilizado para la generación eléctrica.

### 3.4.4. Medidas complementarias

Tabla 3-3738: Ficha medida de reciclaje de papel y cartón

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Identificación y descripción</b>	Nombre de la medida	Medida 7 (M7): Reciclaje de papel y cartón
	Objetivo de valorización	Alcanzar progresivamente un 70% de reciclaje de papel y cartón al 2033 y que se mantenga dicho porcentaje a lo largo de los años, evitando la disposición de este residuo en los rellenos sanitarios
	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Ley de Responsabilidad Extendida del Productor
	Descripción general	Implementación de un sistema de recolección y acumulación selectiva de residuos reciclables, específicamente papel y cartón para ser posteriormente reciclados por externos
	Tipo de medida de mitigación	Es una medida que afecta al Nivel de Actividad
	Fecha inicio de implementación	2022
	Medidas de mitigación relacionadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de centros de acopio y acumulación selectiva de residuos reciclables a nivel comunal o regional</li> <li>• Aumento de la fabricación de papel y cartón reciclado</li> </ul>
<b>Metas de mitigación</b>	Sector(es) afectado(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sector Residuos</li> </ul>
	Subsector(es) afectado(s)	Categorías INGEI imputadas al MINSAL afectadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición de residuos sólidos (5.A) (-)</li> </ul>
	Fuente emisora afectada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno sanitario, basurales y vertederos</li> </ul>
	Gases y contaminantes climáticos afectados	$CH_4$ , $CO_2$ , $N_2O$ , $NO_x$ y $CO$
<b>Instituciones</b>	Autoridad Responsable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Salud</li> </ul>
	Contraparte Técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio del Medio Ambiente</li> </ul>
	Actores involucrados	Por definir en función de los instrumentos de política pública necesarios (Informe de Avance N°2)
<b>Potencial de mitigación</b>	Potencial de mitigación de la medida (MtCO <sub>2</sub> eq)	Total 2020-2050: 17,94
	Sinergias	La medida afecta el volumen y composición de los residuos dispuestos en rellenos sanitarios
<b>Información financiera</b>	Costo medio de abatimiento [MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq]	-2,6 MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq
	VAN [MM USD]	535 MM USD
<b>Riesgos y co-beneficios</b>	Riesgos a la operación y eficacia de la medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimiento normativo.</li> <li>• Variabilidad normativa.</li> <li>• Mala gestión</li> </ul>

Elemento	Subelemento	Contenido
	Co-beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilización ambiental</li> <li>• Mejora de las condiciones de recicladores de base</li> <li>• Generación de empleo</li> <li>• Generación de alianzas</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-3839: Ficha medida de reducción de desperdicio de alimentos

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Identificación y descripción</b>	Nombre de la medida	Medida 8 (M8): Reducir el desperdicio de alimentos
	Objetivo de valorización	Reducir en un 50% el desperdicio de alimentos al 2030, equivalente a 1.905 kton de alimentos al 2030.
	Instrumento de política pública con el que se vincula el objetivo	Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 (ODS)
	Descripción general	Consiste en la reducir el desperdicio de alimentos mediante el fortalecimiento de bancos y microbancos de alimentos con el objetivo de prevenir que estos residuos lleguen a los sitios de disposición final y, de esta manera, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su descomposición.
	Tipo de medida de mitigación	Es una medida que afecta al Nivel de Actividad
	Fecha inicio de implementación	2025
	Medidas de mitigación relacionadas	-
<b>Metas de mitigación</b>	Sector(es) afectado(s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sector Residuos</li> </ul>
	Subsector(es) afectado(s)	Categorías INGEI imputadas al MINSAL afectadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición de residuos sólidos (5.A) (-)</li> </ul>
	Fuente emisora afectada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rellenos, basurales y vertederos</li> </ul>
	Gases y contaminantes climáticos afectados	<i>CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> y CO</i>
<b>Instituciones</b>	Autoridad Responsable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Salud</li> </ul>
	Contraparte Técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio del Medio Ambiente</li> </ul>
	Actores involucrados	Por definir en función de los instrumentos de política pública necesarios (Informe de Avance N°2)
<b>Potencial de mitigación</b>	Potencial de mitigación de la medida (MtCO <sub>2</sub> eq)	Total 2025-2050: 6,61
	Sinergias	La medida afecta las medidas de compostaje, digestión anaeróbica y captura y quema de gas de rellenos sanitario ya que disminuye el volumen de residuos que llegan a estos destinos.
<b>Información financiera</b>	Costo medio de abatimiento [MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq]	13,19 MM USD/MtCO <sub>2</sub> eq
	VAN [MM USD]	-999 MM USD

Elemento	Subelemento	Contenido
<b>Riesgos y co-beneficios</b>	Riesgos a la operación y eficacia de la medida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de financiamiento para sostener la operación, requieren de financiamiento externo como donaciones.</li> <li>• Desconocimiento en la comunidad respecto al desperdicio de alimentos.</li> <li>• Exigencias normativas que puedan dificultar la operación de la medida.</li> </ul>
	Co-beneficios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilización ambiental</li> <li>• Contribuye a combatir el hambre y la mal nutrición.</li> <li>• Generación de empleo</li> <li>• Generación de alianzas</li> </ul>

### 3.5. PRODUCTO E: Análisis de las barreras, riesgos y oportunidades

Este producto presenta el análisis de las barreras<sup>51</sup>, riesgos y oportunidades que fueron identificadas para la correcta implementación de las medidas de acción del sector residuos. La información presentada es de utilidad tanto para la delimitación y evaluación técnica-económica de como para la construcción de cadenas causales e identificación de acciones habilitantes para asegurar la eficacia de las medidas y el cumplimiento de los objetivos de mitigación.

Para el levantamiento de oportunidades, se desarrollaron las entrevistas detalladas en el Producto B a actores del sector público, privado y ONG (Minutas en Anexo 2). Para generar los insumos necesarios para este producto, se incorporaron a las siguientes preguntas adicionales a la pauta de consultas<sup>52</sup>:

- ¿Qué condiciones actuales facilitan la implementación de medidas asociadas a las tecnologías pre-evaluadas? ¿Qué condiciones actuales facilitan la implementación de medidas asociadas a los sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados?
- ¿Qué barreras observas/n para la implementación de las medidas de mitigación del sector residuos? (institucionales, técnicas, normativas, financieras, etc.).
- ¿Qué factores podrían perjudicar la eficacia de las medidas en su operación? (riesgos

Los resultados fueron sistematizados y se resumen por ítem a continuación. Cabe destacar que el listado presentado representa únicamente aquellas barreras, riesgos y oportunidades expresadas por los entrevistados.

- **Barreras para la implementación de medidas relativas a los sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados**

La siguiente tabla resume las barreras de carácter institucional, político, estratégico, normativo, social, económico y financiero que fueron identificadas por los actores entrevistados. En todos los casos se advierte que los elementos levantados tienen un carácter transversal, es decir, la mayoría de las barreras mencionadas aplican a la implementación de proyectos de los tres sistemas de manejo analizados.

En función de la cantidad de actores que levantan las barreras, es posible concluir que a nivel **institucional/político**, la mayor preocupación del sector son los impactos de la poca coordinación entre las múltiples entidades públicas involucradas en los procesos de aprobación de proyectos de valorización, además de su bajo conocimiento técnico. Para dar cumplimiento a los objetivos de la

---

<sup>51</sup> En el marco de esta consultoría se referirá indistintamente al concepto de barreras y al de brechas toda vez que según Dictuc (2022, p.154) las **barreras** que busca resolver una medida relativa a los medios de implementación se definen como “las **brechas** institucionales, legales, técnicas y/o económicas (...) que aportaría a resolver o mitigar la medida”.

<sup>52</sup> Dependiendo del tipo de entrevistado, la dinámica generada entre las partes y la disponibilidad de tiempo, algunas preguntas fueron priorizadas y preguntas adicionales fueron desarrolladas.

ECLP y la ENRO será necesario implementar aceleradamente proyectos de valorización, lo que requerirá de la existencia de una entidad especializada, con presencia regional, que cuente con la capacidad de dar respuesta rápida a las inquietudes técnicas de los múltiples actores involucrados.

En una **esfera técnico/normativa**, destaca la complejidad del proceso de *permisología* que afecta tanto la temporalidad como la factibilidad económica de los proyectos. También destaca la baja tasa de separación en origen, situación que no se resolverá únicamente con la aprobación del *Proyecto de Ley que Promueve la Valorización de los Residuos Orgánicos y Fortalece la Gestión de los Residuos a Nivel Territorial*, sino que requiere de la habilitación de acciones adicionales, principalmente relacionadas a materias económicas y de educación ambiental, como por ejemplo instrumentos financieros.<sup>53</sup>

Luego, en temas **económicos y de financiamiento**, las barreras en que los actores públicos ponen mayor énfasis en el déficit crítico de recursos disponibles en los municipios para la gestión de los residuos en general, además de la baja demanda de subproductos de los tratamientos de valorización, principalmente compost, que dificulta el diseño de modelos rentables. Ante esta situación y la falta de incentivos, disponer en rellenos sanitarios a baja tarifa es la alternativa más económica frente a las múltiples necesidades que deben atender los gobiernos locales.

Por su parte, el sector privado destaca las incertidumbres financieras y la baja responsabilidad económica que se entrega a las personas (sociedad civil) en el modelo actual de generación.

Finalmente, **a nivel social** destaca la dificultad para obtener licencia social que enfrentan instalaciones de gestión de residuos producto de los co-impactos ambientales que se han producido en casos de mala gestión.

Tabla 3-3940. Sistematización de resultados de entrevistas relativos a barreras de implementación

Tipo	Barreras
<b>Institucionales y de política pública</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Institucionalidad poco clara:</b> Son múltiples las instituciones que se vinculan con el proceso de diseño, evaluación, financiamiento e implementación de un proyecto de valorización de residuos. Para municipios e incluso desarrolladores privados navegar en este ecosistema institucional puede ser complejo y genera incertidumbre.</li> <li>• <b>Esfuerzos basados en voluntad política:</b> La extensión de los procesos de <i>permisología</i>, además de los costos de inversión asociados a los proyectos de valorización de residuos municipales, disminuyen el interés político en la implementación este tipo de soluciones. En especial porque pueden llegar a durar periodos más extensos que la duración de una administración.</li> <li>• <b>Mesas de trabajo poco vinculantes:</b> El sector privado percibe que su participación en el levantamiento de barreras e inquietudes no se transforma en acciones. Esto, sumado a la rotación de autoridades y, con ello los intereses políticos, desincentiva su participación en proyectos asociativos.</li> <li>• <b>Falta de liderazgo para la asociatividad pública:</b> La responsabilidad sobre la gestión de los residuos recae únicamente en los gobiernos comunales, sin embargo, su alcance y capacidad económica y técnica es limitada. La falta de una entidad que lidere por</li> </ul>

<sup>53</sup> El detalle de los instrumentos financieros serán presentado en el siguiente informe de avance.

Tipo	Barreras
	<p>mandato -y no solo voluntad política -la asociatividad de subunidades comunales (p.ej. instituciones de nivel regional), afecta la velocidad de implementación de proyectos y medidas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Falta de planificación de largo plazo:</b> Si bien el país cuenta con recursos públicos para apoyar la inversión de proyecto de gestión de residuos orgánicos, en la actualidad la falta de planificación regional de largo plazo y con apoyo político dificulta la disponibilidad y acceso a los recursos.</li> </ul>
Técnicas y normativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Permisología extensa y compleja:</b> Esta barrera es una de más nombradas por entidades públicas y privadas. La aprobación de un proyecto de valorización requiere de múltiples permisos. Algunos son mínimos para la obtención de otros y cada uno toma un tiempo variable, poco claro y/o preciso, de tramitación. Esta realidad genera incertidumbres que afectan la evaluación de proyectos y la voluntad de inversionistas o ejecutores. A su vez, este proceso se ve afectado por la falta de capacidades técnicas de las entidades públicas encargadas de evaluar y aprobar permisos, además de su rotación.</li> <li>• <b>Baja separación en origen:</b> Los entrevistados reportan que las tasas de separación en origen son bajas, lo que afecta la sostenibilidad de los proyectos en relación al volumen de materia prima. También perciben que la separación es deficiente lo que afecta la correcta operación de los tratamientos de valorización, especialmente a proyectos de digestión anaeróbica.</li> <li>• <b>Variabilidad territorial climática afecta altamente condiciones de diseño:</b> La efectividad y condiciones técnicas de diseño varían dependiendo de las condiciones climáticas y culturales de los territorios. Esto significa que las capacidades que deben ponerse al servicio de la evaluación de proyectos y la selección de sistemas de manejo deben ser de alto nivel técnico y conocimiento local. Así, la falta de recursos y capacidades técnicas de las municipalidades dificultan el diseño y desarrollo de estos proyectos.</li> <li>• <b>Normativa laxa o insuficiente:</b> A la fecha de elaboración del presente informe aún no se encuentra publicado en el Diario Oficial un reglamento sanitario sobre el manejo de instalaciones de valorización de residuos orgánicos lo que genera incertidumbre en los procesos de evaluación ambiental de los proyectos. Tampoco existen normas que incentiven el desarrollo de mercados en torno a la comercialización de subproductos de los procesos de valorización (p.ej. biol/digestato en la digestión anaeróbica)</li> <li>• <b>Poca fiscalización del rubro transportista:</b> Según entrevistados, la falta de fiscalización al sector de transportistas de residuos se traduce en problemas de desvío de residuos y disposición ilegal a bajos costos afecta la competitividad de los proyectos de valorización de residuos orgánicos.</li> <li>• <b>Déficit de cobertura de rellenos sanitarios:</b> En la actualidad, hay municipalidades que no cuentan con sitios de disposición adecuados cerca de sus territorios, por lo que deben recurrir a sitios alejados que se ubican incluso en otras regiones. Esta realidad se traduce en elevados costos de transporte y con ello altos impactos ambientales. Este problema representa una oportunidad para la inversión de largo plazo.</li> </ul>

Tipo	Barreras
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Bases de información de residuos poco confiables:</b> La calidad de la información sobre el volumen de residuos recibidos y tratados es deficiente. Esto no solo dificulta la definición e implementación de medidas, también la evaluación económica de nuevos proyectos.</li> </ul>
Económicas y financieras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Recursos insuficientes:</b> A nivel municipal, existe una brecha sustantiva de disponibilidad de recursos para la gestión de residuos por lo que se opta por las alternativas más económicas y simples logísticamente (disposición en rellenos sanitarios). Los recursos que están proyectados inyectarse a raíz del Proyecto de Ley de Residuos Orgánicos probablemente sería utilizados para subsanar tales brechas y no para incentivar nuevos proyectos.</li> <li>• <b>Dificultades en la postulación a fondos públicos y subvenciones:</b> Postular este tipo de proyectos (especialmente compostaje de gran escala y digestión anaeróbica) es complejo porque no solo se requieren grandes volúmenes de residuos para que sean rentables, sino que además deben proyectarse fuentes de ingresos y/o ahorros continuos que permitan cubrir los costos de operación y mantención. Al mismo tiempo se observan pocas capacidades técnicas de los organismos evaluadores.</li> <li>• <b>Modelo de pago por generación:</b> Varios entrevistados sostienen que el modelo actual de pago por generación de residuos no hace corresponsable al usuario/generador por su producción y tampoco lo incentiva a disminuir o valorizar lo producido.</li> <li>• <b>Escasa demanda de productos:</b> En la actualidad, la demanda por subproductos de los tratamientos de valorización de orgánicos (p.ej. compost o digestato), es baja o despreciable, lo que disminuye las opciones de adoptar modelos de negocios atractivos.</li> <li>• <b>Falta de incentivos financieros al sector privado:</b> No existen incentivos financieros particulares en Chile que promuevan la inversión en proyectos de valorización de residuos que permitan acelerar la implementación de proyectos privados en la medida que son requerido para cubrir las metas de mitigación de las estrategias de política pública.</li> <li>• <b>Bajo impuesto verde:</b> El bajo valor del impuesto verde, en comparación con tarifas internacionales, disminuye los incentivos en proyectos de reducción de emisiones del sector.</li> </ul>
Sociales y ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dificultad para obtener licencia social:</b> Los co-impactos (p.ej. olores, reducción del valor paisajístico) de los proyectos de valorización, debido a su mala operación, afectan la percepción de la población, haciendo más compleja la implementación de este tipo de proyectos.</li> <li>• <b>Brecha de educación ambiental sobre la gestión de residuos:</b> La falta de concientización de la población y/o el desconocimiento del impacto de la disposición de residuos orgánicos en el cambio climático dificulta la implementación de medidas asociadas a estos sistemas de manejo de residuos orgánicos.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

- **Riesgos de las medidas relativas a los sistemas de manejo de residuos pre-evaluados**

Los riesgos hacen referencia a los factores que podrían perjudicar la implementación y eficacia de las medidas. Es decir, situaciones que podrían afectar que, una vez instalado un proyecto, este no cumpla con los objetivos de mitigación y metas de gestión para los cuales fue diseñado. La siguiente tabla resume los riesgos técnicos, normativos, económicos, sociales y ambientales destacados por los entrevistados.

Al igual que en el caso de las barreras, la información proporcionada por los actores refiere transversalmente a los sistemas de manejo pre-evaluados. **El principal riesgo destacado por los entrevistados es la mala gestión de los sitios de disposición** que puede derivar en incumplimientos normativos y sanciones de cierre temporal o permanente, o en bajas tasas de recuperación de gases.

Las razones citadas por las que se produce una mala gestión son variadas: bajas capacidades técnicas, diseños que no consideraron variables territoriales, bajo nivel de acompañamiento y seguimiento, baja disponibilidad presupuestaria para la operación y mantenimiento, entre otros.

Tabla 3-4041. Sistematización de resultados de entrevistas relativos a riesgos

Tipo	Riesgos
<b>Técnicos y normativos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Incumplimiento normativos:</b> Una mala gestión de plantas de valorización -ya sea por falta de recursos, por falta de capacidades o por otros intereses económicos- puede resultar en incumplimientos normativos que, en el largo plazo, afectan la operatividad de los proyectos.</li> <li>• <b>Variabilidad normativa:</b> Múltiples cambios normativos están ocurriendo en materia de sostenibilidad en general, y gestión de residuos en particular. Un ecosistema de incertidumbre normativa es siempre un riesgo a la eficacia de las medidas toda vez que pueden gatillar cambios que afecten las condiciones para la que los proyectos fueron diseñados.</li> <li>• <b>Brecha entre la composición de residuo proyectada en el diseño y lo recibido:</b> Se reporta que en ciertas ocasiones se genera una diferencia entre la composición del residuo que se proyecta recibir y lo que finalmente las plantas terminan recibiendo.</li> <li>• <b>Reducción de la vida útil de los proyectos:</b> Se ha observado que varios sitios de disposición terminan teniendo una vida útil distinta a la que fueron diseñados. Esto no solo genera brechas en la mitigación proyectada y generada, también problemas logísticos y de planificación.</li> <li>• <b>Riesgo de incendios:</b> La deficiente gestión del metano generado en los sitios de disposición es un riesgo tanto para la operación del sitio como para la población aledaña. El mal manejo del gas puede generar incendios que no solo paralizan la operación, sino que también producen gases tóxicos que dañan la salud de las personas y el entorno.</li> </ul>
<b>Sociales y ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dificultad para obtener licencia social:</b> La oposición de comunidades aledañas a los proyectos podrían generar paralización de obras y con ello problemas logísticos y de gestión a empresas y municipalidades que deben coordinar alternativas de manejo en cortos plazos.</li> </ul>

Tipo	Riesgos
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Otros riesgos climáticos físicos:</b> La ocurrencia de riesgos climáticos físicos derivados del cambio climático, en particular aquellos asociados a las amenazas climática como el aumento de lluvias intensas, aumento de días de heladas, cambios en los patrones del viento, aumento de la temperatura atmosférica y aumento de olas de calor, podrían afectar las tasas de gestión y generación consideradas en la evaluación de los proyectos.</li> </ul>
Económicos y financieras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Escaso financiamiento para programas de seguimiento:</b> Se observa que la falta de diseño y financiamiento de programas de seguimiento a los proyectos de compostaje domiciliario puede ser un riesgo para lograr los porcentajes de eficacia necesarios de la medida. Desde la experiencia de las municipalidades se identifica que un periodo de 1 año es considerado aceptable para maximizar el aprendizaje de la población y con eso el correcto uso de los equipos.</li> <li>• <b>Poca capacidad de las municipalidades para sostener la operación:</b> En la evaluación de los proyectos municipales (p.ej. compostaje) que optan a mecanismos de financiamiento públicos (p.ej. FNDR) no se considera la capacidad técnica y económica de las municipales de sostener la operación y mantenimiento de las instalaciones. Lo que implica que, si bien el proyecto se puede implementar, su operación no está garantizada.</li> <li>• <b>Disminución de la demanda de producto:</b> No contar con la suficiente demanda para que el modelo de negocios se sostenga podría paralizar un proyecto. Algunas de las razones por las que esto podría ocurrir es la introducción de sistemas de manejo de residuos más económicos y eficientes o disminución de la competitividad de productos. En el caso específico de los proyectos de captura y uso de gas de relleno, la implementación del proyecto de Ley de separación de residuos orgánicos en origen tendrá efectos en el volumen de Ro recibidos por rellenos sanitarios y por ende en la generación de biogás.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

- **Oportunidades en torno a condiciones habilitantes para la implementación de medidas**

En la siguiente tabla se listan las condiciones que los entrevistados destacan como habilitantes para la implementación de las medidas. Cabe destacar que, en general, el sector percibe que en la actualidad existen pocas oportunidades que incentiven el desarrollo de proyectos de valorización de residuos orgánicos. Sin embargo, se observa que la implementación de instrumentos estratégicos y normativos que se han sido aprobados recientemente o se encuentran en proceso de aprobación, podrían ayudar a mitigar algunas de las barreras que han identificado.

Destacan entre las condiciones habilitantes las prontas modificaciones al Reglamento del SEIA que facilitarán el proceso de evaluación ambiental de los proyectos de compostaje.

Tabla 3-4142. Sistematización de resultados de entrevistas relativos a oportunidades y condiciones habilitantes

Tipo	Oportunidades
Institucionales y de política pública	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lineamientos de política pública:</b> Cada vez existen más instrumentos de política pública que avanzan en la línea de la promoción de tratamientos de valorización de residuos orgánicos. Así también metas nacionales e internacionales que deberían</li> </ul>

Tipo	Oportunidades
	<p>conducir a la creación de mayores capacidades y financiamiento para el desarrollo de este tipo de proyectos en el país.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fomento a energías renovables:</b> En línea con la oportunidad anterior, el fomento producción de energías renovables bajas en emisiones GEI como herramienta para el cumplimiento de las metas de carbono neutralidad debería incentivar inversión en los sistemas de generación energética en base a biogás de residuos.</li> <li>• <b>Urgencia por colapso de rellenos sanitarios:</b> La saturación de los rellenos sanitarios existentes y necesidad de inversión acelera la búsqueda de alternativas más sostenibles de gestión de residuos con una mirada a largo plazo.</li> </ul>
Técnicas y normativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Existencia de programas de capacitación en el sector público:</b> En el sector público se han lanzado cursos y diplomados para capacitar personal. Estas plataformas pueden ser una oportunidad para comenzar a profundizar en contenidos más técnicos que lleguen a actores transversales del ecosistema de <i>permisología</i> de proyectos.</li> <li>• <b>Cambios en reglamento SEIA:</b> En julio de 2023, el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático aprobó modificaciones al Reglamento del SEIA, entre los que se incorpora una flexibilización sobre el volumen de tratamiento por el que una planta de compostaje debe ingresar al Sistema. En esa línea, el borrador ingresado a consulta pública menciona que una planta de compostaje de residuos orgánicos será entendida como tal al tratar una cantidad igual o mayor a 100 toneladas al día. Un cambio de este estilo podría suponer una oportunidad para los desarrolladores de este tipo de proyectos.</li> <li>• <b>Altas capacidades técnicas en el mundo privado:</b> Se percibe que cada vez existen más profesionales capacitados en la gestión y operación de plantas de valorización de residuos.</li> <li>• <b>Mayores niveles de conocimiento base sobre sistemas de manejo de residuos orgánicos:</b> Los entrevistados describen que tanto a nivel de la sociedad civil como de la gerencia de empresas las sistemas de manejo de residuos son cada vez más conocidas y comunes, lo que facilita las diversas conversaciones que deben ser llevadas adelante para capturar clientes o facilitar condiciones de obtención de licencia social.</li> </ul>
Económicas y financieras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Subvenciones y fondos públicos:</b> Se reporta un aumento en la disponibilidad fondos públicos para el financiamiento de proyectos de valorización, en especial para gobiernos locales.</li> <li>• <b>Tratados de libre comercio sobre importaciones:</b> Los tratados de libre comercio que sostiene Chile facilitan la importación de tecnología a los desarrolladores de proyectos.</li> <li>• <b>Creación de sistema de compensación de emisiones:</b> El sistema de compensación de emisiones que creado por la Ley N°21.455 será un incentivo para la inversión en proyectos de valorización de residuos que puedan certificar su reducción de emisiones e ingresar al esquema que sea diseñado.</li> </ul>

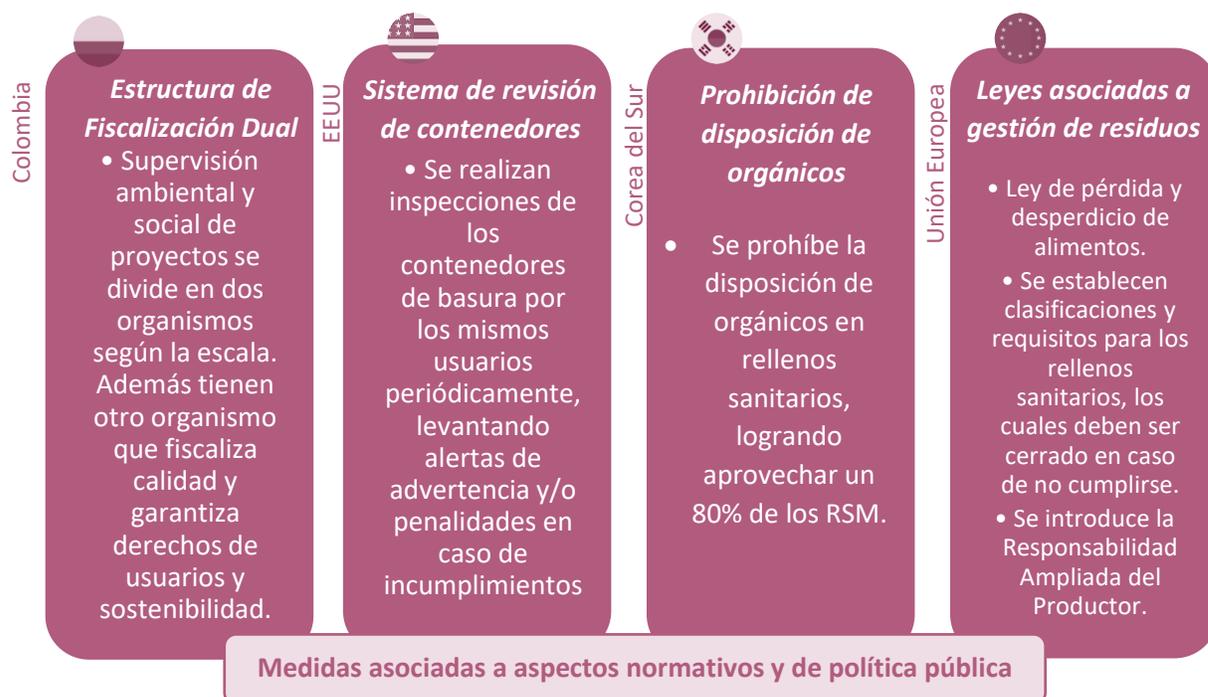
Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. PRODUCTO F: *Benchmark* internacional de medidas

Este producto presenta ejemplos de medidas de mitigación y medidas asociadas a medios de implementación que se han implementado a nivel internacional para fomentar sistemas de valorización de residuos orgánicos y disminuir emisiones de GEI. Los resultados mostrados en este producto serán especialmente utilizados en el proceso de ideación de acciones habilitantes para asegurar las metas de cada medida de mitigación.

Para consolidar el *benchmark*, se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva de casos de estudio de países que destacan por contar con sistemas de gestión de residuos y mecanismos de incentivos destacables como Costa Rica, Colombia, Canadá, EEUU, Unión Europea (UE), entre otros. Se destaca entre los documentos considerados para el análisis las “*Recomendaciones de políticas públicas para superar barreras a la mitigación del metano del sector de residuos sólidos en seis países de Latinoamérica*”, desarrollado en el marco del programa Reciclo Orgánicos. Este, entrega recomendaciones para superar las barreras más importantes, las cuales son ejemplificadas con medidas específicas tomadas en distintos países ejemplares en el sector de residuos.

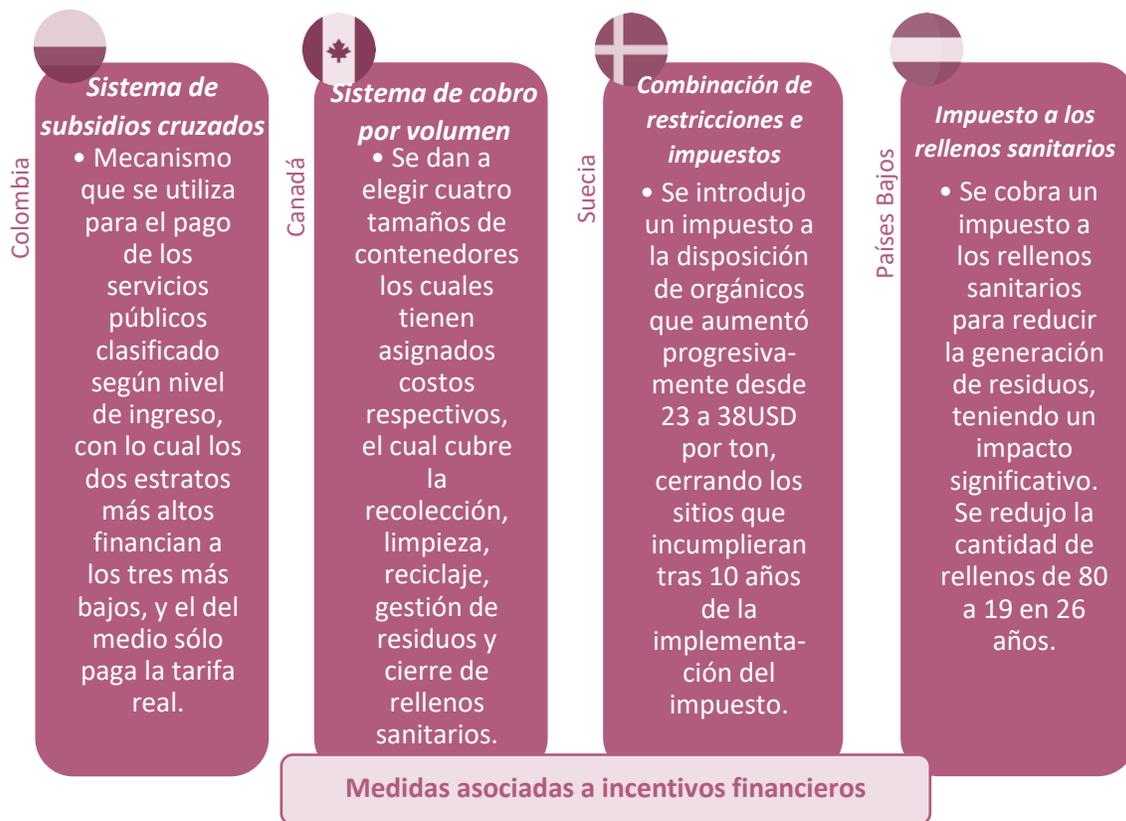
Los casos de estudio a presentar fueron categorizados según el tipo de medida, pudiendo hacer referencia a aspectos normativos y de política pública; incentivos financieros o reconocimientos sociales; y planificación o mecanismos de contabilidad de emisiones (Reciclo Orgánicos et al., 2023). A continuación, se muestran **medidas asociadas a normativas y políticas públicas** y marcos institucionales para lograr una fiscalización efectiva.



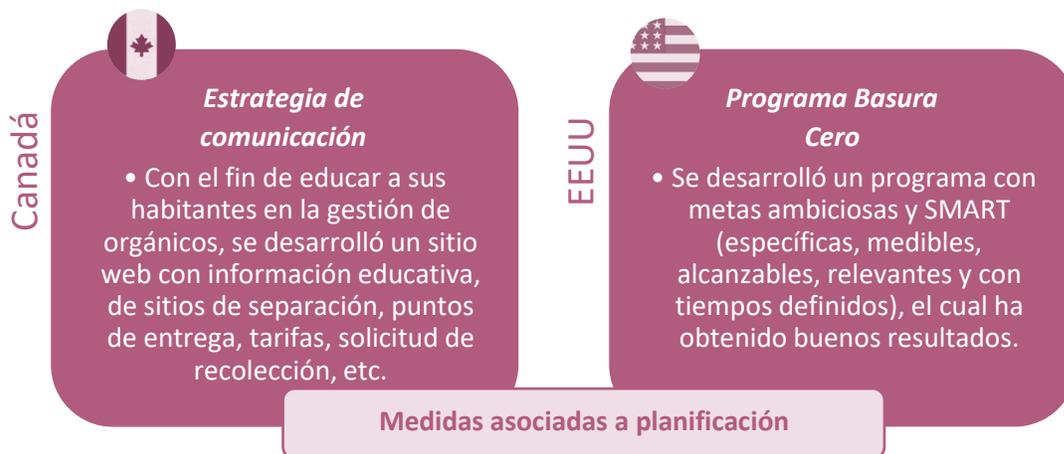
En relación con las **medidas vinculadas a reconocimientos sociales**, se pueden destacar diversas experiencias. Algunos países optan por otorgar certificaciones de calidad a los productos generados a partir de la valorización de residuos orgánicos. Asimismo, se observa la organización de concursos en los que los municipios compiten para mostrar sus avances en cuestiones ambientales. Estos concursos no solo promueven un sentido de pertenencia, sino que también sensibilizan a la comunidad.



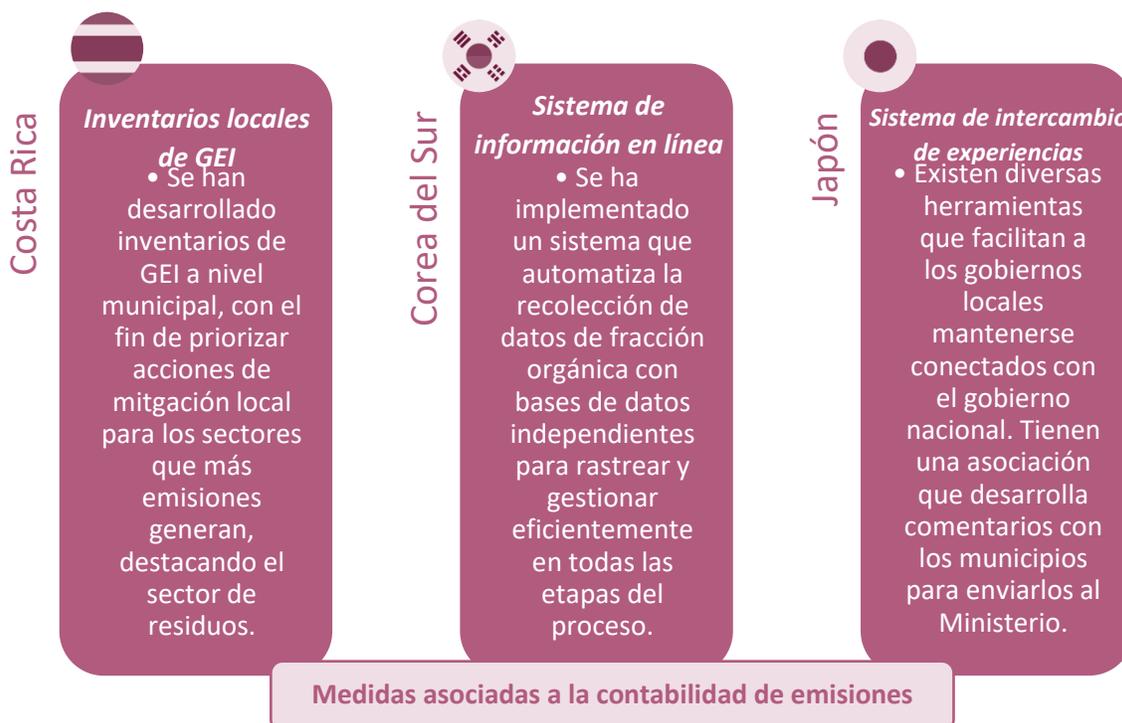
Dentro de las **medidas relacionadas con incentivos financieros**, se pueden resaltar diversas experiencias exitosas. Entre ellas se encuentran la implementación de sistemas de cobro por volumen, conocidos como PAYT (*Pay As You Throw*), así como la adopción de sistemas de subsidios cruzados para lograr una mayor equidad en los diferentes sectores económicos del país. Además, se ha observado la introducción de impuestos a la disposición final de residuos orgánicos, con la intención de avanzar progresivamente hacia la prohibición de la disposición de orgánicos. Estas estrategias han demostrado ser efectivas en la promoción de prácticas sostenibles de gestión de residuos.



Dentro de las **medidas relacionadas con la planificación**, es relevante mencionar casos en los que se han establecido programas de mitigación para dar bajada a las metas gubernamentales. Estos programas proponen medidas específicas para reducir emisiones, los que pueden ser complementados con estrategias de sensibilización, educación y comunicación dirigidas a la comunidad. La combinación de estas acciones busca garantizar la comprensión y participación de la población en el cumplimiento de los objetivos de mitigación de emisiones.



En relación a las **medidas vinculadas a la contabilidad de emisiones**, es importante resaltar situaciones en las que se han creado inventarios de gases de efecto invernadero (GEI) locales para guiar acciones hacia los sectores con mayor influencia en las emisiones. Además, se ha observado la sistematización de datos a lo largo de toda la cadena de disposición, con el propósito de identificar deficiencias en el sector y recopilar información esencial para el proceso.



A continuación, se presenta el resumen de las medidas identificadas por país y categorizadas según los aspectos normativos o de políticas públicas; asociadas a incentivos financieros o sociales; y asociadas a planificación o mecanismos de contabilidad.

Tabla 3-4243: Ejemplos de medidas e iniciativas implementadas internacionalmente

País		Medidas asociadas a aspectos normativos y de política pública	Medidas asociadas a incentivos financieros o por reconocimientos	Medidas asociadas a planificación y/o mecanismos de contabilidad
Costa Rica	-	No se observa	Premios anuales en temas de sostenibilidad	Inventarios locales de GEI para orientar esfuerzos
Colombia	-	Estructura Institucional de Fiscalización Dual de Nivel Nacional	Subsidios cruzados y progresividad en tarifa	No se observa
Canadá	-	No se observa	Sistema de cobro por volumen de contenedores en Toronto	Estrategia de comunicación para la ciudadanía
EEUU	-	Sistema de revisión de contenedores realizada por usuarios	No se observa	Programas con metas ambiciosas (SMART)
Alemania	UE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ley de pérdida y desperdicio de alimentos al 2030.</li> <li>- Requisitos y clasificación para rellenos sanitarios o cierre por defecto al 2009.</li> <li>- Introducción de concepto: Responsabilidad Ampliada del Productor.</li> </ul>	Certificaciones de compost	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planes de gestión de residuos y programas de prevención de residuos.</li> <li>- Jerarquización de cadena de residuos.</li> </ul>
Francia			No se observa	
Países Bajos			Uso de impuestos	
Bélgica			Sistemas PAYT: Pago por generación de residuos: creando un incentivo para valorizar residuos orgánicos	
España			Certificaciones por la reducción de PDA (Pérdida y Desperdicio de Alimentos)	
Suecia			Combinación de restricciones e impuestos a la disposición de orgánicos	
Suiza	-	No se observa	Cobro con el sistema de bolsas/etiquetas en Zúrich	No se observa
Corea del Sur	-	Prohibición de desvío de residuos orgánicos	No se observa	Sistema de información en línea: automatización de datos para la fracción orgánica
Japón	-	No se observa	Fondos de inversión dirigidos al nivel municipal	Intercambio de experiencias para funcionarios a nivel local

Fuente: Elaboración propia basado en Reciclo Orgánicos et al. (2023), Zero Waste Europe (2021) y European Union law (2018).

Como se observa en la tabla anterior, es evidente que todos los países analizados han adoptado medidas relacionadas con incentivos económicos o reconocimientos sociales para abordar la gestión de residuos. Esto resalta la importancia de gatillar la acción a través de estímulos, ya sea en forma de incentivos positivos o medidas punitivas, para involucrar a la comunidad y a las organizaciones en la gestión sostenible de los residuos. Adicionalmente, es destacable la tendencia hacia la prohibición de la disposición final de residuos orgánicos en diversos modelos, respaldada por la implementación de impuestos que desincentivan esta práctica. Esta combinación no solo contribuye a la reducción de los impactos ambientales, sino que también promueve alternativas más competitivas en términos de gestión integral de estos residuos.

En el contexto específico de Chile, avanzar hacia una gestión de residuos efectiva y sostenible en la velocidad que se necesita, requiere establecer mandatos legales que fomenten la gestión diferenciada de la fracción orgánica y medidas que apunten a reestructurar el sistema de tarifas. En las próximas etapas del trabajo se avanzará en el diseño de medidas asociadas a medios de implementación donde se evaluarán propuestas diversas, por ejemplo, la incorporación impuestos a la disposición final en rellenos. En este proceso se tendrán en especial atención las experiencias internacionales que se basan en los pilares de generación de incentivos, sanción a la disposición final y participación ciudadana como pilares para la gestión sostenible de los residuos.

### 3.7. PRODUCTO G: Cadenas causales por medida

Las cadenas causales corresponden a la diagramación de los cambios y efectos esperados por la implementación de una medida, sean estos directos, indirectos, deseados o no deseados **Fuente especificada no válida**. Estas permiten identificar **co-beneficios, costos y riesgos** asociados a cada una de las medidas.

A partir de las entrevistas sostenidas con actores clave (Producto B), y de acuerdo con el criterio experto del equipo asesor, se construyeron cadenas causales para cada una de las medidas evaluadas (Figuras 3-9 a 3-15). Se espera que estos resultados sean utilizados en las próximas actividades del proyecto para complementar la caracterización de las medidas y el análisis de las medidas asociadas a los medios de implementación. A continuación, se describen los principales efectos identificados por medida en sus cadenas causales.

- **Descripción de las cadenas causales de medidas 1, 2 y 3 (compostaje domiciliario, en establecimientos educacionales y de gran escala):**

Estas medidas tienen semejanzas en sus cadenas al estar relacionadas con el compostaje. En primer lugar, el compostaje aumenta la separación de residuos en el origen, lo que no solo genera un aumento de la sensibilización de la población y facilita el reciclaje de inorgánicos, también mejora las condiciones para los recicladores de base.

Otra de las consecuencias directas tiene que ver con el aumento de la generación de compost en hogares, colegios y municipalidades según medida respectiva. Esto se traduce en una disminución de costos para mantención de áreas verdes (áreas públicas o privadas) por la disminución de la demanda de otros fertilizantes inorgánicos disminuyen y con esto las emisiones asociadas al uso y fabricación de estos productos. En el caso de la medida 1 en particular, la incorporación de composteras en los hogares podría incluso producir un aumento en la soberanía alimentaria, acercando prácticas agrícolas locales a las familias.

Un tercer efecto que comparten las 3 medidas es la disminución del volumen recolectado de RSD totales, y con ello los costos de transporte hacia rellenos sanitarios y las emisiones asociadas. Asimismo, la disminución del volumen recolectado de RSD contribuye a que la fracción orgánica que llega a rellenos sanitarios sea menor, situación que reduce no solo las emisiones de metano, sino que también generación de lixiviados, olores y vectores. Con ello, la vida útil de los rellenos aumenta, los costos de operación disminuyen y la licencia social por la disminución de co-impactos favorece la instalación de nuevos proyectos.

En el caso particular de la medida 3 (compostaje a gran escala), se suma como efecto el aumento del volumen recolectado de residuos orgánicos y el consecuente aumento de costos y emisiones por el incremento de transporte hacia centros de compostaje. Finalmente, esta medida genera empleo asociado a la recolección, construcción y operación de las plantas.

- **Descripción de la cadena causal de medida 4 (digestión anaeróbica):**

Esta medida comparte los efectos asociados a la separación de residuos en origen, que corresponden a la de volumen de RSD recolectados y aumento del volumen de RO recolectados, con los impactos respectivos en materia de emisión y costos.

Adicionalmente, la instalación de plantas de digestión anaeróbica fomenta el tratamiento de RO con enfoque integral, lo que aumenta la producción de digestato (fracción sólida) y agua con alto contenido de nutrientes que incrementa la oferta de fertilizantes orgánicos y disminuye las emisiones asociadas a su uso y fabricación.

Finalmente, el tratamiento de RO mediante biodigestor aumenta la disponibilidad de biogás que, al ser usado para generación eléctrica, disminuye la demanda de energías provenientes de combustibles fósiles de otros sectores productivos, reduciendo sus emisiones de GEI.

- **Descripción de cadena causal de medida 5 y 6 (captura de gas de relleno en rellenos preexistentes y nuevos rellenos):**

Estas medidas comparten la cadena causal, siendo uno de sus principales impactos el aumento de la disponibilidad de biogás y la generación de electricidad de bajas emisiones. Adicional a esto, la medida disminuye directamente el metano liberado a la atmósfera, lo que reduce riesgos socioambientales como los incendios en rellenos sanitarios, y los gastos por contingencias.

La implementación de estas medidas afecta el costo de inversión de los proyectos de rellenos sanitarios, que incrementa las tarifas por disposición en el corto plazo. La situación hace más competitivas e interesantes otras medidas de valorización de residuos como el compostaje.

Finalmente, la medida aumenta la demanda del sistema de captura de gas, lo que aumentaría la competencia en el mercado a largo plazo, gatillando un incremento de oferta y disminución del costo del sistema de manejo.

- **Descripción de cadena causal de medida 7 (reciclaje de papel y cartón):**

La cadena causal relacionada a la medida de reciclaje de papel y cartón genera en primera instancia un aumento de la separación de residuos en el origen, lo que a su vez propicia un aumento de la disponibilidad de papel y cartón reciclado, una disminución de la oferta de productos hechos con papel y cartón virgen y un aumento de oferta de productos hechos en base a papel y cartón reciclado. Estas consecuencias terminan en una disminución de la demanda de materia prima virgen y disminución de las emisiones de GEI por producción y transporte del papel y cartón. Además, al aumentar la separación en origen se debe generar una recalendarización del sistema de recolección de residuos junto a un aumento de la conciencia ambiental.

Otra de las líneas causales asociada a esta medida tiene que ver con el aumento de la demanda de sistemas de manejo para reciclar papel y cartón, lo que llevará a un aumento de la competencia de proveedores a largo plazo, haciendo que disminuya el costo de este tipo de sistemas de manejo. Por otro lado, existirá un aumento en los costos por gestión de

residuos asociado a la acumulación y separación de residuos en los centros de acopio de los municipios, lo que podría significar un aumento en las tarifas de aseo, como también un aumento en la generación de empleos.

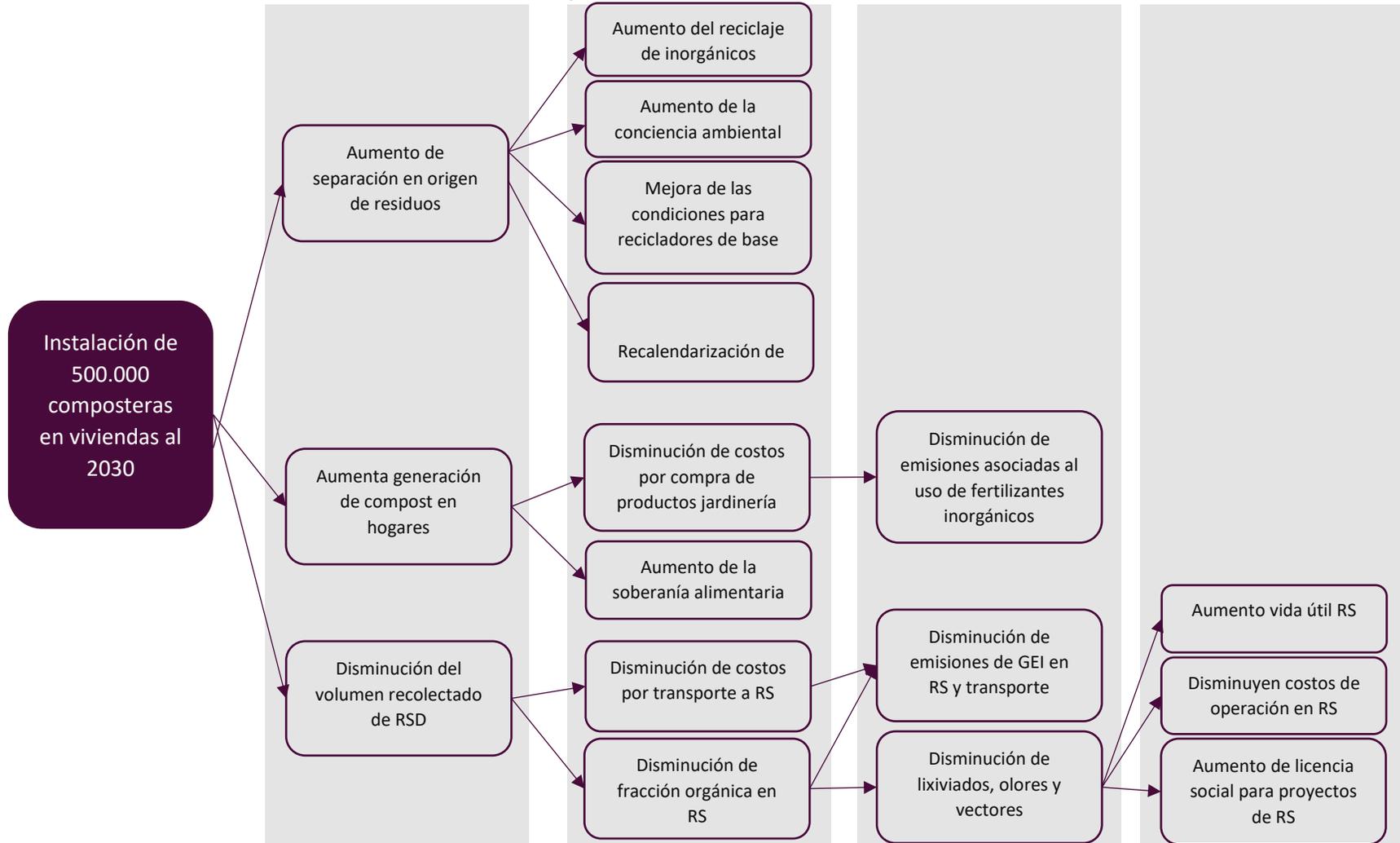
Finalmente, se verá una disminución del papel y cartón dispuesto en los rellenos sanitarios, lo que aumentará la vida útil de los mismos y disminuirá la liberación de metano hacia la atmósfera, esto a su vez disminuirá el riesgo de incendios en los rellenos sanitarios, disminuyendo el riesgo ambiental y social asociado, y los gastos por contingencias.

○ **Descripción de cadena causal de medida 8 (desperdicio de alimentos):**

La cadena asociada a esta medida se inicia con la reducción del desperdicio de alimentos en los procesos de distribución, venta y consumo. Esta acción previene la generación de residuos orgánicos y fomenta una mayor conciencia ambiental en la sociedad. Además, aumenta la disponibilidad de alimentos destinados al consumo humano, lo que contribuye de manera significativa a garantizar la seguridad alimentaria en las comunidades más vulnerables. En última instancia, esto se traduce en un avance concreto hacia el cumplimiento de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados.

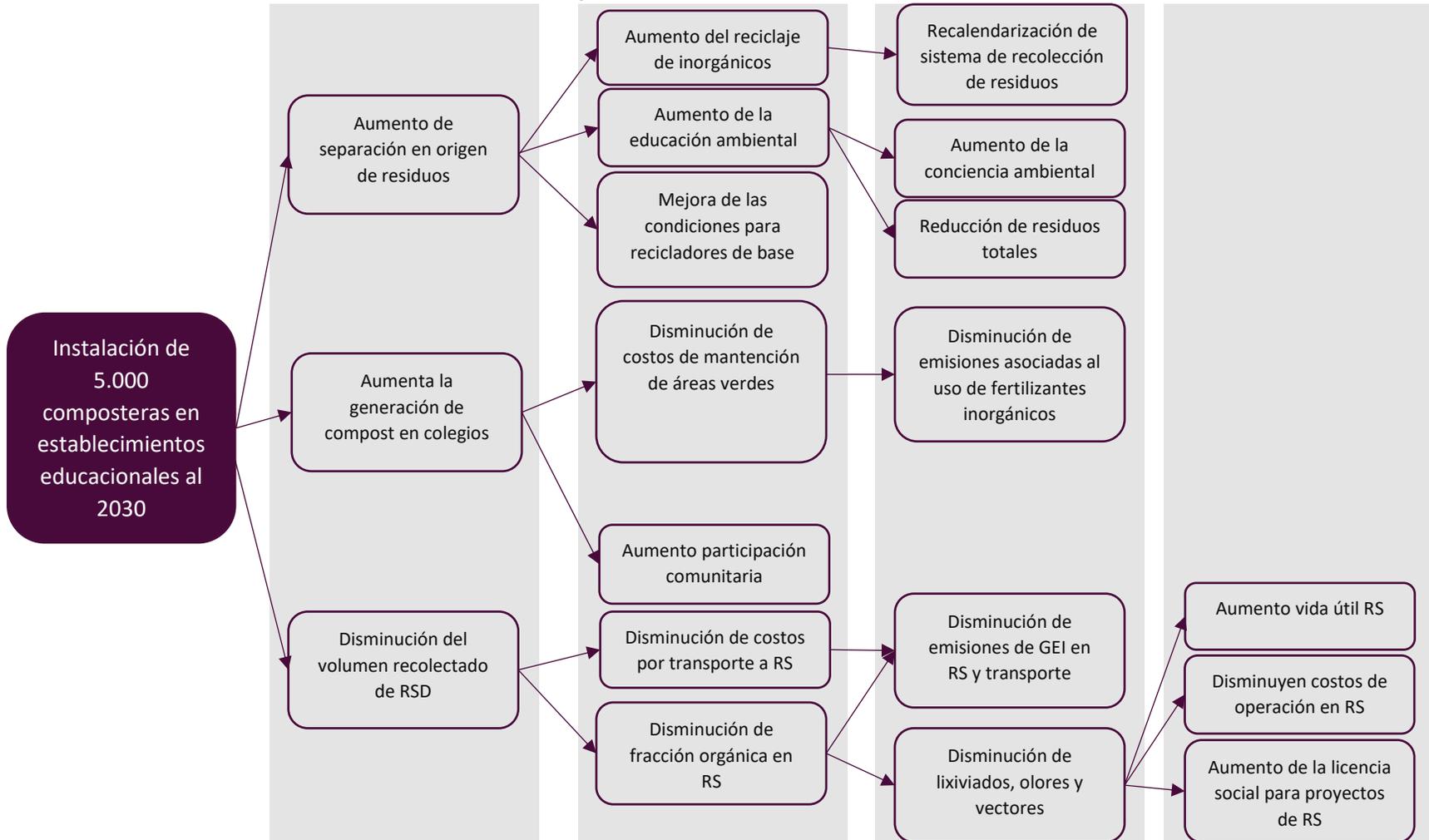
Por último, esta iniciativa genera una disminución en el volumen total de residuos sólidos recolectados, lo que conlleva a reducir los costos asociados al transporte hacia los vertederos, así como una disminución de la fracción orgánica dentro de los residuos sólidos. Esto, a su vez, contribuye a la reducción de lixiviados, olores, vectores y emisiones de gases de efecto invernadero. Todo esto genera un aumento de la vida útil, una disminución de los costos de operación y un aumento de la licencia social para proyectos de rellenos sanitarios.

Figura 3-9: Cadena causal de medida 1



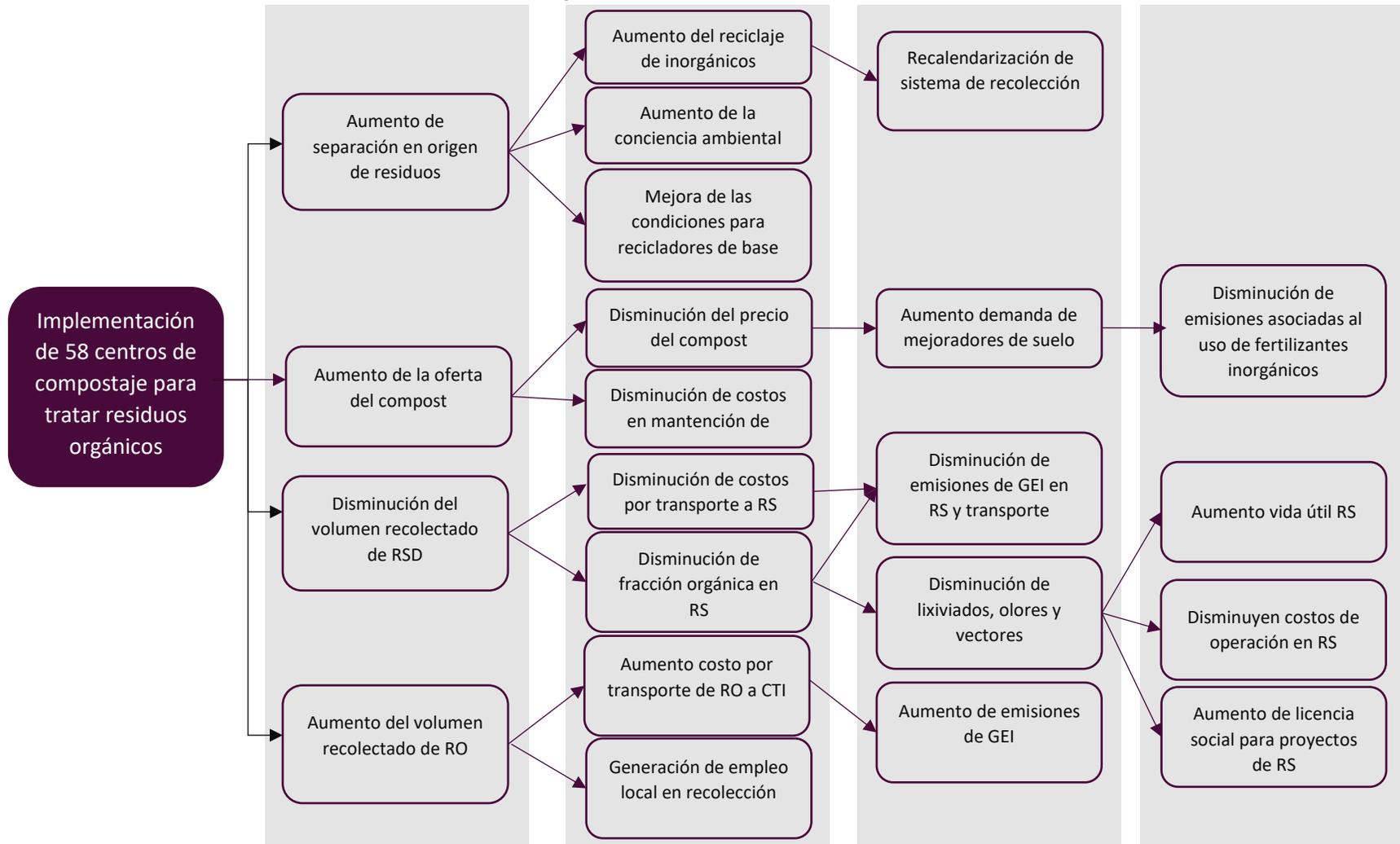
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-10: Cadena causal de medida 2



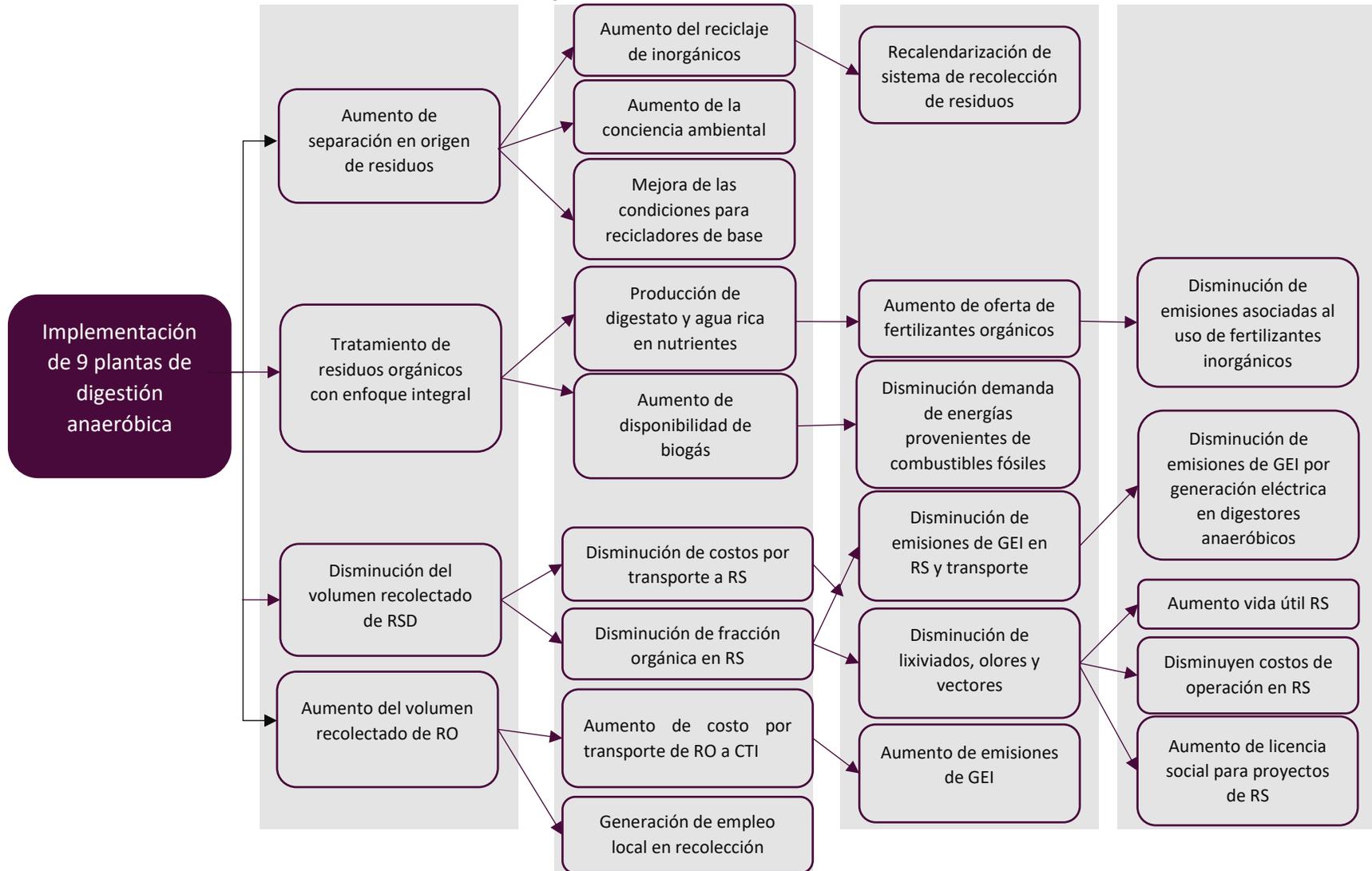
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-11: Cadena causal de medida 3



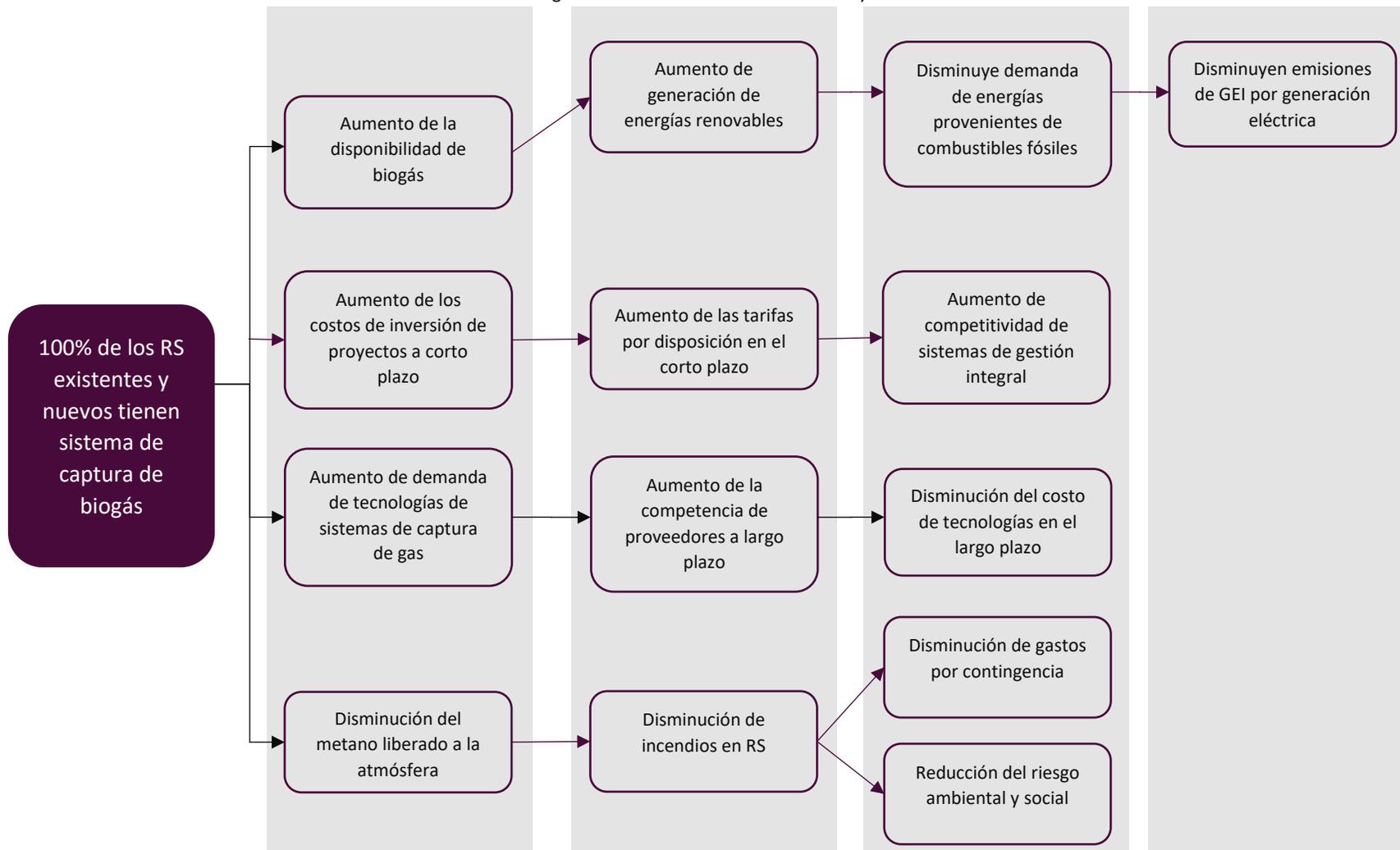
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-12: Cadena causal de medida 4



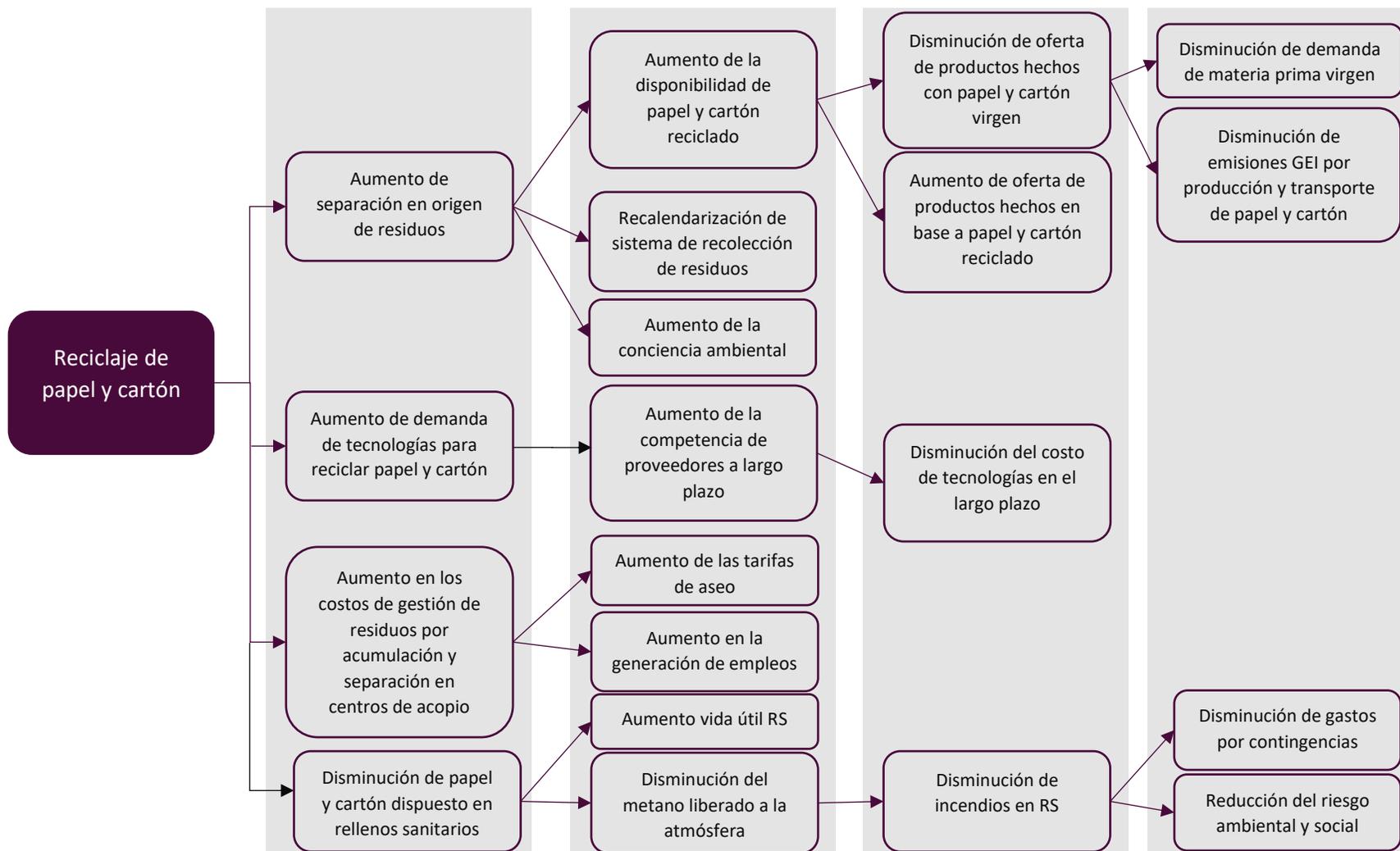
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-13: Cadena causal de medida 5 y 6



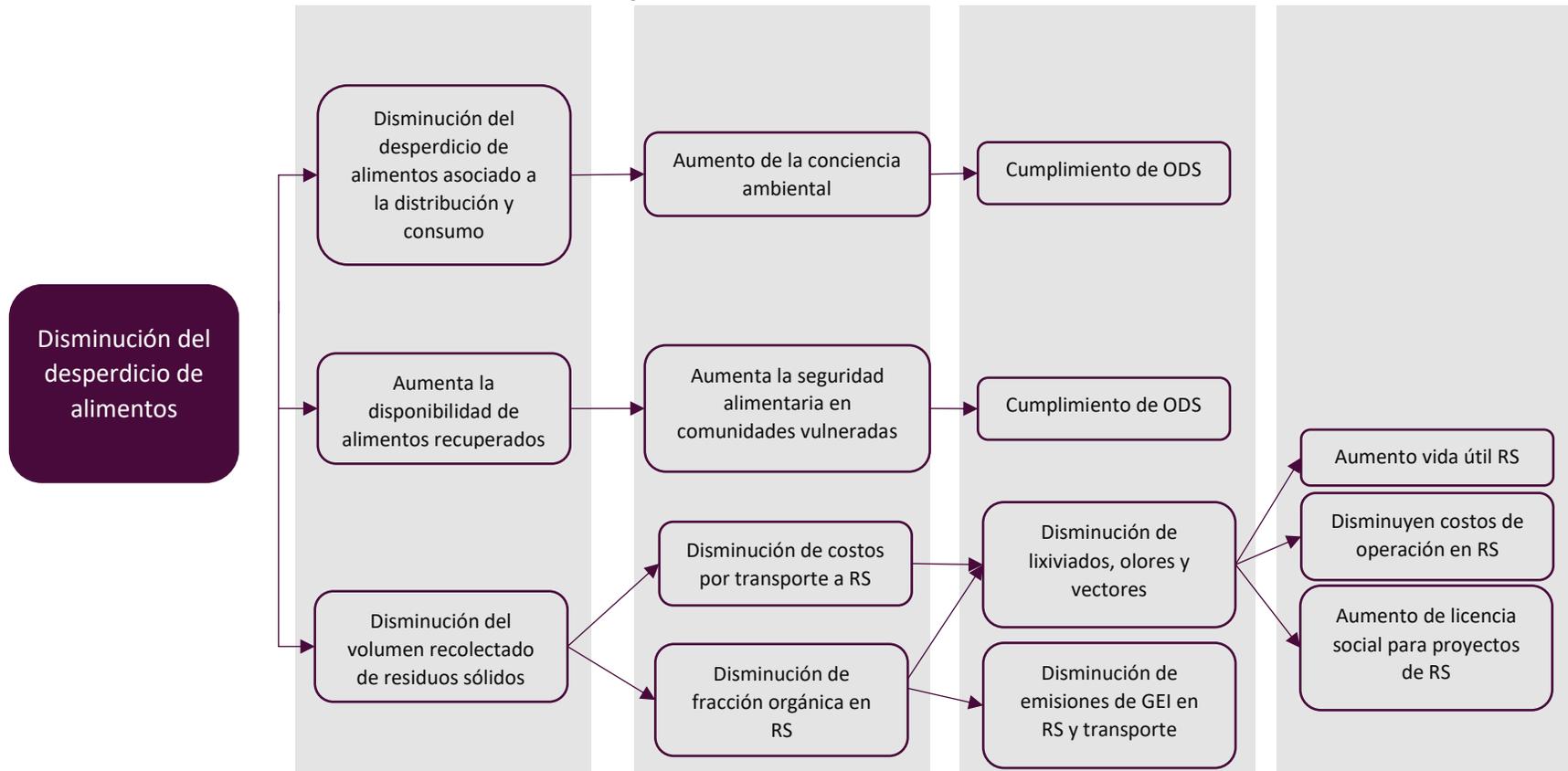
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-14: Cadena causal de medida 7



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-15: Cadena causal de medida 8



Fuente: Elaboración propia.

### 3.8. Metas de mitigación sectoriales

En los Planes Sectoriales de Mitigación al Cambio Climático se deberán definir las acciones de mitigación necesarias para cumplir con los presupuestos sectoriales establecidos en la ECLP.

En la siguiente tabla se presentan los presupuestos de emisiones y esfuerzos de mitigación estipulados para las distintas autoridades sectoriales en la ECLP para el periodo 2020-2030, 2031-2040 y 2041-2050. El esfuerzo indicativo corresponde al volumen de GEI que se espera que la autoridad pueda reducir en un periodo específico, mientras que el presupuesto sectorial corresponde a la suma de emisiones máximas que puede generar el sector en un periodo en función de las categorías del INGEI que le corresponde. **Como se observa, el esfuerzo indicativo de mitigación para el Ministerio de Salud según la ECLP es de 2,4 MtCO<sub>2eq</sub> en el periodo 2020-2030.**<sup>54</sup>

Tabla 3-4344 Asignación sectorial del presupuesto de emisiones

Autoridad Sectorial	Esfuerzo indicativo de mitigación (MtCO <sub>2eq</sub> )			Presupuesto sectorial 2020-2030 (MtCO <sub>2eq</sub> )
	2020 -2030	2031 -2040	2041-2050	
Ministerio de Energía	35-43	149-182	328-400	271,8
Ministerio de Minería	6-8	25-31	59-72	174,1
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	5-6	13-16	32-39	95,3
Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones	2,7-3,3	17-21	2,7-3,3	303,1
Ministerio de Salud	1,9-2,4	9-11	13-15	51,1
Ministerio de Obras Públicas	0,36-0,44	1,9-2,3	1,8-2,2	43,3
Ministerio de Agricultura	0,36-0,44	6-7	7-9	122,4

Fuente: Elaboración propia basado en ECLP, 2021.

Según la información entregada por el Ministerio de Medio Ambiente, el esfuerzo de mitigación que debe ser logrado a partir del paquete de medidas de residuos está siendo actualizado. A la fecha, en un proceso que se encuentra aún en revisión, se espera que el conjunto de medidas del sector residuos logre un esfuerzo de mitigación de 8,5 MtCO<sub>2eq</sub> en el periodo 2020-2030 y de 100 MtCO<sub>2eq</sub> en el periodo 2020-2050. Estos esfuerzos de mitigación no buscan cubrir por completo el presupuesto sectorial que será actualizado para el MINSAL dado que hay otras medidas que no están relacionadas con el sector residuos que deben ser considerados para el cumplimiento del presupuesto.

<sup>54</sup> De acuerdo a información proporcionada por el MMA, estos presupuestos se encuentran en proceso de actualización para asegurar el cumplimiento de la meta de carbono neutralidad.

En la ECLP, los presupuestos de emisiones son asignados a las autoridades sectoriales a partir de categorías de emisiones del INGEI. Cada categoría de emisión es atribuida a una autoridad sectorial y de esta forma se realizará la contabilidad del cumplimiento de los esfuerzos de mitigación esperados. Según la ECLP, **las categorías del INGEI que serán imputadas al Ministerio de Salud y que se relacionan con el sector residuos son**<sup>55</sup>:

- **5.A Disposición de residuos sólidos:** Incluye las emisiones de sitios gestionados (rellenos sanitarios) y de sitios no gestionados (vertederos y basurales).
- **5.B Tratamiento biológico de residuos sólidos**
- **5.C Incineración y quema abierta de residuos:** Incluye las emisiones de las subcategorías de incineración de residuos y de incineración abierta de residuos.

Las emisiones de cada categoría y subcategoría relativa a residuos entre 1990 y 2020 se presentan en la siguiente tabla. Como se observa, la mayor cantidad de emisiones imputadas al MINSAL provienen de la subcategoría de disposición de residuos sólidos en sitios gestionados (rellenos sanitarios).

Tabla 3-4445 Emisiones por categoría y subcategoría INGEI imputada al Ministerio de Salud (ktCO<sub>2eq</sub>), serie 1990-2020

Categoría y subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2022
5.A Disposición de residuos sólidos	748,3	1761,0	2620,3	3613,1	4313,0	5243,3	5847,4
5.A.1 Sitios gestionados (rellenos sanitarios)	-	902,9	1841,8	2855,3	3553,9	4452,1	5056,3
5.A.2 Sitios no gestionados (vertederos y basurales)	748,3	858,1	778,5	757,8	779,1	791,2	791,1
5.B Tratamiento biológico de residuos sólidos	15,4	18,4	58,7	61,7	61,5	68,1	60,4
5.C Incineración y quema abierta de residuos	53,4	60,4	79,1	90,4	93,5	104,0	85,3
5.C.1 Incineración de residuos	0,0	0,1	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4
5.C.2 Incineración abierta de residuos.	53,4	60,3	78,9	90,1	93,1	103,8	84,9
<b>Total</b>	<b>817,1</b>	<b>1839,8</b>	<b>2758,1</b>	<b>3765,2</b>	<b>4468</b>	<b>5415,4</b>	<b>5993,1</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de MMA (2022).

<sup>55</sup> El Ministerio de Salud es también la autoridad encargada de tres categorías que no tienen relación directa con el sector residuos. Estas son: 2.F.3 Protección contra incendios, 2.F.4 Aerosoles, 2.F.5 Solventes y 2.G.3. N<sub>2</sub>O de uso de productos.

Los impactos de la implementación de las medidas que sean propuestas en esta consultoría se deben ver reflejadas en la reducción de emisiones de la suma de categorías del INGEI que componen el presupuesto sectorial del Ministerio de Salud. Por ello, en la siguiente tabla se listan los datos de actividad que son utilizados para la estimación de las emisiones anuales de las categorías 5.A, 5.B y 5.C del INGEI (MMA, 2023).

Tabla 3-4645 Datos de actividad y fuentes de información para la estimación del nivel de actividad de categorías INGEI imputadas al MINSAL

Categoría	Datos de actividad	Fuente de información
5.A Disposición de residuos sólidos	Volumen de residuos sólidos municipales depositados en sitios de disposición final por región	Sistema Nacional de Declaración de Residuos no Peligrosos (SINADER)
	Fracción de residuos municipales por tipo de sitios de disposición	SINADER Catastro SUBDERE 2012-2017
	Composición de residuos sólidos municipales	SUBDERE (2017)
	Volumen de residuos industriales que llegan a RS, mono rellenos, vertederos o basurales	SINADER
	Fracción de residuos industriales por tipo de sitios de disposición	SINADER <sup>56</sup>
	Volumen de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas	SISS
	Volumen de lodos utilizado como mejorador de suelos agrícolas y forestales (para descontar)	SINADER
	Volumen de metano recuperado por sitio de disposición de residuos sólidos	MMA
5.B Tratamiento biológico de residuos sólidos	Volumen de residuos tratados en proyectos de compostaje y digestión anaeróbica (descontando volumen de gestión de estiércol)	SEA SUBDERE (2017) RETC
5.C Incineración y quema abierta de residuos	Volumen de residuos incinerados en hospitales y cementerios	Datos de privados

Fuente: Elaboración propia.

<sup>56</sup> Se describe alto nivel de incertidumbre los datos de residuos industriales. Adicionalmente, no incluye sitios de disposición final propios de cada industria.

### 3.9. Metas de implementación según diversos instrumentos de política pública

Diversos son los instrumentos de política pública y compromisos internacionales donde Chile ha establecido objetivos de mitigación de GEI y metas de implementación de proyectos en el sector residuos. En la Tabla 3-4647 se resumen los objetivos definidos en la NDC, ECLP y ENRO. Se agregan además las metas actualizadas que han sido compartidas por el MMA<sup>57</sup> con el equipo consultor en distintos documentos de síntesis y las metas del escenario *liderando la transición*<sup>58</sup> definido por SSG (2022) para el *Global Methane Hub* (GMH) según objetivos del *Global Methane Pledge* (GMP). La información se muestra agrupada en los 3 sistemas de manejo de residuos orgánico más reportados: compostaje, captura y uso de gas de relleno, y digestión anaeróbica.

Como se observa, los objetivos propuestos presentan distintos niveles de **ambición** y **detalle**. A continuación, se presentan las principales observaciones

- **Metas generales:** En términos de metas generales, se han establecido metas de mitigación general y de mitigación de metano. A nivel general, se observa que el MMA está planificando un aumento en la ambición (aún en revisión), pasando de un esfuerzo de mitigación para el MINSAL de hasta 28,4 MtCO<sub>2</sub>eq en el periodo 2020-2050 (todas las medidas, residuos y no residuos, basado en la actual ECLP) a uno de 100 MtCO<sub>2</sub>eq (solo medidas residuos). Adicionalmente, al 2025 ya deben ser revertidas las tendencias de emisión de metano para cumplir con los compromisos de la NDC (Anexo de fortalecimiento presentado en 2022).
- **Compostaje:** En el ámbito de **compostaje domiciliario** se observan distintos niveles de ambición. El mayor corresponde al escenario de mitigación presentado en los documentos provistos por el MMA donde se estipula que al 2030, 1.000.0000 de composteras o vermicomposteras deben ser instaladas con un 50% de efectividad para dar cumplimiento a los compromisos del GMP.  
Por su parte, en el ámbito de **compostaje de gran escala** se observa que la meta de mayor ambición se define en los nuevos documentos de actualización del MMA. En ellos se proyecta que al 2030, un 30% de los residuos orgánicos deben ser compostados en plantas de mayor escala, aumentando a un 66% al 2040. Cabe destacar que la ENRO se definen porcentajes de valorización similares, sin embargo, no queda estipulado que el sistema de manejo de residuos a utilizar es el compostaje. De todas formas, ambos instrumentos son más ambicioso que la ECLP donde se define una meta de valorización de residuos orgánicos municipales del 66% al 2050. En esta meta tampoco se define un sistema de manejo de residuos de cumplimiento específico.
- **Captura y uso de gas de relleno sanitario:** Se observan metas sobre la cantidad de rellenos que cuentan con sistemas de quema o uso de biogás y sobre la cobertura de uso de rellenos. En ambos casos se observan distintos niveles de ambición. Por ejemplo, la ECLP establece

<sup>57</sup> De acuerdo con la contraparte técnica, estos nuevos esfuerzos se encuentran pronto a ser aprobados a nivel nacional.

<sup>58</sup> El escenario *liderando la transición* corresponde a aquél que “presenta un conjunto de medidas que representan alternativas de mitigación que no han sido tradicionalmente incluidas dentro de los compromisos de mitigación nacionales, además de un alto nivel de ambición en todas las acciones” (SSG, 2022, p.38)

que al 2040 todos los rellenos sanitarios deberán cumplir con la reglamentación sobre manejo de biogás, mientras que la NDC define que al 2035 el 100% de los rellenos deberá contar con sistemas de gestión. Por su parte, los escenarios de mitigación para el cumplimiento de los compromisos del GMP definen que la tasa de implementación de la medida de captura y quema de biogás en rellenos debe evaluarse en una unidad de medida distinta, esta es, el porcentaje del potencial de emisiones de metano provenientes de sitios de disposición final que cuentan con un sistema de gestión. La meta del escenario *liderando la transición* es de un 70% de implementación al 2040.

Luego, en materia de cobertura de rellenos, la meta más ambiciosa es aquella que se define en los documentos de actualización del MMA donde se espera que al 2035 un 97% de la población deposite sus residuos que no han sido valorizados en rellenos sanitarios.

- **Digestión anaeróbica:** La mayoría de los instrumentos no incluye metas de implementación de plantas de digestión anaeróbica. La excepción es SSG (2022) que define una meta del 10% de valorización de residuos municipales e industriales asimilables al 2030. Adicionalmente la ENRO establece que el sistema de manejo de residuos de digestión anaeróbica puede ser utilizado para lograr la meta de valorización nacional, siempre en el marco de alianzas público-privadas.
- **Otros sistemas de manejo de residuos orgánicos:** Los instrumentos incluyen metas de implementación asociadas a otros sistemas de manejo complementarios, destacando el **tratamiento de lodos y el reciclaje de cartón y papel**. Para la primera, el mayor nivel de ambición lo define el MMA en sus documentos de actualización con una meta de utilización de lodos domésticos del 100% al 2030. Cabe destacar que el MMA establece que el organismo líder en la implementación de esta medida debe ser el MOP. En relación al reciclaje de cartón y papel, solo SSG (2022) y los documentos actualizados del MMA disponen metas de implementación. En particular, para el escenario *liderando la transición* que busca dar cumplimiento al GMP se consideró un reciclaje del 70% de los residuos de cartón y papel al 2030. Cabe destacar que los compromisos NDC, ECLP y ENRO no incluyen este sistema de manejo de residuos orgánicos.

La diversidad de instrumentos que estipulan metas de distinto nivel de ambición plantea grandes desafíos tanto para la consolidación de medidas de mitigación como para la coordinación intersectorial para su implementación y monitoreo. Hay compromisos que resultan más exigentes que otros, como los observados en el GMP respecto de la ECLP. Al mismo tiempo, las metas de implementación planteadas no necesariamente tienen un correlato con el presupuesto sectorial esperado para el MINSAL.

Así, parte esencial de este trabajo será analizar si los objetivos planteados para cada sistema de manejo de residuos son, en su conjunto, capaces de satisfacer los esfuerzos de mitigación esperados para el sector. Especialmente, cuando se hace la bajada necesaria de las metas de implementación a medidas de mitigación con una distribución territorial específica.

Tabla 3-4647. Objetivos de implementación de medidas para la reducción de emisiones del sector residuos según diversos instrumentos de política pública

Sistema de manejo de residuos orgánicos	NDC y fortalecimiento NDC	ECLP	ENRO	Documentos MMA	Escenarios de mitigación para el cumplimiento del Global Methane Pledge
	2020 y 2022	2021	2021	2023 (en progreso)	(SSG, 2022) <sup>59</sup>
<b>Generales sector residuos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2025, revertir la tendencia creciente de emisiones de metano nacionales (sin UTCUTS), fortaleciendo la implementación de medidas en fuentes relevantes a nivel nacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece un esfuerzo de mitigación para el Ministerio de Salud de 1,9-2,4 Mt CO<sub>2</sub> eq en 2020-2030 y de 23,9-28,4 en 2020-2050. Para su cumplimiento, se establece que el MINSAL está involucrado en la implementación de diversas medidas NDC, todas son pertenecientes al sector residuos.</li> <li>Al 2050 aumentar significativamente a un 66% la tasa de valorización de los residuos orgánicos gestionados a nivel municipal (domicilios, ferias libres, parques y jardines).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030 valorizar un 30% de los residuos orgánicos generados a nivel municipal, llegando a un 66% al 2040</li> <li>Al 2030, lograr que todos los parques urbanos administrados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) valoricen sus residuos orgánicos generados, preferentemente en sus instalaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establece un nuevo esfuerzo de mitigación esperado para el conjunto de medidas del sector residuos correspondiente a 8,5 MtCO<sub>2eq</sub> en el periodo 2020-2030 y 100 MtCO<sub>2eq</sub> en el periodo 2020-2050</li> </ul>	No se observan
<b>Compostaje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No incluye</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2025 contar con 200.000 familias que utilicen composteras y/o vermicomposteras en sus viviendas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030, contar con 500.000 familias que utilicen composteras y/o vermicomposteras en sus viviendas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030, 1.000.000 de composteras o vermicomposteras instaladas. De ellas, 500.000 composteras domiciliarias son</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meta de compostaje domiciliario existe, pero no es clara<sup>60</sup></li> <li>Al 2030, un 5,75% del porcentaje total de residuos</li> </ul>

<sup>59</sup> Escenario “liderando transición”.

<sup>60</sup> Según SSG (2022) la medida “compostaje domiciliario” se define como “Lograr a 2050 una proporción de viviendas a nivel nacional que utilicen composteras o vermicomposteras. Se asume una efectividad de un 50% (...). Se basa en la medida propuesta en la ENRO”. Al mismo tiempo, bajo el escenario “liderando la transición” se proyecta que al 2030, un 30% de los hogares cuenta con compostera o vermicompostera, aumentando a un máximo de 66% al 2050.

Sistema de manejo de residuos orgánicos	NDC y fortalecimiento NDC	ECLP	ENRO	Documentos MMA	Escenarios de mitigación para el cumplimiento del Global Methane Pledge
	2020 y 2022	2021	2021	2023 (en progreso)	(SSG, 2022) <sup>59</sup>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030, alcanzar 500 barrios del programa “Quiero mi Barrio” haciendo compostaje y/o vermicompostaje</li> <li>Al 2030, 5.000 establecimientos educativos con composteras y/o vermicomposteras</li> </ul>	utilizadas efectivamente (medida 23.1) <ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030, un 30% de los residuos orgánicos se compostan en plantas de mayor escala, aumentando a un 66% al 2040 (medida 23.2)</li> </ul>	provenientes de hogares es tratado en planta de compostaje, aumentando a un 17,2 al 2050. <ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030, un 30% de residuos de ferias y podas son tratados en planes de compostaje, aumentando a un 66% al 2050.</li> </ul>
<b>Captura de gas de relleno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El año 2035, 100% de los residuos domésticos urbanos son depositados en rellenos sanitarios con sistemas de quema o uso de biogás</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2040, la totalidad de los rellenos sanitarios que cuenten con autorización sanitaria cumplirá con la reglamentación sobre control de biogás</li> <li>Al 2030, el 90% de la población urbana contará con acceso a rellenos sanitarios para la eliminación de residuos sólidos domiciliarios no valorizados, aumentando a 100% al 2040.</li> <li>Al 2030, todo nuevo cierre de vertedero se ajustará a la normativa sanitaria sobre manejo de biogás</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No considera objetivos o metas específicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030, aumentar a 100% la capacidad de captura de los rellenos existentes.</li> <li>Al 2035, 97% de la población deposita sus residuos que no han sido valorizados en rellenos sanitarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2025, un 40% del potencial de emisiones de metano provenientes de sitios de disposición final cuentan con un sistema de captura y quema de biogás, aumentando a un 70% el 2050.</li> </ul>
<b>Digestión anaeróbica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las metas de digestión refieren al sector agrícola</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las metas de digestión refieren al sector agrícola (biodigestión de purines porcinos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No incluye objetivos para este sistema de manejo, pero la</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No incluye metas específicas para este sistema de manejo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2025, instalar plantas de digestión anaeróbica que traten el 5% de los residuos</li> </ul>

Sistema de manejo de residuos orgánicos	NDC y fortalecimiento NDC	ECLP	ENRO	Documentos MMA	Escenarios de mitigación para el cumplimiento del Global Methane Pledge
	2020 y 2022	2021	2021	2023 (en progreso)	(SSG, 2022) <sup>59</sup>
	(biogestión de purines porcinos)		identifica como un mecanismo para el cumplimiento de las metas de valorización generales. La ENRO recomienda que proyectos de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos orgánicos se desarrollen en el marco de alianzas público-privadas debido al costo del sistema de manejo.		sólidos municipales asimilables (municipales e industriales asimilables), aumentando a un 10% al 2030.
<b>Otra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2035, el Gran Concepción y Gran Valparaíso cuentan con plantas de tratamiento de aguas servidas con gestión de metano y uso de lodos como bioestabilizador forestales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030, se ha recuperado un 50% de la superficie ocupada por sitios afectados por la disposición ilegal de residuos, aumentando a un 90% al 2040.</li> <li>Define el uso de lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas como bioestabilizador ambiental sin una meta de implementación específica. En la implementación de la medida se encuentran involucrados el MINSAL, MOP y MINAGRI.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No considera metas adicionales específicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030, un 100% de los lodos domésticos son utilizados.</li> <li>Al 2033, un 70% de los residuos de papel y cartón domésticos son reciclados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al 2030, un 70% de los lodos de plantas de tratamiento son valorizados evitando su disposición en rellenos sanitarios, aumentando a un 100% en 2040.</li> <li>Al 2030, un 70% de los residuos de papel y cartón son reciclados.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. CONCLUSIONES GENERALES Y PRÓXIMOS PASOS

A continuación, se presentan las principales conclusiones de cada uno de los productos desarrollados:

- **Producto A: Fichas de sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados:** Las medidas para la gestión de residuos pueden clasificarse en tres tipos de sistemas de manejo: compostaje, digestión anaeróbica y captura y quema de gas de relleno sanitario. Se concluye que todas tienen la capacidad de mitigar emisiones de GEI que afectarían las categorías INGEI imputadas el Ministerio de Salud según la ECLP. Sin embargo, su efectividad dependerá de consideraciones técnicas, climáticas y financieras. En particular, factores como la temperatura y precipitación en la zona pueden influir en su desempeño. Así, la evaluación de las medidas debe tomar en cuenta la distribución territorial proyectada.

Adicionalmente se concluye que se pueden obtener distintos subproductos mediante el uso de los sistemas de manejo de residuos pre-evaluados (p.ej. fertilizantes, biogás o digestato). En la actualidad uno de los grandes desafíos de los modelos de negocio de los proyectos y sus estrategias de circularidad es asociar la producción de estos subproductos a las demandas de los mercados o las necesidades territoriales.

- **Producto B: Levantamiento de información de actores claves sobre sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados:** Se confirman la importancia de los tres sistemas de manejo pre-evaluados, compostaje, biodigestión y captura de gas de relleno sanitario, y adicionalmente se levantan medidas complementarias, entre las cuales destacan: El reciclaje de cartón y papel (residuos orgánicos) y la prevención del desperdicio de alimentos, estas últimas dos se incorporan como medidas a ser evaluadas.

Todas las medidas presentan co-beneficios transversales como la generación de empleos, la promoción de alianzas público-privada y privada-privada, además de beneficios ambientales generales. El compostaje destaca por ser el sistema de manejo con mayor capacidad de promover la sensibilización de la población dado que incentiva el conocimiento de los ciclos de la tierra mediante el contacto directo con la naturaleza. Por su parte, la digestión anaeróbica es un proceso que destaca por ser capaz de generar nuevos recursos aprovechables por otras cadenas de producción, en particular el digestato para la recuperación de suelos y biogás para la producción de energía eléctrica.

La información provista por los actores clave sobre el costo y potencial de mitigación de los sistemas de manejo de residuos pre-evaluados fue limitada y diversa por lo que debe ser complementada con bibliografía especializada en la etapa de evaluación de costo-abatimiento. A pesar de ello, fue posible concluir que la inversión de proyectos de generación eléctrica en base a biogás es sustantivamente mayor en los proyectos de digestión anaeróbica que en rellenos sanitarios, y que la instalación de plantas de compostaje puede representar un ahorro para los municipios.

Finalmente, se concluye que es clave que las autoridades avancen complementariamente en la habilitación de acciones para el tratamiento de lodos y asegurar la erradicación de vertederos ilegales y microbasurales.

- **Producto C: Curvas MAC y potencial de mitigación:** En primer lugar, se concluye que es relevante considerar la distribución territorial de las medidas al estimar su potencial de mitigación. Esto, debido a las diferencias en las condiciones de emplazamiento y operación de los sitios de disposición respecto de su línea base. Las curvas MAC por medida evidencian diferencias significativas de las medidas según la zona climática de emplazamiento y sistema de manejo utilizado (esto último aplicable a las plantas de compostaje). Se destaca que los programas y proyectos emplazados en zonas climáticas boreales y templadas, húmedas presentan mayores potenciales de mitigación que los mismos en otras zonas climáticas, y esto se debe a los factores de generación de metano asociados a esos climas.

Luego, se concluye que la suma del potencial de mitigación de las 8 medidas evaluadas (82,72 Mt  $CO_2eq$ ) es menor al esfuerzo que está en conversaciones con la contraparte, pero más de tres veces el esfuerzo de mitigación esperado del Ministerio de Salud según los presupuestos sectoriales actualmente establecidos en la ECLP. El potencial de mitigación estimado difiere en aproximadamente 18 Mt  $CO_2eq$  del pre-evaluado por la contraparte, siendo las medidas con mayor diferencia las medidas de compostaje.

Se estima que las diferencias anteriores ocurren principalmente por la adopción de supuestos de distribución regional de las medidas y las implicancias de las condiciones climáticas en el potencial de mitigación. Por otro lado, los potenciales de mitigación calculados por medida están considerando las emisiones del escenario con proyecto incluso cuando este no corresponde al sector de residuos. A modo de ejemplo, se tiene que el potencial de mitigación de la medida de compostaje a gran escala tiene considerada el consumo de recursos como combustible y electricidad debido a la operación del proyecto en sí, emisiones que serían que corresponden al sector de energía.

Finalmente, la curva MAC al 2050 demuestra que la medida más costo-efectiva son las medidas de reciclaje de papel y cartón porque solo considera ahorros, y las medidas de captura de gas en los rellenos sanitarios nuevos y existentes. Luego, le siguen las medidas de compostaje domiciliario y la de reducción de desperdicio de alimentos. Con resultados no tan favorables terminan las medidas de digestión anaeróbica de industriales, compostaje a gran escala y compostaje en establecimientos educacionales. Sin embargo, dada la ambición de la medida de compostaje a gran escala su potencial de mitigación es mucho mayor que las medidas de compostaje en viviendas y colegios, y la de digestión anaeróbica.

- **Producto E: Análisis de barreras, riesgos y oportunidades:** La implementación de medidas asociadas a los sistemas de manejo de residuos orgánicos pre-evaluados, en particular a la velocidad que es necesario para cumplir con las metas nacionales de mitigación de GEI, se enfrenta a **múltiples barreras**. A nivel **institucional/político**, la mayor preocupación del sector son los impactos de la poca coordinación entre las múltiples entidades públicas involucradas en los procesos de aprobación de proyectos de valorización, además de su bajo conocimiento técnico. En la **esfera técnico/normativa**, destaca la complejidad del proceso de *permisología* que afecta tanto la temporalidad como la factibilidad económica de los proyectos., además de la baja tasa de separación en origen. La barrera no se resolverá únicamente con la aprobación del *Proyecto de Ley que Promueve la Valorización de los Residuos Orgánicos y Fortalece la Gestión de los Residuos a Nivel Territorial*, sino que

requiere de la habilitación de acciones adicionales, principalmente relacionadas a materias económicas y de educación ambiental. Finalmente, en temas **económicos y sociales**, las barreras más importantes son el déficit crítico de recursos disponibles en los municipios, la baja demanda de subproductos de los tratamientos de valorización y la dificultad para obtener la licencia social para operar. Esto último, gatillado por los casos de mala gestión que han derivado en co-impactos ambientales que afectan a la población.

Luego se concluye que el principal **riesgo** del sector, es decir, situación que puede afectar la capacidad de las medidas de lograr los objetivos de mitigación esperados, es la mala gestión de los sitios de disposición. Esta situación puede darse por distintas razones entre las que se destacan las bajas capacidades técnicas, diseños que no consideraron variables territoriales, bajo nivel de acompañamiento y seguimiento, baja disponibilidad presupuestaria para la operación y mantenimiento, entre otros.

Finalmente, a nivel de **oportunidades**, se concluye sobre la importancia de aprovechar el panorama nacional actual para acelerar los procesos de implementación de proyectos de valorización de residuos orgánicos. Este panorama nacional se caracteriza por la urgencia de adoptar soluciones de gestión de residuos para evitar potenciales crisis sanitarias y ecológicas, además de la entrada en vigencia de la Ley Marco de Cambio Climático que gatilla la creación de múltiples instrumentos de política pública y cambios regulatorios.

- **Producto F:** La elaboración del *Benchmark* de medidas internacionales demuestra que los países están optando por incorporar incentivos económicos, restricciones normativas o reconocimientos sociales como estrategias para la gestión integral de residuos. Esta situación destaca la necesidad de evaluar en Chile alternativas que permitan acelerar la inversión en proyectos de valorización y cumplir con las metas de reducción de emisiones. Por ejemplo, la publicación de leyes que promuevan la gestión diferenciada de residuos prohibiendo la disposición de residuos orgánicos en sitios de disposición sin mecanismos de valorización, ajustar las tarifas y considerar la incorporación de impuestos a la disposición. Las medidas identificadas en este producto serán consideradas para el diseño de medidas asociadas a medios de implementación de próximos productos.
- **Producto G:** Las **medidas 1, 2 y 3** comparten cadenas causales similares centradas en el compostaje. Comienzan con la separación de residuos en origen, aportando a la sensibilización ambiental y mejorando condiciones para los recicladores. El compostaje operado por entidades públicas resulta en la generación de compost que reduce los costos en mantenimiento de áreas verdes y la demanda de fertilizantes inorgánicos. Junto con ello, las emisiones asociadas a su producción. La fracción orgánica reducida en rellenos sanitarios disminuye la producción de lixiviados y olores, prolonga la vida útil, reduce costos de operación y aumenta la licencia social para proyectos de RS.

Sumado a las cadenas previas, la **medida 4** (digestión anaeróbica) genera digestato y agua rica en nutrientes. Esto incrementa la oferta de fertilizantes orgánicos, reduciendo las emisiones asociadas. El proceso también produce biogás, útil para generación eléctrica, disminuyendo la demanda de combustibles fósiles y emisiones.

Las **medidas 5 y 6** comparten una cadena causal asociada a la captura de biogás en rellenos sanitarios existentes y nuevos. Además de los efectos previos mencionados, se reducen los incendios y riesgos asociados a la generación de metano, impulsando la seguridad ambiental y social. El aumento de la inversión para la incorporación de sistemas de captura aumenta las tarifas por disposición, fomentando opciones más integrales de gestión de residuos.

La **medida 7** conlleva una serie de efectos positivos, como la reducción de la demanda de materia prima virgen, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, la prolongación de la vida útil de los rellenos sanitarios y una mayor conciencia ambiental. Sin embargo, también puede implicar costos adicionales en la gestión de residuos y tarifas de aseo más altas para la ciudadanía.

Finalmente, la reducción del desperdicio de alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria (**medida 8**), no solo tiene un impacto positivo en la economía y el medio ambiente, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Esta medida representa una oportunidad para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y reducir las emisiones de GEI, mientras que fomenta una mayor conciencia sobre la importancia de evitar el desperdicio de alimentos en la sociedad.

En resumen, las sinergias entre estas medidas generan una serie de resultados beneficiosos que van más allá de la mera gestión de residuos. A través de la sensibilización, la optimización de recursos y la promoción de prácticas sostenibles, se establece un ciclo virtuoso que favorece tanto al medio ambiente como a las comunidades locales. Se puede ver cómo las medidas adoptadas no solo influyen en la gestión de residuos, sino que también tienen un alcance considerable en términos de sostenibilidad ambiental, social y económica.

## PROXIMOS PASOS

Los **próximos pasos** de la asesoría son principalmente:

- Diseñar **medidas asociadas a los medios de implementación**. Esta línea es considerada particularmente importante por el equipo consultor toda vez que se observa una amplia gama de barreras regulatorias, institucionales, técnicas, sociales y económicas que es prioritario mitigar para acelerar la implementación de proyectos de valorización y mitigación de GEI.
- Diseñar los **indicadores de monitoreo, reporte y verificación** de las medidas evaluadas.

El informe de avance N°2 incorporará las modificaciones que sean necesarias para abordar los comentarios realizados por la contraparte técnica al presente informe, además de los siguientes productos:

- **Producto I:** Ficha de los medios de implementación asociados a las medidas.
- **Producto J:** Levantamiento de conocimientos obtenidos a través de ejercicio de elicitación con actores clave en el sector público, academia, ONG, entre otros.
- **Producto K:** Propuesta de cronograma para la puesta en marcha de la implementación de las medidas.

## 5. REFERENCIAS

- Compost Research & Education Foundation. (2021). The Composting Handbook.
- Conestoga-Rovers, A. (2010). Landfill gas management facilities design guidelines. Technical Report.
- Convention on Biological Diversity. (2023). Kunming - Montreal Global Biodiversity Framework. Convention on Biological Diversity Recuperado de <https://www.cbd.int/gbf/>
- Dortmans B.M.A., Diener S., Verstappen B.M., Zurbrügg C. (2017). Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland.
- Environmental Protection Agency. (2020). *Anaerobic Digester/Biogas System Operator Guidebook*. Environmental Protection Agency Recuperado de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-11/documents/agstar-operator-guidebook.pdf>
- European Union law. (2018). Legislación de la Unión Europea sobre gestión de residuos. EUR - Lex. <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html>
- EPA. (2018). Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet. EPA. Recuperado de [https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018\\_ff\\_fact\\_sheet\\_dec\\_2020\\_fnl\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf)
- FAO. (2011). Pérdida y Desperdicio de Alimentos en el Mundo. FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>
- Global Methane Pledge. (2023). About the Global Methane Pledge. Global Methane Pledge Recuperado de <https://www.globalmethanepledge.org/>
- Girardi y Ossandón. (2020). N°302/SEC/20. Cámara de Diputadas y Diputados Recuperado de <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTipo=SIAL&prmID=56467&formato=pd>
- ImplementaSur. (2019). Asesoría sobre el manejo de residuos orgánicos generados a nivel municipal en Chile. Recuperado de <https://economiecirculaire.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/Informe-3-Sistemas-de-manejo-e-instrumentos-aplicables-en-Chile.pdf>
- Margit Olle (2021) Review: Bokashi technology as a promising technology for crop production in Europe, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 96:2, 145-152, DOI: 10.1080/14620316.2020.1810140
- Ministerio de Secretaría General de la Presidencia. (1994). Aprueban Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>
- Ministerio del Interior. (2007). Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30077>

Ministerio de Salud y Subsecretaría de Salud Pública. (2008). DECRETO 189 APRUEBA REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y DE SEGURIDAD BÁSICAS EN LOS RELLENOS SANITARIOS. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=268137>

Ministerio de Agricultura. (2010). *Ley N° 20.412 establece un Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1010857>

Ministerio de Energía. (2012). *Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile*. Asociación Gremial de Productores de Leche de la Región de los Ríos Recuperado de <https://www.aproval.cl/manejador/resources/guiaplanificacionproyectosbiogasweb.pdf>

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (2015). *Ley N° 20.879 Sanciona el Transporte de Desechos hacia Vertederos Clandestinos*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1084262&idParte=9651165&idVersion=2015-11-25>

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Ley N° 20.920 Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y el Fomento al Reciclaje*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894>

Ministerio de Energía. (2017). DECRETO 119 APRUEBA REGLAMENTO DE SEGURIDAD DE LAS PLANTAS DE BIOGÁS E INTRODUCE MODIFICACIONES AL REGLAMENTO DE INSTALADORES DE GAS Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1099847>

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2018). *Ley N° 21.074 Fortalecimiento de la Regionalización del País*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1115064>

Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, RETC*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1050536>

Ministerio del Medio Ambiente. (2020). *Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Chile*. Ministerio del Medio Ambiente Recuperado de [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/NDC\\_Chile\\_2020\\_espan%CC%83ol-1.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/NDC_Chile_2020_espan%CC%83ol-1.pdf)

Ministerio de Hacienda. (2020). *Ley 21210 Moderniza la Legislación Tributaria*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1142667>

Ministerio del Medio Ambiente. *Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040*.(2021) Ministerio del Medio Ambiente Recuperado de <https://economiecircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Estrategia-Nacional-de-Residuos-Organicos-Chile-2040.pdf>

Ministerio de Agricultura. (2021) *Ley Nº 21.349 Establece Normas sobre Composición, Etiquetado y Comercialización de los Fertilizantes y Bioestimulantes*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1162023>

Ministerio de Salud. (2021). *Reglamento sobre Manejo Sanitario de las Instalaciones de Valorización de Residuos Orgánicos*. Ministerio de Salud Recuperado de <https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2021/11/Reglamento.consulta.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2022a). Fortalecimiento de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC). Ministerio del Medio Ambiente Recuperado de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/01/Chile-Fortalecimiento-NDC-nov22.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2022b). Reporte del Estado del Medio Ambiente 2022. Ministerio del Medio Ambiente Recuperado de <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/reporte-del-estado-del-medio-ambiente-2022/>

Ministerio del Medio Ambiente. (2022c). *Programa de Regulación Ambiental*. Ministerio del Medio Ambiente Recuperado de <https://sinia.mma.gob.cl/normativa-regulacion/programa-de-regulacion-ambiental/>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2022). *Política Nacional de Parque Urbanos*. Ministerio del Medio Ambiente Recuperado de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/12/2022-10-27-Politica-Nacional-de-Parques-Urbanos.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente.(2022). *Ley Marco de Cambio Climático*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>

Ministerio de Hacienda, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Ministerio de Salud y Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Promueve la valorización de los residuos orgánicos y fortalece la gestión de los residuos a nivel territorial*. Cámara de Diputadas y Diputados Recuperado de <https://www.camara.cl/legislacion/proyectosdeley/tramitacion.aspx?prmID=16745&prmBOLETIN=16182-12>

Ministerio del Medio Ambiente. (2023a). ¿Qué es Estado Verde?. Ministerio del Medio Ambiente Recuperado de <https://portalestadoverde.mma.gob.cl/que-es-estado-verde/>

Ministerio del Medio Ambiente. (2023b). Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Biodiversidad. Ministerio del Medio Ambiente Recuperado de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/plan-de-adaptacion-al-cambio-climatico-para-la-biodiversidad/vinculacion-con-otros-instrumentos/>

SUBDERE. (2017). *Línea Base Diagnóstico y Catastro de RSD año 2017*. SUBDERE Recuperado de <https://www.subdere.gov.cl/documentacion/diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-%C3%B1o-2017>

SUBDERE. (2019). *Actualización de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables*. SUBDERE Recuperado de

<https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/Catastro%20de%20sitios%20septiembre%202019.pdf>

SUBDERE. (2023). *Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS)*. SUBDERE Recuperado de <https://www.subdere.gov.cl/programas/divisi%C3%B3n-desarrollo-regional/programa-nacional-de-residuos-s%C3%B3lidos-pnrs>

SUBDERE. (2019). *Estudio de factibilidad del funcionamiento de tecnologías que procesen residuos sólidos domiciliarios, asimilables y otros*. Recuperado de <https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/Estudio%20de%20Tecnologi%CC%81as%20para%20Tratamiento%20RSD.pdf>

Reciclo Orgánicos, CCAP, ImplementaSur, & Global Methane Hub. (2023). Recomendaciones de políticas públicas para superar barreras a la mitigación del metano del sector residuos sólidos en seis países de Latinoamérica. <https://acortar.link/7g50si>.

Pizzoleo, J. (16 de octubre de 2023). Ministerio del Medio Ambiente lanza Sistema de Compensación para fomentar la reducción de contaminantes. *Reporteminero*

Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.

Rynk, R., Van de Kamp, M., Willson, G. B., Singley, M. E., Richard, T. L., Kolega, J. J., ... & Brinton, W. F. (1992). *On-farm composting handbook (NRAES 54)*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES).

Zero Waste Europe. (2021, 2 septiembre). France's Law for Fighting Food Waste - Zero Waste Europe. <https://zerowasteurope.eu/library/france-law-for-fighting-food-waste/>

## 6. ANEXOS

### 6.1. Anexo 1: Ejemplos de proyectos implementados en Chile

Sistema de manejo	Proyecto	Región	Fuente
Compostaje domiciliario en viviendas	Reciclo Orgánicos	Coquimbo	<a href="https://acortar.link/8ulOec">https://acortar.link/8ulOec</a>
		Valparaíso	
		Ñuble	
		Araucanía	
Compostaje domiciliario en colegios	Blumar Seafoods	Los Lagos y Aysén	<a href="https://acortar.link/XZDjHR">https://acortar.link/XZDjHR</a>
	Aramark	Metropolitana	<a href="https://acortar.link/RwxDSH">https://acortar.link/RwxDSH</a>
	Secretaría general ministerial del Medio Ambiente	Metropolitana	<a href="https://acortar.link/H36vel">https://acortar.link/H36vel</a>
Compostaje a gran escala	Santa Juana	Bió-Bío	<a href="https://old.santajuana.cl/reciclaje">https://old.santajuana.cl/reciclaje</a>
	Armony	Metropolitana	<a href="https://www.armony.cl/">https://www.armony.cl/</a>
	Ideacorp	Metropolitana	<a href="https://ideacorp.cl/division/residuos-organicos/">https://ideacorp.cl/division/residuos-organicos/</a>
	Zero Corp	Los Lagos	<a href="https://acortar.link/khxR2W">https://acortar.link/khxR2W</a>
	Talca	Maule	<a href="https://acortar.link/uki3EB">https://acortar.link/uki3EB</a>
Digestión anaeróbica	BioE	Maule	<a href="https://empresasbioe.cl/">https://empresasbioe.cl/</a>
	Ecoprial	Los Lagos	<a href="https://acortar.link/dbd13P">https://acortar.link/dbd13P</a>
	Genera 4	Metropolitana	<a href="https://genera4.cl/proyectos-de-cogeneracion.php">https://genera4.cl/proyectos-de-cogeneracion.php</a>
Maule			
Captura de gas de relleno sanitario	Santa Marta	Metropolitana	<a href="http://csmarta.cl/servicios-rm">csmarta.cl/servicios-rm</a>
	Copiulemu	Bío-Bío	<a href="https://acortar.link/zEeXlq">https://acortar.link/zEeXlq</a>
	Los Pinos	Bío-Bío	<a href="https://genera4.cl/soluciones-y-proyectos-construidos.php">https://genera4.cl/soluciones-y-proyectos-construidos.php</a>

### 6.2. Anexo 2: Minutas de entrevistas a actores clave

#### 6.2.1. Entrevista Municipalidad de Santa Juana

Fecha: 28 de julio de 2023

#### Participantes:

Entrevistado/a	MMA	ImplementaSur
Ana Belén Carrasco - Encargada de la planta de compostaje de Santa Juana	Cristina Figueroa	Graciela Hernández Montserrat Araya

#### Apuntes generales

- En febrero, un incendio afectó la sección de reciclaje de materiales inorgánicos y la de orgánicos se vio perjudicada debido a la producción.
- Actualmente, necesitan financiamiento para reactivarse. El Ministerio de Obras Públicas (MOP) visitó el lugar para evaluar la situación y se requerirá demolición. Por el momento, están operando en un galpón provisional, y la SEREMI de Salud les brindará apoyo con otro galpón temporal.

- La recolección de materiales reciclables mediante el método de puerta a puerta ha sido suspendida.

## Generales

### 1. ¿Consideran otra medida que permitan disminuir las emisiones del sector de residuos, específicamente de metano?

- Se menciona que se visitó la experiencia en La Pintana, donde tienen compostaje anaeróbico con aireación forzada. Ella destaca que para su municipio este enfoque resulta costoso, principalmente debido a que requiere volúmenes más grandes para ser rentable.
- Señala que enfrentan el desafío de lograr que toda la parte urbana de la municipalidad participe en el compostaje. Antes del incendio, lograban abarcar entre un **40% y 45% de cobertura, recolectando un promedio de 15 a 20 toneladas por semana**. Durante el invierno, esta cifra se reduce a la mitad.
- Menciona que algunas personas en la comunidad realizan compostaje en sus hogares de forma individual.
- Recientemente, una nueva empresa que se dedica a la **lombricultura** se estableció en la zona. Aunque es una empresa pequeña y está en sus primeras etapas, Ana admite que no está al tanto de la amplitud de las operaciones de esta empresa.

### 2. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?

- La **disponibilidad de recursos** es un factor crucial para el desarrollo de proyectos, especialmente para entidades públicas como la nuestra; los recursos financieros a menudo son una limitación significativa.
- Actualmente estamos solicitando una subvención del gobierno regional para cubrir los gastos de la planta.
- En 2021, gastamos **300 millones de pesos chilenos (CLP)** en diversos aspectos, incluido el personal, el combustible, los servicios públicos, para mantener los residuos orgánicos e inorgánicos en la planta.
- Continuamos presentando solicitudes para proyectos ambientales para adquirir maquinaria.
- Nuestra **escasez de camiones** se debe al interés de las áreas rurales en participar del proyecto, lo que ejerce presión sobre nuestra logística al carecer de los recursos necesarios.
- Estamos colaborando con el **proyecto FIC (Fondo de Innovación para la Competitividad)** de la Universidad de Concepción llamado "**Compost de Calidad para Santa Juana**". Evaluaron la composición de nuestro compost y nos asesoraron sobre su calidad. Prometieron ayudarnos a acelerar nuestro proceso de compostaje, que actualmente lleva de 7 a 9 meses, a 5-6 meses.
- A pesar de las preocupaciones sobre los niveles de metales en el compost, el FIC los encontró mínimos. La conductividad eléctrica elevada fue manejable y normal para este parámetro. Obtuvimos **compost Clase A**.
- El FIC ayudó a utilizar el compost instalando un invernadero para pruebas de cultivos, abordando problemas como la experiencia desafortunada de PRODESAL con la quema de cultivos debido a un uso incorrecto.

- Estos proyectos son financiados por el gobierno regional y cuentan con el apoyo de entidades privadas que asisten a las públicas.
- Los **recursos humanos son consistentemente escasos**.
- Se agradece la generosa fecha límite de dos años del FIC, ya que a menudo un año resulta insuficiente.
- Una alianza con **Global** y FESAN, la empresa de gestión de residuos resolvió la escasez de materiales al no cobrar tarifas de disposición por la disposición adecuada certificada de los residuos cafés.
- El mantenimiento de áreas verdes ayuda en la disposición de los residuos cafés, como también para particulares que buscan desechar este tipo de residuos.
- El agua es otra limitación; nuestra planta está ubicada en un vertedero ilegal, lo que prohíbe la extracción de agua. Aunque hay un arroyo cercano, no podemos utilizarlo. La escasez de agua retrasaba los procesos, pero nos las arreglamos con un camión aljibe y algunas fuentes locales. Actualmente, estamos irrigando con agua de lluvia utilizando un sistema artesanal, con planes para métodos más sofisticados en el futuro.

### 3. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.

- Al principio, no se mencionó la necesidad de un permiso para operar, pero **luego MINSAL les informó que sí era necesario**.
- Se señala que conoce otra **planta de compostaje que obtuvo su permiso al clasificarse como Relleno Sanitario**, lo que impuso requisitos operativos más estrictos.
- MINSAL solicitó varios documentos para la operación, con un énfasis significativo en las condiciones de los trabajadores debido a la naturaleza de trabajar con residuos. También **se exige el control de vectores**; ellos mantienen un control de vectores mensual, que está incluido en los costos operativos mencionados previamente.
- Se les culpó erróneamente de una **infestación de moscas que no fue causada** por su planta.
- Se menciona que no existen condiciones de financiamiento favorables para este tipo de proyectos. Intentaron modernizar su proceso de reciclaje, pero fueron excluidos por no ser lo suficientemente innovadores. Aunque el gobierno regional inicialmente financió la construcción de la planta, faltó apoyo posterior.
- Obtienen **2 millones de pesos chilenos por residuos inorgánicos**. El FIC está ayudando a encontrar formas de hacer rentable el proyecto y vender los productos derivados de los residuos orgánicos. Están evaluando posibles compradores y el modelo de ventas adecuado, considerando que otras municipalidades sí venden tales productos.
- Abordando las barreras técnicas, Ana menciona que aunque existen muchos manuales de compostaje, el **proceso depende en gran medida de la ubicación de la planta**. No existe un enfoque único para las plantas de compostaje. (Nota: Actualmente están experimentando con una proporción 2:1, en comparación con la proporción anterior de 3:1).
- Ella enfatiza la importancia de tener a alguien a cargo que sienta pasión por el tema y tenga **suficiente paciencia para ajustar los procesos** de la planta.
- Compartir experiencias entre municipalidades es crucial; la Municipalidad de San Antonio fue particularmente útil en este sentido.

- El FIC también identificó la necesidad de **documentar los procesos operativos** de la planta para garantizar la transferencia de conocimiento, especialmente considerando la tendencia de los funcionarios públicos a rotar con frecuencia.

#### 4. ¿Qué factores consideras que podrían perjudicar la eficacia de la medida?

- Se menciona que, sin el componente social, nada funciona. En su caso, la disponibilidad de materia prima depende de si las personas están dispuestas a reciclar o no, y esto está estrechamente relacionado con el aspecto económico.
- Ellos han organizado "salidas a terreno" para **acercar el funcionamiento de la planta a las personas**.
- Subrayan la importancia de la **educación ambiental**, ya que aunque los niños reciben esta formación, son los adultos los principales responsables en los hogares.
- Otras municipalidades han expresado su interés en proyectos de compostaje, pero se ven limitadas por la **falta de espacio necesario para llevarlos a cabo**. Esto a menudo se debe a los mismos requisitos de ubicación que se aplican a los rellenos sanitarios.

#### 5. ¿Cuáles son los co-beneficios de la implementación de estos sistema de manejo?

- Ahora, Santa Juana es reconocida por su enfoque ecológico, lo que ha permitido una nueva imagen y reactivación del turismo, impulsando la economía local.
- Además, las personas pueden beneficiarse de un **fertilizante más natural**.
- La comunidad también se siente comprometida con el proyecto y lo considera parte de su identidad.
- Desde la perspectiva de la municipalidad, este proyecto también les ayuda a **ahorrar costos** de disposición en rellenos sanitarios (se estima en **\$14,500 por tonelada**). Esta es una consideración crucial ya que el espacio en el relleno sanitario está agotándose y no podrán seguir depositando residuos allí.
- El municipio está contemplando la realización de proyectos que muestren los ahorros generados por la gestión de residuos orgánicos, como por ejemplo, demostrar que el compost producido se utiliza para mantener las áreas verdes.

## 6.2.2. Entrevista Andrea Arriagada

Fecha: 2 de agosto de 2023

### Participantes

Entrevistado/a	MMA	ImplementaSur
Andrea Arriagada – Socia de Geociclos	Cristina Figueroa	Graciela Hernández Catalina Vattuone

### Apuntes generales

- Andrea dejó de formar parte “formalmente” de Geociclos y ahora trabaja en el MMA en el Apoyo al financiamiento y ejecución de las plantas que dejó el Programa de Reciclo Orgánicos.
- Su especialización ha sido mayoritariamente RSD.
- Cuando sale la parte orgánica de los residuos “se limpia”.

### Preguntas

#### 1. ¿Consideran otra medida que permitan disminuir las emisiones del sector de residuos, específicamente de metano?

- Andrea está participando en un curso de Beca Chile, donde se ha visto impactada por los datos que resaltan la contribución del cartón en las emisiones de CO2 equivalentes en rellenos sanitarios. Considera relevante establecer una línea de reciclaje específica para el cartón.

#### 2. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?

- Como país, hemos experimentado un notable avance en este ámbito. Al principio, el compostaje se consideraba más como un juego que como un enfoque técnico. Sin embargo, esta percepción ha cambiado y en general, los municipios ahora comprenden que el compostaje es una estrategia eficaz.
- El colapso de los rellenos sanitarios ha allanado el camino para la adopción del compostaje.
- Se han introducido nuevas líneas de financiamiento.
- Sería muy beneficioso lograr una modificación en el reglamento que permita cambiar la condición de ingreso al SEIA.
- Ahora que contamos con mediciones más precisas sobre el impacto real.
- Existe una disposición para aprobar proyectos de este tipo, especialmente cuando el titular es una entidad pública (como un municipio). Por lo general, estos procesos son más ágiles en comparación con otras tipologías de proyectos. No obstante, esto no siempre es aplicable a proyectos privados.
- La existencia de mesas de discusión y trabajo relacionadas con los residuos.

#### 3. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.

##### a. Institucionales/ de gobernanza,

- En muchos municipios, la falta de recursos y la falta de colaboración y comunicación entre los diferentes departamentos dificultan la obtención de permisos.

#### **b. Técnicas y legales**

- El proceso de obtención de permisos, incluyendo el SEIA, es extremadamente complejo. Por ejemplo, en el caso de una planta de compostaje, se requieren permisos de salud, agua potable, alcantarillado, aprobación del proyecto por la sanitaria, permiso de edificación, aprobación de todos los permisos para acceder a financiamiento, permisos de vialidad, entre otros. Todo este proceso puede llevar hasta tres años, como se observa en el ejemplo de Santa Juana.
- Los proyectos de este tipo suelen ser de largo plazo, lo que agiliza los procesos en la medida que se realice un lobby efectivo.
- La propiedad de la tierra y el acceso al terreno deben ser de carácter público.
- La Ley de Municipalidades 2 presenta un desafío: los municipios deben encargarse de los residuos sólidos municipales sin contar con una responsabilidad compartida.
- La implementación de ordenanzas más rigurosas en este ámbito por parte de los municipios es una tarea compleja, ya que existe reticencia a descontentar a los vecinos.
- Existe una diferencia entre las modificaciones propuestas al reglamento SEIA (DS 40) que establecen una capacidad de 20 ton/día y las propuestas por el Ministerio de Salud, que buscan un límite de 30 ton/día.
- Actualmente, las plantas de compostaje están evaluadas como rellenos en el SEIA.
- El literal o.5 se refiere a residuos domiciliarios y está limitado a un rango de 5.000 a 20 ton/día según el reglamento propuesto en consulta pública. En el rango de 20 a 100 ton/día, no se aplica si se cumple con la guía del ministerio (la cual está siendo evaluada para un rango de 30 a 100, no 20 a 100).
- El literal o.8 aborda residuos industriales, pero no queda claro si se refiere a la recepción o al tratamiento de un volumen específico (Andrea no tenía claridad sobre el valor establecido en este caso).
- La incertidumbre en torno a estos cambios y artículos podría considerarse como una barrera.
- Algunas plantas de compostaje operan de manera no regulada, como ocurre en La Pintana, Viña del Mar y San Antonio.

#### **c. Culturales, territoriales-ubicación, y de logística, y**

- Si bien el compostaje domiciliario puede implementarse en cualquier comuna, la distancia geográfica en algunas zonas representa un desafío que podría superarse mediante la duración de los proyectos.
- Abordar las diferencias culturales requiere una mayor cantidad de visitas y un enfoque de acompañamiento.
- La labor de diseño varía. Es crucial conocer el territorio para lograr una apropiación cultural efectiva.

#### **d. Económicas/financieras.**

- Los costos de ingresar al sistema también son un factor a considerar.

- Para que las plantas de compostaje obtengan financiamiento, deben ser evaluadas socialmente y ser rentables. La rentabilidad está relacionada con la capacidad de tratamiento, aunque actualmente algunas plantas reducen su capacidad para evitar el proceso de entrada al SEIA.

#### **4. ¿Qué consideras que debería ocurrir para que estas barreras se superen o reduzcan?**

- Es fundamental que los proyectos dejen capacidades instaladas en el municipio.
- El proyecto debe contemplar la cosecha de compost, abarcando todas las operaciones unitarias relacionadas con esta tarea.
- Se sugiere que el proceso de obtención de permisos sea llevado a cabo por la consultora con el respaldo de la municipalidad, considerando la complejidad y las diferencias en recursos.

#### **5. ¿Cuáles son los co-beneficios de la implementación de estos sistemas de manejo?**

- Tanto en el compostaje domiciliario como a gran escala, y en el reciclaje en general, se promueve el bienestar humano y la sensibilización.

#### **Específicas para desarrolladores**

#### **6. ¿Cuál es la inversión necesaria para la implementación de un proyecto? ¿Qué incluye esa inversión?**

- En los proyectos de compostaje domiciliario, el proceso, independientemente de quién lo implemente, debe ir acompañado de un seguimiento constante. Para estimar la inversión necesaria, la dificultad radica en definir la cantidad óptima de visitas requeridas. Se sugiere que este proceso tenga una duración mínima de 8 meses y un máximo de 18 meses, siendo un año una cifra adecuada. Además, otro factor que influye en los costos es el territorio donde se lleva a cabo el proyecto.

### 6.2.3. Entrevista Economía Circular MMA

Fecha: 3 de agosto de 2023

#### Participantes

Entrevistado/a (MMA)	MMA	ImplementaSur
Pablo Fernandois – Coordinador del Proyecto Comunas Circulares Norma Plaza –Profesional Proyecto Comunas Circulares	-	Graciela Hernández Catalina Vattuone

#### Preguntas Generales

##### 1. ¿Consideran otra medida que permitan disminuir las emisiones del sector de residuos, específicamente de metano?

- Probablemente el impacto del compostaje domiciliario sea bajo desde la perspectiva de la reducción de residuos, pero podría tener un impacto significativo en términos de transporte.
- Consideran que el compostaje domiciliario es una solución de implementación sencilla y que los municipios están interesados en ello. Creen que debería ser parte de las soluciones.
- Desde el sector privado (agroindustria o industria en general), les cuesta visualizar nuevas medidas porque en general cualquier iniciativa termina siendo algo común (por ejemplo, mosca soldado). Independientemente de si son lodos, crudos u otros, terminarán siendo manejados por tecnologías más convencionales como el compostaje y la digestión anaeróbica.
- En relación a la digestión anaeróbica, existen entre 2 o 3 proyectos en el SEIA en este momento. Están enfocados en la industria salmonera y agroindustrial.

##### 2. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?

- Capacidades técnicas: Las capacidades técnicas difieren entre el sector público y privado. Es evidente que en el sector público es necesario fortalecer estas capacidades. Aquellos que diseñan proyectos en el ámbito público, como las municipalidades, requieren capacidades adicionales a las habituales. Cuando un proyecto avanza al nivel del gobierno regional, también debe contar con personas capacitadas en el tema. Además, si el proyecto accede al sistema de inversiones, nuevamente se necesitan expertos en la materia. Todo el ecosistema debería contar con un nivel mínimo de conocimiento para entender, opinar y evaluar. Además, los requisitos varían según la región. A pesar de todo, se ha avanzado en este aspecto. El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) ofrece cursos que tratan sobre tecnologías de valorización de residuos orgánicos. La Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE) ha realizado diplomados dirigidos a funcionarios públicos en este tema. Además, en colaboración con el Ministerio de Salud (Minsal) y la SUBDERE, existe una mesa de trabajo a nivel local que busca incrementar los seminarios en el área. La Estrategia Nacional de Recursos Orgánicos (ENRO) y la Ley de Fomento al Reciclaje han generado interés y movilización en este aspecto.
- ANCUD es un ejemplo destacado, ya que se enfrentó a una crisis y tuvo que actuar con celeridad en todos los aspectos relacionados con los residuos.

- En el sector privado, ya existen capacidades establecidas. La crisis de residuos también los impacta.

### 3. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.

#### a. Institucionales/ de gobernanza

- La falta de conocimiento técnico necesario es una limitación.
- La cantidad de profesionales requeridos para implementar proyectos de esta envergadura es significativa. La logística para lograr la separación en origen demanda muchos recursos humanos para tareas como fiscalización, sensibilización, diseño, ideación, obtención de recursos, entre otros.
- Para el desarrollo de iniciativas y medidas de este tipo, es esencial contar con autoridades locales y regionales que comprendan su importancia y no las enfrenten desde un enfoque político desde el primer día.
- No existe una obligación legal de valorizar. La única obligación es recolectar y transportar los residuos.
- La larga permisología es un problema recurrente.

#### b. Técnicas y legales:

- Aunque se está trabajando en un marco regulatorio claro, aún queda trabajo por hacer, ya que el marco actual es algo limitado.
- Un Decreto Supremo regula el manejo de los lodos procedentes de frutas y hortalizas. Recientemente, se ha evaluado la posibilidad de aplicar esto también a vinos y cervezas.
- La disponibilidad de terrenos para que las municipalidades implementen medidas y el acceso a financiamiento para adquirir esos terrenos son desafíos.

#### c. Culturales, territoriales-ubicación, y de logística

- Los residuos se desplazan largas distancias debido a la falta de soluciones locales, lo que resulta en mayores emisiones. Por ejemplo, a Ancud le cuesta 1,5 millones mover un camión recolector con aproximadamente 10.000 kilos de residuos, y el viaje de ida y vuelta lleva alrededor de 1,5 días.

#### d. Económicas/financieras.

- A nivel privado, la **licencia social** puede ser un obstáculo para la inversión. Esto lleva al establecimiento de logísticas de transporte más largas, lo que aumenta las emisiones.
- Existe un déficit estructural en la recaudación de los municipios en relación con el derecho a aseo. El costo del sistema de valorización de residuos no se traslada adecuadamente a los usuarios.
- En ocasiones, es más económico desecharlo todo en lugar de implementar medidas de valorización.
- El sistema nacional de inversión exige rentabilidad social en los proyectos (costo-eficiencia, costo-beneficio, etc.). Se ha identificado que esta rentabilidad es difícil de lograr cuando se

manejan bajas cantidades de residuos. Por eso, estas plantas están condicionadas al Plan Maestro de Valorización (PMV), que tiene un límite de financiamiento.

- La metodología propuesta por la guía para la evaluación social de proyectos de valorización de residuos orgánicos no resulta práctica en muchos casos.

#### **4. ¿Qué consideras que debería ocurrir para que estas barreras se superen o reduzcan?**

- La modificación del reglamento del SEIA para flexibilizarlo ha sido implementada, en concordancia con otras exigencias sanitarias, bajo la premisa de que los proyectos deben cumplir con regulaciones específicas.
- Además, el Reglamento Sanitario de Plantas de Compostaje también es un aspecto a considerar en este contexto.

#### **5. ¿Qué factores consideras que podrían perjudicar la eficacia de la medida?**

- La mala calidad de la separación en origen puede estar relacionada con cuestiones sociales, lo cual podría aumentar los costos operativos de las plantas.
- Esta situación podría repercutir en el costo de comercialización de los productos resultantes del proceso.
- La falta de buenas prácticas en la operación puede tener un impacto negativo en la percepción social, lo que podría llevar a la paralización de proyectos. Por ejemplo, un proyecto en el norte que fue diseñado y construido con fondos públicos, pero luego se entregó para su operación a una entidad privada. El operador, para reducir costos, utilizaba menos el compactador (máquina) que consume mucho diésel, lo que afectaba la vida útil del relleno.
- Otro ejemplo similar se relaciona con los olores. Algunas plantas reciben residuos almacenados durante 30-40 días, esperando llenar los contenedores, lo que genera problemas de malos olores.
- En general, también surgen problemas operativos que provienen del diseño inicial de los proyectos.
- Salirse de los límites de la autorización sanitaria, es decir, no cumplir con las regulaciones establecidas, puede tener consecuencias graves. Un caso concreto es el de Santa Marta, donde el relleno colapsó debido a la recepción de residuos para los cuales no estaba diseñado ni aprobado.

#### **6. ¿Cuáles son los co-beneficios de la implementación de estos sistemas de manejo?**

- Sensibilización en hogares y su repercusión en la vinculación con otras temáticas ambientales.
- Restablecimiento del tejido social, especialmente en soluciones comunitarias. La cooperación que se da en soluciones descentralizadas.
- Generación de energía en el caso de la digestión anaeróbica.
- Recirculación de nutrientes en suelos (agroindustria, pero también de suelos desérticos).
- Servicios ecosistémicos variados relacionados con la recuperación de suelos en general.
- Nuevas oportunidades de trabajo y emprendimientos de pequeña escala.

#### 6.2.4. Entrevista ENC Energy

Fecha: 3 de agosto de 2023

##### Participantes

Entrevistado/a	MMA	ImplementaSur
Gonzalo Rojas (Gerente General)	-	Graciela Hernández Catalina Vattuone

##### Apuntes generales

- Ingresó al área con una perspectiva centrada en Waste to Energy.
- Recientemente, la SMA emitió una notificación a Armony debido a problemas de olores.
- Considera que las tres medidas pre-evaluadas son complementarias.

##### Preguntas específicas para desarrolladores

1. ¿Cuál es la capacidad de tratamiento/ valorización de residuos del proyecto? ¿Desde qué capacidad de tratamiento estos proyectos son rentables en Chile? Es decir, ¿cuál es su escala mínima en el país?

- Tanto para rellenos como para biodigestión, el mínimo de generación es aproximadamente 1 MW debido al nivel de inversión requerido. En términos de inversión, se necesitan alrededor de 900 mil dólares por megavatio de energía solar, 2 millones por megavatio en un relleno y 6 millones por megavatio en biodigestión.
- En el caso de los rellenos, con aproximadamente 1 millón de toneladas de residuos acumuladas, ya se puede generar 1 megavatio de energía.
- En un relleno, la capacidad de generación podría alcanzar hasta 8 millones de kilovatios.
- La generación de energía a partir de residuos es continua debido a que el proceso de degradación también es continuo.

2. ¿Cuánto es el costo de operación y mantenimiento? ¿Cuál es la inversión necesaria para la implementación de un proyecto de digestión anaeróbica y de captura de gas?

- Para llevar a cabo la captura de gas en un relleno sanitario, se requieren reinversiones. Los **costos operacionales oscilan alrededor de los 40 a 45 dólares por MWh**. El mantenimiento del motor es una de las partidas más costosas debido a que el biogás producido en un relleno sanitario es de naturaleza contaminante y debe someterse a un riguroso proceso de depuración, lo que implica un mantenimiento intensivo para evitar su deterioro rápido.
- Es esencial que quienes operan el relleno comprendan la estrecha relación entre los proyectos de energía y los procesos que llevan a cabo. Estos no son tan diferentes como pudiera parecer. Factores como la acumulación de lixiviados y la conservación de las tuberías, por ejemplo, pueden influir en la producción de biogás. Una gestión eficiente puede incluso prolongar la vida útil del relleno sanitario.
- En el caso de la biodigestión, el modelo de negocio adquiere aún más relevancia debido a los mayores costos involucrados (alrededor de 5-6 millones de dólares por megavatio, en comparación con los 2 millones de un proyecto de relleno sanitario). La optimización del proceso

de producción conlleva la reducción de costos, y esta tendencia está siendo observada en la actualidad. Esta eficiencia operativa contribuye a la viabilidad de los proyectos.

### **3. ¿Cuáles son los modelos de negocios más exitosos en el país?**

- Aproximadamente el 80% de los rellenos sanitarios en Chile tienen la capacidad potencial de generar energía o capturar biogás de manera activa.
- Existe una falta de normativas exigentes que obliguen al menos a la combustión de los gases provenientes de los rellenos sanitarios, y muchas entidades ven esta cuestión como un costo.
- Los rellenos sanitarios ubicados en la zona centro sur del país, que reciben mayores volúmenes de residuos, carecen de requisitos regulativos al respecto.
- Durante la elaboración de un proyecto, se construye una curva de producción de biogás para establecer la línea base de la quema, lo que facilita una mejor gestión.
- La rentabilidad de los proyectos no siempre depende exclusivamente del precio de la energía. La cogeneración, como la generación de calor, puede mejorar la viabilidad económica (como en el caso de los rellenos sanitarios). Esto se relaciona con otras variables, como las necesidades de sectores cercanos que puedan utilizar el calor producido. En este contexto, es crucial lograr un equilibrio que se ajuste al modelo de negocio.
- En el caso de la biodigestión, el modelo de negocio cobra aún más importancia debido a los mayores costos asociados (alrededor de 5-6 millones de dólares por MW, en comparación con los 2 millones de un proyecto de relleno sanitario).
- En el proceso de biodigestión anaerobia, mantener una relación adecuada de carbono a nitrógeno (C:N) y una temperatura óptima (aproximadamente 35-40°C dentro del biodigestor) son aspectos esenciales. No todos los residuos son igualmente adecuados; por ejemplo, el purín de cerdo u otros residuos procesados pueden no ser tan beneficiosos debido a que ya han sido aprovechados en términos de energía. En la agroindustria, los purines suelen contener un alto contenido de agua debido al proceso de lavado, lo que limita su utilidad. En contraste, los residuos ricos en grasas y proteínas, como los desechos de mataderos, queserías y productos lácteos, son más idóneos.
- Actualmente, se establecen diversos acuerdos entre los generadores de residuos y los productores de biogás. Una estrategia atractiva es el arrendamiento de terrenos y la entrega de energía a tarifas más bajas para abastecer la planta de energía.

#### **Preguntas generales**

### **4. ¿Consideran otra medida que permitan disminuir las emisiones del sector de residuos, específicamente de metano?**

- En la actualidad, se está trabajando en el tratamiento de los lixiviados provenientes de los rellenos sanitarios.
- Paralelamente, se están llevando a cabo investigaciones en el ámbito de la pirólisis.
- Además, se están explorando las posibilidades de desarrollar biocombustibles de tercera generación.

### **5. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?**

- La viabilidad de la implementación radica en la rentabilidad del negocio, impulsada por los precios de la energía.
- Los tratados de libre comercio también contribuyen a la viabilidad al reducir los impuestos de importación en la instalación de proyectos.
- La presencia limitada de competidores y actores en el campo brinda mayor flexibilidad en la operación.
- En la actualidad, existen capacidades técnicas adecuadas para la ejecución de proyectos. Aprendiendo de experiencias pasadas, es esencial diseñar biodigestores que se adapten a las características específicas de los residuos que se tratarán.

## **6. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.**

### **b. Técnicas y legales**

- La carencia de exigencias normativas que requieran, al menos, la quema de gases de los vertederos.
- Ausencia de guías técnicas que contribuyan a establecer las normativas, como por ejemplo, el porcentaje de gas que debe gestionarse.

### **c. Culturales, territoriales-ubicación, y de logística**

- Identifica como su principal desafío la dirección y costos del transporte de residuos.
- Se demandan cambios conductuales en la población.

### **d. Económicas/financieras.**

- La comercialización de productos de compostaje presenta dificultades significativas, variando ampliamente según la región.
- Carencia de incentivos tributarios para el sector privado.
- Escasez de incentivos en general.
- Tanto la banca pública como la privada tienen un desconocimiento de los sistemas de manejo asociados a la gestión de residuos, centrándose en energías eólica y solar. Las garantías solicitadas encarecen las deudas.
- ¿Cómo podría mitigar, por ejemplo mediante proyectos de uso de biogás, si el pago por tonelada es muy bajo?

## **7. ¿Qué consideras que debería ocurrir para que estas barreras se superen o reduzcan?**

- Los Parques/Ecoparque son proyectos de gestión integral en torno a vertederos que permiten destacar los beneficios adicionales.

## **8. ¿Qué factores consideras que podrían perjudicar la eficacia de la medida**

- Aunque la tecnología está disponible, en general no se logra operar a capacidad completa. Falta una homologación de los proyectos a las realidades locales. Estos procesos han ido evolucionando y se ha aprendido a medida que avanzan.
- Los purines de la agroindustria llegan en un estado muy líquido para su uso en la producción de energía a través de la biodigestión.

## **9. ¿Cuáles son los co-beneficios de la implementación de estos sistemas de manejo?**

- En el contexto de la digestión anaeróbica, el digestato es un aspecto destacado. Para introducir los residuos orgánicos en un biodigestor, es necesario contar con una mezcla que sea líquida. Una vez que se genera el biogás, queda un volumen residual conocido como digestato, que puede ser aprovechado en otras industrias para mejorar la calidad de los suelos, incluso en aquellos de clase 5 y 6.
- En un proyecto que maneje 25,000 toneladas al año, aproximadamente 18,000 m<sup>3</sup> del resultado final son en estado líquido. Esta fracción líquida presenta una alta concentración de nutrientes, como nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), lo que la hace valiosa para su uso en campos agrícolas. La concentración de nutrientes en el líquido del digestato es especialmente beneficiosa.
- La técnica de los filtros prensa permite separar la fracción sólida y la fracción líquida del digestato. Los sólidos resultantes pueden ser comercializados como abono, mientras que el líquido puede utilizarse para riego. Sin embargo, actualmente los ingresos por la venta de digestato no se evalúan en los proyectos y en general se regala.
- Aunque existe una norma para el tratamiento del digestato, que incluye su pasteurización previa al ingreso al biodigestor, no hay directrices claras para certificar su calidad. En algunos casos, las autoridades han solicitado que se trate el digestato como si fuera otro tipo de residuo.
- En la práctica, la mayoría de los digestatos se están utilizando sin costo alguno. Durante el invierno y las épocas de lluvia, es probable que se acumulen y posteriormente se utilicen en los meses de verano.

### 6.2.5. Entrevista Santa Marta

Fecha: 4 de agosto de 2023

#### Participantes

Entrevistado/a	MMA	ImplementaSur
Andrea Viglino – Área comercial Alberto Tagle - Gerente General	-	Graciela Hernández Catalina Vattuone

#### Apuntes generales

- Hace aproximadamente 20 años, Santa Marta comenzó su trayectoria con una estación de transferencia y un relleno sanitario en la Región Metropolitana (RM). Hace 3 años, ampliaron su operación con una planta de compostaje, relleno y separación en Antofagasta.
- En la Región Metropolitana también desarrollaron una planta de producción de energía de 20MWh, la cual convierte el biogás en energía utilizable.
- En la actualidad, la energía generada se comercializa en el mercado voluntario.
- Como resultado de estas iniciativas, Santa Marta ha logrado una reducción estimada de alrededor de 2.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

#### Preguntas específicas para desarrolladores

##### 1. ¿Cuáles son los modelos de negocios más exitosos en el país?

- La necesidad de buscar ingresos adicionales llevó a considerar la planta de energía como una opción. En ese momento, los costos marginales de la energía estaban elevados, lo que resultaba conveniente.
- Las plantas de generación de energía subsidiaron el negocio de residuos, siendo su funcionamiento dependiente de las tarifas eléctricas.
- Los municipios enfrentan limitaciones de recursos económicos.
- La rentabilidad de los rellenos sanitarios es mayor a medida que su tamaño aumenta, lo cual está fuertemente vinculado a su ubicación geográfica.
- Los municipios tienden a elegir rellenos cercanos para evitar altos costos de transporte.
- Originalmente, implementaron un proyecto MDL con bonos de carbono cuyo valor era significativamente mayor en comparación a los precios actuales, que representan solo el 10% de lo que solían ser en 2007 al inicio de la operación.
- La digestión anaeróbica sigue siendo considerablemente más económica que el compostaje, costando la mitad.
- El costo de la valorización radica en la separación de los residuos orgánicos e inorgánicos.
- La cantidad de residuos orgánicos recibidos ha disminuido.
- Aunque reciben residuos orgánicos de la zona sur de Santiago, la proporción es menor a lo esperado (25 o menos). Esto ha resultado en pérdida de biogás debido a condiciones más secas con menor generación de gas debido a la falta de humedad.
- La capacidad de la planta de compostaje es limitada (20 ton) debido a su naturaleza prototipo.
- Recientemente, recibieron residuos de la planta Armony después de su cierre temporal.
- La venta del compost no resulta muy atractiva.

- Existen barreras técnicas que han afectado el proceso.

## **2. ¿Cuánto es el costo de operación y mantenimiento? ¿Cuál es la inversión necesaria para la implementación de un proyecto de digestión anaeróbica y de captura de gas?**

- Aún no existe un mercado maduro que defina a los compradores de los materiales reciclados, lo que representa un gran problema en el campo del reciclaje.
- La planta fue evaluada con un costo marginal de 85 dólares por megavatio hora (MWh).
- El costo para generar un megavatio hora es de 30 dólares (MWh)
- En Antofagasta, cada tonelada de material reciclado representa una pérdida económica.

## **3. ¿Cuál es la capacidad de tratamiento/ valorización de residuos del proyecto? ¿Desde qué capacidad de tratamiento estos proyectos son rentables en Chile? Es decir, ¿cuál es su escala mínima en el país?**

- Santa Marta redujo aproximadamente 1,5 millones de toneladas de COeq (2007 al 2011) a través de la quema.
- Durante un período de generación de energía de 10 años, se redujeron alrededor de 1,6 millones de toneladas de COeq.
- Actualmente, reciben 100.000 toneladas al mes.
- En total, han recibido 12 millones de toneladas en 10 años.

### **Preguntas generales**

## **4. ¿Consideran otra medida que permitan disminuir las emisiones del sector de residuos, específicamente de metano?**

- En lugar de considerar más soluciones, se debería erradicar microbasurales y vertederos. Hasta el 2022, aún existían casi 90 sitios de disposición final en comparación con 72 rellenos sanitarios (no es lo mismo unidades que cantidad de residuos, en ese caso la proporción es inversa).
- En Europa, la mayor parte de la fracción orgánica se somete a biodigestión, mientras que los procesos térmicos se utilizan para lo inorgánico. Allí se lleva a cabo la gasificación de los residuos, se utilizan digestores con biogás más puro y eficiente, y se realizan compostajes de alta calidad.
- Debería darse prioridad a la digestión como el proceso predominante.

## **5. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?**

- Debido a las NDC y las LMCC, las empresas de gas estarán obligadas a adoptar matrices más renovables. Esto implica que habrá un comprador para esos productos. El compostaje no tiene la misma dinámica.

## **6. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.**

### **a. Institucionales/ de gobernanza**

- En lugar de fiscalizar los vertederos y microbasurales, las autoridades destinan recursos para fiscalizar a las propias plantas de tratamiento.

- Los municipios no pagan las contribuciones debidas. En la práctica, la población no aporta mucho dinero y el fisco contribuye con una cantidad mínima. Apenas un cuarto de lo necesario para el tratamiento de los residuos.
- Las mesas de trabajo no son efectivas, ya que se enfocan únicamente en cumplir con formalidades en lugar de abordar los problemas reales.

#### **b. Técnicas y legales**

- Falta de conocimiento técnico en las instituciones públicas (municipales).
- Falta de apoyo y asesoramiento legal, no solo en el SEIA.
- En las regiones, los niveles de conocimiento son considerablemente más bajos.
- Falta de estandarización en la aprobación de proyectos.

#### **c. Culturales, territoriales-ubicación, y de logística**

- El mayor costo de la valorización es la separación en origen, pero la educación sobre este proceso no está presente en la población.

#### **d. Económicas/financieras.**

- La tarifa municipal es un problema. Se puede cobrar un poco más a clientes privados, pero no en exceso.
- Este servicio es fundamental en el presupuesto municipal. Para municipios con recursos limitados, aumentar las tarifas es complicado.
- El Gobierno Regional Metropolitano (GORE RM) está proponiendo un estándar a nivel regional que resulta interesante y útil.

### **7. ¿Qué factores consideras que podrían perjudicar la eficacia de la medida**

- Costos de operación por la mantención de los equipos y la operación.
- Licencia social. Los problemas con las comunidades aledañas pueden afectar el proyecto.
- El plazo de los contratos. Si son muy largos, pueden surgir cambios legislativos en el medio (plazos promedio de 4 a 5 años, anteriormente eran de 20 años).
- El proyecto actual, certificado por GS, no podría obtener la certificación si no trabajaran con la comunidad. Es necesario contar con certificaciones de ODS.

### **8. ¿Cuáles son los co-beneficios de la implementación de estos sistemas de manejo?**

- Beneficio ambiental y cumplimiento de las NDC.
- A medida que se difunden, mejora la percepción de su empresa y de las empresas en general. Aún hay quienes confunden un relleno sanitario con un vertedero.

### 6.2.6. Entrevista Armony

Fecha: 7 de agosto de 2023

#### Participantes

Entrevistado/a	MMA	ImplementaSur
José Manuel Rivera – Gerente General de Armony		Graciela Hernández Catalina Cerón

#### Apuntes generales

- Gestión de residuos orgánicos tecnológicamente sustentables (compost) para jardinería, agricultura. Con experiencia de 40 años.
- Aprovechan residuos complejos que son enterrados, gestionándolos de manera eficiente y desviándolos de los rellenos a sus plantas de compostaje. Los lodos de la agroindustria deben tratarse rápidamente por la alta carga orgánica.
- Cobran menos que los rellenos sanitarios (para atraer residuos), hoy ya han podido cobrar más dependiendo de los residuos, como lodos (agroindustria, vectores riesgosos). Pueden provocar deslizamientos e incendios.
- Impactos positivos: desviación de residuos y mitigación de CO2 a través de la reforestación.
- Se necesita apoyo de los ministerios, darles oportunidades ya que la rentabilidad es baja, y la mayoría son cofinanciadas. Se considera infraestructura crítica para la sociedad.

#### Preguntas

#### 1. ¿Consideran otra medida que permitan disminuir las emisiones del sector de residuos, específicamente de metano?

- Compostaje

#### 2. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?

- Mayor conocimiento de lo que se hace en los procesos de compostaje (que antes)
- Altos niveles de CO2 y alta producción de metano en los rellenos sanitarios, genera la urgencia y la priorización de estas medidas.

#### 3. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.

- Normativas, falta de financiamiento privado, un mayor conocimiento en el proceso de compostaje.

##### a. Institucionales/ de gobernanza

- Mayor apoyo del Estado, subvención, reformas tributarias, impuestos, patentes.

##### b. Técnicas y legales:

- Normativa, semejanza con relleno sanitario la limita innecesariamente. Es lo más importante por resolver.

- Hay conocimiento técnico y capacidad para poder realizar compostaje industrial. Subsiste de manera completamente privada, por lo que se consideran un muy buen ejemplo y modelo de negocio.

### **c. Culturales, territoriales-ubicación, y de logística**

- Desconocimiento y mitificación de plantas de compostaje.

#### **4. ¿Qué factores consideras que podrían perjudicar la eficacia de la medida?**

- Riesgo social, nadie lo quiere tener cerca. A pesar de que tenga un impacto positivo.

#### **5. ¿Cuáles son los co-beneficios de la implementación de estos sistemas de manejo?**

- La implementación de estas medidas conlleva la generación de empleos con impacto ambiental positivo.
- Actualmente empleamos a 100 trabajadores de manera directa y contribuimos al empleo total de 200 personas.
- Nuestros esfuerzos también contribuyen a la preservación y salvaguarda del planeta.

#### **6. Modelos de negocios productivos y rentables en el país**

- La capacidad de procesamiento es de 100.000 toneladas por año o 8.000 toneladas por mes.
- Nuestro enfoque en la calidad del producto generado es fundamental para nuestro modelo de negocio. La rentabilidad proviene de la venta exitosa de este producto, lo que nos permite reducir las tarifas de disposición y mantenernos competitivos.
- Nuestro enfoque en la calidad del producto es clave para nuestro modelo de negocio. Al convertirlo de un pasivo a un activo de alta calidad, logramos una rentabilidad sólida y podemos ofrecer tarifas más bajas que las de los rellenos sanitarios.
- La demanda del producto también es crucial, con una necesidad de alrededor de 30,000 a 40,000 toneladas de compost por mes.
- A nivel ambiental, el compostaje siempre resulta más beneficioso que la disposición en rellenos sanitarios, aunque no siempre sea económicamente más rentable.
- Los tamaños de nuestras operaciones dependen del tipo de tecnología utilizada. Por ejemplo, en Pto Varas, operamos una instalación que procesa 10 toneladas al mes y es altamente efectiva.
- Nuestros estudios abarcan una variedad de tipos de compost y dependen del uso final deseado, lo que nos permite generar el producto óptimo para cada aplicación.

#### **7. Inversión necesaria para implementar el sistema de manejo**

- La elección del sistema de manejo depende de las cantidades a procesar. Esto implica la incorporación de sistemas de aireación para la materia orgánica, combinados con una mezcla de microbiología, agua y otros elementos que activan las pilas de compost.
- En nuestra continua búsqueda por mejoras, estamos en proceso de implementar una tecnología avanzada de aireación forzada, junto con sistemas de lavado de gases y biofiltros. Esta inversión está estimada en 2-3 millones de dólares.

- Para una planta del mismo tamaño, pero con la nueva tecnología, el costo se sitúa en el rango de 7-10 millones de dólares. No obstante, se requiere un análisis más detallado para obtener una estimación precisa.

#### **8. ¿Qué incluyen los costos de operación y mantención?**

- Mantención de máquinas
- Personal, Petróleo, agua

#### **9. Potencial de mitigación**

- Con la nueva tecnología se espera llegar a un 100% de tratamiento.

### 6.2.7. Entrevista GMH

Fecha: 7 de agosto de 2023

#### Participantes

Entrevistado/a	MMA	ImplementaSur
Carolina Urmeneta - Directora de Programa Residuos y Economía Circular		Graciela Hernández Daniela Bermúdez Catalina Cerón

#### Preguntas

##### 1. ¿Consideran otra medida que permitan disminuir las emisiones del sector de residuos, específicamente de metano?

- En relación al tratamiento de aguas servidas, existe falta de claridad en las responsabilidades asignadas por el MMA. Similarmente, esta ambigüedad se extiende a los residuos agroindustriales y de la silvicultura. Las emisiones de metano derivadas del lodo son un aspecto a considerar, y sería apropiado incluir en el plan la digestión del lodo como parte integral.
- Una estrategia clave es la reducción de las pérdidas de residuos, especialmente en las redes de alimentos que terminan en rellenos. **Incorporar la cadena productiva**, incluyendo acciones municipales, contribuiría a este objetivo.
- La realización de modelaciones para la recuperación de alimentos, ya sea para consumo animal o para tratamientos específicos, resulta esencial.
- La codigestión anaerobia con residuos agroindustriales puede ser una alternativa efectiva a considerar.
- La interacción con organizaciones como Global Food Banking Network en México y Ecuador podría aportar valiosas perspectivas.
- En Chile, donde se estima un desperdicio de alimentos del 30%, es crucial enfocarse en la prevención de esta problemática. El enlace proporcionado (<https://www.cbd.int/article/cop15-cbd-press-release-final-19dec2022>) presenta información relevante al respecto. Este tema está alineado con el Target 16 de la Convención de Biodiversidad.

##### 2. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?

#### Instrumentos:

- El Sistema de Compensación del Impuesto Verde basado en CO<sub>2</sub>eq, que actualmente es de 4 USD por tonelada y está en proceso de aumentar a 5 USD por tonelada según la Ley 21.210.
- Incentivos a mediano plazo, como aquellos relacionados con el compostaje (con la posibilidad de aumentar el impuesto verde a través de reformas tributarias) y normativas de emisiones bajo el concepto de MLP (Marginal abatement cost curve). También se puede considerar el precio social del carbono.
- El BID (Banco Interamericano de Desarrollo) financia proyectos que contribuyan a una reducción del 30% en las emisiones.

### **Condiciones:**

- Los rellenos sanitarios están llegando a su vida útil, lo que enfatiza la necesidad de buscar alternativas sostenibles en la gestión de residuos.
- En el contexto de la Ley REP (Responsabilidad Extendida del Productor), es más efectivo que los recicladores de base operen en la separación de los materiales orgánicos, lo que facilita su implementación.

### **3. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.**

#### **a. Institucionales/ de gobernanza**

- La implementación del sistema técnico para la contabilidad de compensaciones no es complicada, solo requiere la voluntad de llevarlo a cabo.
- La implementación de normativas es crucial, como la eliminación de residuos orgánicos de los rellenos sanitarios.
- Es necesario establecer fechas de vencimiento de alimentos y responsabilidades de los productores de alimentos, con normativas que faciliten la donación de alimentos.

#### **b. Técnicas y legales:**

- Incrementar el impuesto verde puede ser una medida efectiva.
- Se deben priorizar proyectos que cuenten con factibilidad económica y modelos de negocios sólidos.
- La implementación de canchas de compostaje enfrenta desafíos regulatorios y de demanda que la hacen difícil de llevar a cabo.
- Es necesario desmitificar ciertos conceptos, especialmente en relación con la cercanía a las comunidades.
- Incluso el actual proceso de creación de reglamentos puede ser complejo.

#### **c. Culturales, territoriales-ubicación, y de logística**

- La separación en origen es esencial para la gestión eficiente de residuos.
- Las comunas incurren en un gasto de 15.000 clp por tonelada para llevar los residuos al relleno sanitario.

#### **d. Económicas/financieras.**

- La implementación de sistemas de pago por la basura podría ser una solución.
- La SUBDERE provee fondos, pero su distribución podría ser mejor optimizada.

### **4. ¿Qué factores consideras que podrían perjudicar la eficacia de la medida?**

- Una mala operación ocurre cuando existe un mal modelo de negocio en funcionamiento.
- Es importante establecer un vínculo efectivo entre los vendedores de compost y quienes necesitan mejoradores de suelo. Se requiere un incentivo que motive a los operadores en esta relación.
- La participación activa de la comunidad es esencial para que este modelo funcione y sea percibido como un beneficio.

- El riesgo de incendios en rellenos sanitarios es un tema a considerar. La captura de gas puede ser una medida efectiva a corto plazo, pero no a largo plazo cuando los residuos orgánicos escaseen.
- El proyecto VERRA está siendo presentado por Santiago Poniente.

### **5.¿Cuáles son los co-beneficios de la implementación de estos sistemas de manejo?**

- Evitar la construcción de nuevos rellenos sanitarios contribuye a la adaptación y mejora de la calidad de vida de las personas.
- La mitigación de emisiones de metano es un objetivo importante.
- El incremento en la cantidad de puestos de trabajo es un beneficio significativo.
- Establecer alianzas con recicladores de base simplifica y agiliza el proceso de reciclaje.
- La disminución del transporte es una posibilidad según el diseño del proyecto.
- Reducir la pérdida de alimentos tiene un impacto positivo en la seguridad alimentaria.
- La Agenda de Residuos y la Agenda de Agricultura pueden beneficiarse mutuamente y se pueden potenciar como alianzas estratégicas.
- Participar en conferencias y eventos relacionados con la gestión de residuos y la agricultura puede ser valioso, como el <https://foodsystemsmethaneconference2023.org/>
- Aunque puede ser desafiante centrarse en la cadena de desperdicio y pérdida de alimentos, lograr avances en este sentido es crucial. La biodiversidad y el desperdicio de alimentos están conectados.
- En relación a los proyectos de energía, en algunos casos puede ser más conveniente abrir un pozo nuevo que reparar uno existente.

### **Links de interés**

- <https://foodsystemsmethaneconference2023.org/>
- Para ver las plumas de metano: <https://data.carbonmapper.org/#1/25/0>

## 6.2.8. Entrevista Minsal

Fecha: 11 de agosto de 2023

### Participantes

Entrevistado/a (Minsal)	MMA	ImplementaSur
Pamela Santibañez Juan Pablo Compas Guido Martínez Alejandro V Julio Monreal Gonzalo Aguilar		Graciela Hernández Catalina Vattuone Daniela Bermúdez Graciela Hernández Ignacio Rebolledo Gerardo Canales Catalina Cerón

### Preguntas

#### 1. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?

##### Generales:

- Existen reglamentos internacionales que se pueden usar como guía.

##### Compostaje:

- Se debería considerar la obligación para los generadores e industrias de realizar la separación de residuos.
- El reglamento actual en proceso de consulta pública se espera que actúe como un facilitador en este sentido.
- La Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) también contribuirá al aumento de esfuerzos en la creación de capacidades para el tratamiento de residuos orgánicos.
- La condición política y social actual favorece el compostaje, lo cual es una oportunidad que se debe aprovechar.
- Es esencial considerar aspectos técnicos para dirigir los esfuerzos hacia donde se pueda lograr una mayor mitigación y eficiencia.

##### Captura de gas de relleno:

- Se propone una modificación de la normativa, comenzando por la revisión y modificación del reglamento actual, para facilitar la implementación de medidas de gestión de residuos orgánicos.
- Es importante tener en cuenta que la forma en que se opera el relleno sanitario, incluyendo aspectos como las coberturas, tendrá un impacto directo en las emisiones generadas por el relleno.
- Se espera implementar una política que permita desviar los residuos orgánicos de los rellenos sanitarios, con el objetivo de reducir su impacto ambiental y fomentar alternativas de tratamiento más sostenibles.

#### 2. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.

#### **a. Institucionales/ de gobernanza**

- Los municipios a menudo buscan implementar proyectos sin evaluar adecuadamente su capacidad para mantener y operar esas operaciones a largo plazo.
- La correcta implementación y operación de tecnologías es crucial para el éxito de las medidas, ya que su mal funcionamiento puede convertirse en una barrera significativa.
- La falta de una institucionalidad clara en la gestión de residuos, incluyendo aspectos como licitaciones, cobros y tarifas, así como la falta de regulación por parte de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, genera obstáculos en el proceso.

#### **b. Técnicas y legales:**

- Las regulaciones actuales no tienen en cuenta las características específicas de los territorios que podrían favorecer la captura de gases de efecto invernadero.
- Existe el riesgo de que leyes en discusión no se implementen a corto plazo o que no se continúen discutiendo nuevas normativas relacionadas.
- Adoptar medidas que no se ajusten a la realidad puede llevar a resultados ineficaces. Por ejemplo, considerar el compost como fertilizante cuando su contenido de nutrientes es limitado y su uso es limitado.

#### **c. Económicas/financieras.**

- La falta de financiamiento para la etapa de operación de proyectos es un obstáculo, ya que algunos proyectos completados en diseño y construcción no logran operar de manera adecuada.
- La falta de recursos es un factor limitante en la implementación de medidas.
- La escasa demanda del producto del compostaje, debido a su valor y calidad, a menudo resulta en que termina siendo enviado a rellenos sanitarios en lugar de ser utilizado.
- Se plantea la posibilidad de aumentar las tarifas en función de la generación eléctrica mediante la captura de gases de efecto invernadero como un incentivo adicional.

### **3.¿Qué consideras que debería ocurrir para que estas barreras se superen o reduzcan?**

- El Ministerio de Agricultura incluyó el compost como fertilizante (en su ley de etiquetado y en el reglamento que está en su trámite oficial). Esto ha aumentado un poco la demanda, pero no se sabe cuánto.
- Que la cadena completa funcione de manera correcta, suficientes plantas, suficiente mercado (oferta-demanda).
- Al fomentar la captura de biogas para uso energético y generar una inversión, pero al mismo tiempo desviando orgánicos, es contradictorio.
- Expectativas: analizar normativas y ver qué es lo que falta para poder implementar las medidas.

### 6.2.9. Entrevista Municipalidad de Peñalolén

Fecha: 16 de agosto de 2023

#### Participantes

Entrevistado/a	MMA	ImplementaSur
Ricardo Cofré - Director de Medio Ambiente	-	Catalina Vattuone Montserrat Araya

#### Apuntes generales

- A diferencia de otras municipalidades, tienen una dirección del medio ambiente separada de aseo y ornato. En esta dirección se encargan de los residuos, gestionan el reciclaje (puntos limpios, etc) y en cuanto a residuos orgánicos tratan el 10% de los residuos de ferias en su ecoparque y comenzaron un proyecto de compostaje domiciliario. Actualmente están haciendo una planta de compostaje para tratar el 100% de los residuos de feria.
- Brindan acompañamiento a las familias en temas de reciclaje y temas de compostaje domiciliario.
- En Chile hay una fauna y diversidad muy grande que condiciona el alcance de cada municipio para hacer cosas. El 60% de los residuos que se manejan en una comuna son orgánicos, y el presupuesto municipal va desde 15-20% del total, es uno de los gastos más grandes.
- Además, en su caso menos del 20% de los hogares paga los derechos de aseo y el resto debe ser pagado por el municipio.
- Rodrigo Arias es el encargado de medio ambiente y cambio climático de la asociación de municipalidades, Rodrigo queda en compartir el contacto.

#### Preguntas

##### 1. ¿Consideran otra medida que permitan disminuir las emisiones del sector de residuos, específicamente de metano?

- A ellos se les da bien el compostaje y vermicompostaje y en menor medida el compostaje domiciliario. Menciona que son clave los procesos de acompañamiento y capacitación. Se debe hacer un cambio cultural primero. Todo esto requiere de niveles importantes de financiamiento.

##### 2. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?

- Después de California es el único ente de América que va a tener una ley de residuos orgánicos. Pareciera que hay un movimiento mayor al que están haciendo ciertos países.
- Hay conocimiento a nivel nacional respecto a los residuos, ya que se tiene un problema de residuos muy latente.
- Las autoridades políticas se han ido haciendo cargo de este tema lo que es muy importante. Contar con un Ministerio del Medio Ambiente ha sido muy importante y el Estado ha sido un promotor de estos temas que ha sido muy relevante.

##### 3. ¿Que beneficios puede tener el tratamiento centralizado que mencionas?

- La organización política del Estado, los Municipios son considerados unidades de prestación de servicios. En otros países la recolección es segregada , pero el tratamiento de residuos es centralizada que lo hace más eficiente. Hoy no existe un órgano centralizado, pero eso la creación de los órganos regionales fue super importante para poder abordar esto.
- Quizás por ejemplo se podría tener una planta de compostaje de la entidad metropolitana y no solo del municipio.
- Una barrera importante es que estos procesos suelen ser más caros que hacer las cosas de manera menos eficiente, lo más barato es recolectar y enterrar los residuos. Lo mismo para las empresas, es más sencillo deshacerse de los residuos.

#### **4. ¿Cómo ves las políticas para la reducción de pérdidas de alimento?**

- Respecto a la reducción de desperdicio de alimentos, hoy ellos están tomando residuos orgánicos de feria, pero de todas maneras esto sigue siendo un tema. Ellos tienen responsabilidad de los residuos de feria pero es más complejo cuando se trata de restaurants o de los mismos domicilios.
- En general esto entra en espacio donde la cadena de distribución de alimentos debería tener ciertas obligaciones. Si estos desperdicios son llevados a rellenos sanitarios, es muy ineficiente.

#### **5. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.**

- En Chile hay una fauna y diversidad muy grande que condiciona el alcance de cada municipio para hacer cosas. El 60% de los residuos que se manejan en una comuna son orgánicos, y el presupuesto municipal va desde 15-20% del total, es uno de los gastos más grandes.
- Además, en su caso menos del 20% de los hogares paga los derechos de aseo y el resto debe ser pagado por el municipio.
- Una manera de que el municipio pueda pagar eso es aumentar la recaudación para los servicios de aseo. En Peñalolén, primero tienen que cerrar la brecha del 80% que actualmente no paga y luego ir a financiar el restante 20%.
- En el caso del compostaje es un desafío que las personas hagan la separación adecuada de los residuos.
- La Ley debe ser capaz de reconocer las realidades y en base a eso poder reflejarlo en el día a día de los municipios.
- La Ley tiene unos supuestos muy grandes sobre la cual se articula y lo mismo con los principios. En el caso de “el que contamina paga” es complejo cuando quienes contaminan son los mismos domicilios. La idea de decir que el municipio es el responsable es un tema sobre todo por los temas de financiamiento. Además, la lógica de la recolección segregada y llevada a un relleno sanitario, se debería pensar que cada la idea que cada municipio haga su planta de compostaje es muy ineficiente. Desde el punto de vista de los permisos es muy complejo.
- Cuando cierren los rellenos sanitarios será a un más complejo porque los municipios tendrán que trasladar los residuos a distancias aún mayores.
- Rodrigo propone que al igual que se hace con los rellenos sanitarios hayan plantas de compostaje o de manejo de residuos orgánicos de manera más centralizada y no tan diseminada.

- Para el caso de ellos, en su ecoparque, estuvieron un año recaudando financiamiento, otros dos años tardaron en obtener los permisos para su funcionamiento. Entonces para el resto de los municipios también es muy complicado.
- Además, hoy no hay incentivos para el compostaje ya que actualmente es mucho más caro que llevarlo a rellenos sanitarios.
- Los CAP donde se puede hacer transacciones de los bono de carbono es interesante como fuentes de financiamiento.

#### **6. En términos de acompañamiento ¿Cuánto consideras que es eficaz?**

- Es un proceso que aún están descubriendo, tienen un centro de educación ambiental y personas especializadas, tienen la idea de que es más fácil que las personas separen en el origen. Que las personas comiencen a tratar los residuos en sus casas, es mucho más complejo, tienen un plan de revisiones aleatorias de las composteras domiciliarias, este acompañamiento lo hacen por un año. Tienen un 60% de familias que lo hacen de manera adecuada y el resto devuelven la compostera o no hacen el proceso de manera adecuada. Esto requiere de personas muy capacitadas y que además puedan tener una buena relación con la comunidad. Además, cuentan con un chat de consultas para las personas.
- Finalmente el acompañamiento de un año es intensivo, pero luego continua pero de manera más gradual.
- También menciona que es complejo lo que pasa con el compost finalmente, aún están evaluando que van a hacer con eso porque de sus composteras aún no se llena.

#### **7. En términos del compostaje de los residuos de feria ¿Cuál es el modelo de negocio?**

- Ellos demandan compost, 1.400, 1.700 ton/año se espera que pueda producir la nueva planta de compostaje. Entonces la idea es que se destine a las áreas verdes, pero no se ve un modelo de negocio, si no que más bien va a ser un gasto.
- Cree que no se han integrado los servicios para esto, por ejemplo, van a salud y el mayor desafío es que no lo ven como un sitio de disposición final como un relleno sanitario. En la medida es que esto se tome como un desafío nacional y se puedan integrar varios servicios. Actualmente es muy complejo el tema de los permisos ya que deben ir a distintas entidades para poder obtener distintos permisos lo que hace muy lento el proceso. Esto atenta contra la disponibilidad de profesionales y personas para la implementación. La ineficiencia de los plazos dificulta mucho el proceso.

#### **8. ¿Han recibido líneas o lineamientos para temas de permisos?**

- Tiene personas comprometidas que lo han ido guiando, pero no hay una guía propiamente tal. Entonces dependen mucho de estas personas, en caso de que no estén se dificulta mucho más el tema.

#### **9. ¿Qué factores consideras que podrían perjudicar la eficacia de la medida?**

- El riesgo del mal manejo de la planta de compostaje es importante.
- Los costos, también esto es muy ambiguo, se cree que esto debieran tener una mejor imagen que los rellenos sanitarios, pero en la práctica esto no siempre es así.

- Desde el punto de vista de transporte también es complejo poder gestionar esto. Por ejemplo, antes de las 11:00 todo el residuos que se puede disponer, ya está en el piso de la feria, entonces deben recolectar residuos de feria en la mañana y en la tarde.
- La simulación y modelación de costos en general es muy complejo y varía mucho desde la teoría a la realidad.
- Un riesgo es tener mal manejo de las plantas de compostaje, de las composteras domiciliarias y además, contar con grandes cantidades de compost de las cuales no se tenga certeza de su destino final.
- No todos los municipios tienen personas capacitadas para llevar a cabo estos procesos lo que lo hace aún más costoso. Se requiere de mucho apoyo de la ciencia y de la academia.
- Además, se debe tener presente que esto tiene muchas formas de hacerse, y en temas de financiamiento se debe entender que el aumento de la recaudación de fondos irá en primera instancia a pagar la deuda que tienen actualmente los municipios en materia de gestión de residuos.

## 6.2.10. Entrevista Schwager

Fecha: 18 de agosto de 2023

### Participantes

Entrevistado/a	MMA	ImplementaSur
Josefa Gut – Encargada de biogás	-	Graciela Hernández Catalina Vattuone

### Preguntas

#### 1. ¿Consideran otra medida que permitan disminuir las emisiones del sector de residuos, específicamente de metano?

- No considera que exista alguna adicional que funcione bien
- El compostaje puede ser una medida complementaria
- La gente que tiene relleno sanitario tenga además la necesidad de hacer digestión previa
- Fomentar la visión de tu comuna tu basura, tu región tu basura, va a obligar a que las emisiones se traten bien.
- Ponerse serio con el mercado informal de transportistas.

#### 2. ¿Qué tan factible es que los residuos municipales sean tratados por digestión anaeróbica?

- Si bien tendría que hacerlo un privado, tendría que hacerlo con el patrocinio de la municipalidad.
- Dice que es factible, pero en la forma de infraestructura compartida
- No sería un gran problema en la medida en que se diseñen para tal o que los cambios paulatinos
- El privado podría tener tarifas preferenciales, reservar un porcentaje de la capacidad para residuos

#### 3. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile

- No observa muchas condiciones actuales que facilitan mucho la implementación/diseño
- Las gerencias técnicas nuevas (más jóvenes) de las empresas están más capacitadas y la conciencia ambiental existe lo que facilita

#### 4. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.

##### Institucionales/gobernanza

- Competencias en reparticiones públicas (nivel central y territorial)
- Falta de difusión
- Demasiada influencia de los periodos políticos. Se comprometen, no salen, se pierde el compromiso.

##### Técnicas y legales

- Las normas a veces son muy específicas y tienen a “trancar”. Cuando no había norma era peor

- Los procesos de evaluación ambiental son largos. Podrían haber sistemas más “fast track” para residuos orgánicos.
- Hace falta apoyo para navegar más fácil en el proceso de evaluación ambiental.
- Dado que los residuos están en manos de privados están acostumbrados a recibir. Por lo mismo no hacen cambios.
- Recibieron mucha fiscalización en un comienzo y es algo que les ha servido
- Quienes mandan residuos informan mal (tanto tipos de residuos como cantidades).
- Hay un problema serio con el tema de los camiones. Muchas veces llevan donde quieren los residuos.

### **Económica**

- No reciben ninguna ayuda
- Digestato es casi un gasto hoy, no se incluye en la evaluación de los proyectos

### **5. ¿Qué factores consideras que podrían perjudicar la eficacia de la medida**

- El desvío de material que se lleva clientes al compostaje por ser mucho más barato pero terminar teniendo co-impactos por su falta de manejo adecuado
- La composición de los residuos es variable y los clientes están mal acostumbrados

### **6. ¿Cuáles son los co-beneficios de la implementación de estos sistemas de manejo?**

- El agua (en Osorno generan 200 m<sup>3</sup>/d). Las plantas de tratamiento de riles sacan agua para riego y tienen que cumplir las normas de riego. Para el caso de residuos sólido y semisólido lo que sale es abono y pulpa que se ocupa en los campos. Se usan para evitar regar restojo y los riegan con digestato.
- Generación de empleo y desarrollo de negocios (ecoprial tiene 20 trabajadores, para la construcción movieron alrededor de 100)
- Traer tecnología
- Trazabilidad

### 6.2.11. Entrevista Red de Alimentos

Fecha: 24 de agosto de 2023

#### Participantes

Entrevistado/a (MMA)	MMA	ImplementaSur
Ma José Vergara (Gerente de Gestión Social)	-	Daniela Bermúdez Catalina Cerón

#### Apuntes generales

- Lo que hacen: rescatan todo lo que no será comercializable (además de alimentos, ropa, juguetes, productos de limpieza).
- Tienen plan al 2030, que potencia el rescate de agrícolas, porque es una industria que tiene sobreproducción (monomix por temporada). Organizaciones sociales y personas a las que les entregan los productos, y aún así queda y esto es compostado pudiendo mitigar igualmente
- El producto se mantiene en una línea virtuosa, están tratando de asegurar que todos los desechos se gestionen de buena manera (modelo de negocio como financiamiento para la organización). El desafío es el packaging, lo cual va relacionado con la Ley REP. La idea es que todos los productos recuperados terminen siendo gestionados eficazmente.
- Tienen info histórica de los residuos que genera cada tipo de alimento.
- En paralelo trabajan la línea de educación, tiene la cantidad de personas que participan y talleres que se han realizado (fermentos, reutilización de comidas, etc).

#### Preguntas

##### 1. Cuantitativamente, ¿cuántos alimentos logran recuperar?, ¿cuáles son sus metas proyectadas?

- Compartirá posteriormente los números que tienen. Al año rescatan 14-15 millones de kilos. Un 50% son residuos agrícolas. Desde el 2010 han recolectado 69 millones de kilos contando artículos de higiene y alimentos. En los últimos 12 meses móviles; 12 millones de kilos alimentos, al menos la mitad es agrícola y 13 millones de pañales, y 10 de PHP (productos de artículos de higiene y personales).

##### 2. ¿Cuáles son las principales barreras para el desarrollo de estos proyectos? Pueden ser institucionales, técnicas, económicas, entre otras.

###### a. Técnicas y legales:

- Ley de Desperdicio de Alimentos. Productos que tienen menos de 6 días de vencimiento no se pueden distribuir.
- Ellos entregan productos que vencen entre 1 a 15 días (producto corto), los cuales representan un 20%. Un 16% de los alimentos que actualmente entregan estaría en riesgo en caso de que la Ley de Desperdicio de Alimentos se implementara.
- En México hay una iniciativa que se llama pacto por la comida, grape asesora para disminuir el desperdicio y ellos se meten en las empresas para gestionar de mejor manera sus productos prontos a vencer. La merma en Chile no se maneja de correcta manera, desde el punto de vista económico les conviene sobreproducir. El impacto social y ambiental debería visibilizarse, y

genera un daño a la sociedad, por lo que cree que fomentar la transparencia a nivel del mercado es muy relevante. A su vez, creo necesario levantar si es que existen metodologías o métricas para cuantificar el impacto en emisiones de este tipo de medidas

- Consumir preferentemente antes de, en Chile las fechas de vencimiento son muy estrictas y no pueden distribuir productos que ya hayan vencido, solo que estén prontos a vencer.

### **3. ¿Observas o destacarías condiciones que facilitan/promueven/ayudan al desarrollo de estos proyectos en Chile?**

- -Desde el punto de vista legal, la reforma agraria del segundo gobierno de Piñera, castiga a la eliminación de comida desde el productor, pero todas las normas tienen un reglamento que aún no está listo por lo que esta no puede ser implementada. No hay estructura ni presupuesto para fiscalizar.
- -Conciencia social y ambiental que se ha ido generando, en los talleres esto se ve reflejado.
- -Compromiso de algunas empresas de entregar sus mermas ha sido positivo
- -El apoyo Global FoodBankin de Alimentos, la articulación internacional ayuda mucho. La voluntad internacional de visibilizar este problema.
- -La política de soberanía y seguridad alimentaria del gobierno actual hace bien al espíritu.

## 6.2.12. Entrevista SUBDERE

Fecha: 28 de agosto de 2023

### Participantes

Entrevistado/a (SUBDERE)	MMA	ImplementaSur
Manuel Muñoz (Encargado de unidad de gestión de inversiones de SUBDERE)	-	Graciela Hernández Catalina Vattuone

### Apuntes generales

- Saneamiento sanitario, residuos sólidos y energización.
- Esta unidad nació de la unidad de residuos sólidos

### Preguntas

#### 1. ¿Cuántos nuevos proyectos de inversión existen para rellenos sanitarios?

- Subdere atiende principalmente la demanda de los Gobiernos Regionales.
- Los proyectos de desarrollo son los siguientes, por región:
  - Región de Arica y Parinacota:** el proyecto está en ejecución desde el 2017 para la comuna de Arica que busca gestionar los residuos de un 99% de la población. Tiene las características de relleno integral de residuos, con planta de compostaje. Se empezaría donde está el actual vertedero que tiene más de 100 años.
  - Región de Tarapacá:** tiene un proyecto de RS que está en proceso de diseño. Abarcaría cerca del 97% de la población y está enfocado en las comunas de Iquique y Alto Hospicio (ubicado en Alto Hospicio). El diseño está en un proceso de reevaluación por componentes de viabilidad.
  - Región de Antofagasta:** hace unos 3 años se inauguró el RS que atiende Antofagasta. También se construyó hace poco el RS de San Pedro de Atacama. Adicionalmente, hay un proyecto terminado que ha demorado su inauguración que es el de Mejillones.

En la región hay una deuda pendiente que es el relleno de Taltal. Ahí ha costado avanzar por los cambios que ha habido en el municipio.

- Región de Atacama:** ya hay un gran porcentaje de disposición bajo normativa. Se está inaugurando el RS de Diego de Almagro donde SUBDERE apoyó el financiamiento. En la región está pendiente el RS de Chañaral.
- Región de Coquimbo:** es una de las situaciones más críticas a nivel país. El de panul atiende a la serena y coquimbo. Es privado y le queda menos de 2 años de vida útil. Tiene muchas sanciones de la superintendencia de salud. Es el último sitio de la región que tiene RCA aprobada. No se visualiza un proyecto nuevo. Todas las otras comunas de la región de coquimbo disponen en vertederos. Manuel observa que se dará una crisis socio-ambiental en el tema. Ahí hay un problema político con el Consejo Regional. Hay una planificación técnica pero los proyectos no pasan al Consejo Regional para validación política entonces quedan parados (entre gobernadora y consejo regional).

Se está financiando un Centro de Transferencia en Canela para disponer 200 km más al norte.

- F. **Región de Valparaíso:** hay un 98% de disposición. Hay una deuda en las comunas del norte (Cabildo, Petorca) que disponen en vertedero. SUBDERE está financiando hace 2 años un proyecto también de transferencia. La región está enfocada hoy en proyectos de compostaje (disminuir la carga de disposición en rellenos). La alerta amarilla está en el RS el Molle con vida útil al 2032. Actualmente cubre el 62% de la población regional, su operador es Veolia y se le acaba el contrato y continua con una administración comunal que genera dudas.
- G. **Región Metropolitana:** se está avanzando en la conversión de Copeta y se está poniendo atención a la ampliación de Santa Marta. El entrevistado ve que puede que el proyecto no salga favorable porque está con dificultades. Probablemente tendrá que redistribuirse en la oferta disponible en la región (probablemente Santiago poniente y Tiltil).
- H. **Región de O'Higgins:** hay un RS que cubre gran parte de la región de La Yesca operado por Veolia. Hay incertidumbre de la vida útil que le queda y hoy no hay claridad si se viene el proyecto de ampliación. De las 33 comunas que tiene la región, unas 17 disponen ahí. Las otras disponen en Maule y las Quilas en Pichilemu que es privado. Hay una estación de transferencia hace más de 10 años (cree que ya se cayó). Hoy la región de O'Higgins está desarrollando una planificación estratégica en la materia y se va a generar algún tipo de cartera de proyectos que se pueda implementar (está en licitación la estrategia).
- I. **Región del Maule:** es una región con 100% de disposición. La oferta es principalmente privada. Hace poco se ejecutó un centro de transferencia de viñales en constituciones a KDM en Parral. Están apoyando una planta de compostaje en la comuna de Talca que se va a insertar en el RS que administra KDM, se va a enfocar en la feria del CREA y otras ferias libres.
- J. **Región del Biobío:** es una región complicada. Estamos en una situación crítica porque se cerró en la Comuna de la Florida el RS en Hidronor. Talcahuano, Hualpén y Florida están disponiendo en Chillán Viejo. Hay oposición que ha llegado a distintos niveles por ese tema. Subdere está apoyando el proceso de subsidio. Se viene más complicado porque en octubre de este año se vence la RCA de otro relleno de la zona (Cemarc). Hay otro conflicto que el RS de laguna verde en los ángeles, es estratégico porque cubre la generación de gran parte de las comunas de la Araucanía y el área sur del Biobío. Tenía una vida útil hasta el 2032 y se está acotando al 2026. En septiembre van a estar presentando un proyecto al SEIA y él cree que ya están atrasados.
- K. **Región del Ñuble:** la demanda ha sido principalmente de la recolección de residuos. No ha habido proyecto de valorización, tampoco proceso de planificación. La ventaja es que Ñuble nació con un relleno sanitario y por eso tiene el 100%.
- L. **Región de Araucanía:** tienen un proyecto que financiaron que es el de Malleco Norte. Está avanzando, pero con mucha dificultad por los conflictos de la zona. Han secuestrado a operadores, la gente trabaja con chaleco antibalas. Cualquier proyecto de disposición de residuos en la región de la Araucanía es complejo y por ello están siguiendo la ruta de disminuir residuos lo máximo posible. Se están intentando avanzar con compostaje domiciliario. Huerquenco hizo una disminución considerable de sus residuos con programas de compostaje domiciliario, con educación y todo lo que implica. En Lautaro hay un centro de transferencia. Se está cercando el vertedero de Teodoro Schmidt y trae conflicto por los costos que van a tener

que disponer en Mulchén o Los Ángeles. En Villarrica también la situación es complicada. El principal generador es la comuna de Temuco que dispone en Los Ángeles a través del centro de transferencia en Lautaro.

- M. **Región de Los Ríos:** La inversión ha sido mayoritariamente de centro de transferencia y compostaje. Debería estar ejecutándose en Valdivia un proyecto de XX y el RS que está terminando es Ramón Culli. Subdere está financiando ese proyecto.
- N. **Región de Los Lagos:** Osorno (provincia) es punto crítico. Subdere está apoyando el cierre del vertedero. Tiene un RS a medio construir que Subdere está retomando porque no le queda más de 2 o 3 años de vida útil al vertedero. Llanquihue anda bien y tiene el relleno sanitario de la Laja. Están apoyando el proceso de transformarlo en un RS integral. También están apoyando en una hoja de ruta de economía circular. Se quiere extender a una gran vida útil con la medidas que se están haciendo. En Chiloé el tema es complejo, pero Ancud es un ejemplo a nivel país de reciclaje (casi 40%). Todos los otros vertederos están en situación crítica. Hay un proyecto del centro de tratamiento integral en Castro. La noticia buena es que se ha cuidado la RCA de ese proyecto y todavía está vigente, aun se puede ejecutar. Se está avanzando en un proceso de diseño. Palena tiene CTI de Futaleufú, que según su punto de vista no está funcionando de la mejor forma (ellos lo financiaron). Tiene otro proyecto de valorización en Chaitén.
- O. **Región de Aysén:** tiene una buena planificación. Se está financiando un cierre progresivo de Cochrane y hay un proyecto de centro integral en Cochrane pero que es un poco caro lo que ha dificultado (15 mil millones de pesos). Están financiando un centro de transferencia para ir a disponer a Cochrane. En el área norte de la región, se está viendo una estación de transferencia. Todo el resto se dispone en RS. Lo más lindo es el centro de tratamiento integral de Villa O'Higgins. Las tienen dentro de una cabaña con invernadero con dos boscas. Trabajan bien con un centro de almacenamiento con proceso de prensa, molido de vidrio y plástico. Disponen en zanjales cubiertas y van haciendo hidrosiembra. Es un proyecto para 600 personas, muy gobernable.
- P. **Región de Magallanes:** sus procesos están andando, pero se está demorando mucho. Tiene 3 proyectos, uno por provincia. Ya se apoyó la de Natales para la provincia de natales. Está todo construido, pero tienen una observación para la resolución sanitaria, porque son complejos por la burocracia pública. Tema ejemplo: reja de seguridad de la piscina de lixiviado y para la planta de compostaje. Esto es complicado porque el vertedero se está incendiando. El último evento le costó a Subdere 400 millones apagarlo. También hay un proyecto en Primavera (Tierra del fuego).
- Q. **En Rapa Nui:** Cuesta avanzar con el municipio. Se uso todo en la unidad regional, se armaron los proyectos para que los cargaran en la plataforma, pero el municipio avanza muy lento. Hicieron un proyecto de cierre de un vertedero (Vai a Ori) y ahora está en un proceso de cierre de otro. El MMA está evaluando un proyecto BID para reactivar la planta de compostaje, antes que se acabara el convenio Chile-Canadá para poder pagar el transporte de los materiales.

## 2. ¿Vienen los proyectos con sistemas de captura?

- El RS de La Laja tiene un sistema de captura, pero la mayoría de los diseños viene con chimenea.
- Los proyectos no se están enfocando en eso, en sistemas de captura.

- Se puede navegar en mercado público para identificar especificaciones técnicas. Podría ser el proyecto de Punta Arenas y el de Los Ríos.

### **3. ¿Cuánto tiempo toma entre que se piensa un proyecto y se comienza a implementar?**

- En los Ríos el proyecto nació en 2017 y recién se está ejecutando en 2023
- En la Laja se demoraron 9 años
- En promedio son del orden de los 10 años hasta que se coloca la primera bolsa de residuos.
- Cada día están más complejos los procesos SEIA por oposición civil.
- Lo que menos demora es construir (aprox 18 meses)

### **4. ¿Cómo puede el sector público o privado apoyar para que los procesos sean más rápidos?**

- Se podría acotar en la pre-factibilidad. Sin embargo, en Arica-Alto Hospicio se la saltaron, pero igualmente se van a demorar 10 años.
- En promedio una licitación de un RS es del orden de los 6 meses. Un promedio optimista porque son internacionales la mayoría. Los Ríos fue de 1 año.
- Un privado puede rápidamente implementar un proyecto en un periodo más corto

### **5. ¿Cuál es la limitante que tienen los privados?**

- El privado llega donde hay más basura porque cobra por tonelada. Ahí le conviene más hacer un proyecto. Igualmente hay casos excepcionales en lo que pudiera ser rentable pero no van por problemas políticos (p.ej. Coquimbo).
- El 80% de los residuos están en privados.
- La guía operativa del proyecto de residuos sólidos llega a lugares donde no llega el privado.
- Hasta el momento es un tema de escala. Se supone que con la hoja de ruta debiera cambiar con los nuevos aspectos normativos. Por ejemplo, la Ley de separación de orgánicos va a disminuir el volumen que recibe el privado.

### **6. ¿Cuáles son los costos de inversión?**

- Subdere sabe que en el norte puede ser más barato un proyecto de inversión porque requiere de menos consideraciones técnicas. Mientras hay proyectos en el sur que tiene condiciones mucho más complejas. En el norte (4 mil millones), en Los Ríos atendiendo a toda la región (15 mil millones), Cochrane (15 mil millones).

### **7. ¿Se han apoyado proyectos de digestión anaeróbica para residuos orgánicos municipales?**

- Subdere ha apoyado proyectos piloto de digestión anaeróbica de residuos municipales
- Subdere hizo un estudio de los sistemas de manejo que se pueden implementar. Ahí se evaluó la biodigestión y otros sistemas de manejo de residuos orgánicos.

### 6.3. Anexo 3: Metodología y supuestos Curva MAC

#### 6.3.1. Definición de las medidas y su distribución

Las medidas fueron definidas considerando las metas y objetivos propuestos en distintos instrumentos existentes en materia de residuos. Como línea base de toda la estimación del potencial de las medidas se consideró la información compartida por el MMA sobre la cantidad de residuos proyectados tanto municipales como industriales.

A continuación, se presenta la metodología y supuestos utilizados por medida.

- **Medidas 1 – Compostaje domiciliario**

Dado que la cantidad de composteras esperadas al 2030 es conocida, se utilizó una distribución lineal de los equipos en el tiempo. De esta forma, considerando que son 500.000 composteras en 5 años (de 2025 al 2030), la repartición anual es de 83.334 equipos.

Para definir la cantidad de residuos orgánicos a tratar, se utilizaron los parámetros presentados en la siguiente tabla.

Tabla 6-1 Parámetros para la estimación de la capacidad de residuos tratados de por un equipo de compostaje domiciliario – Medida 1.

Parámetros económicos y financieros	Valores	Fuente y/o comentario
Porcentaje de devolución de composteras o no uso de estas (%)	10%	Supuesto conservador.
Tasa de ocupación por vivienda (personas/vivienda)	3,1	CENSO, 2017 <a href="http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion_de_la_segunda_entrega_de_resultados_censo2017.pdf">http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion_de_la_segunda_entrega_de_resultados_censo2017.pdf</a>
% uso de composteras en vivienda (%)	100,0%	Se considera meta de la ENRO y no del GMH Pledge, pero se aumenta la eficiencia que se asumió para ese caso.
Fracción de orgánicos producidos compostable en casa (%)	60,0%	Supuesto en base a la experiencia del equipo consultor.
Tasa de generación de residuos (kg/pp/día)	1,22	SUBDERE, 2018. Corresponde a la producción per cápita sin población flotante.
Porcentaje de residuos orgánicos (%)	58%	ENRO.
Tasa de generación de residuos orgánicos (kg/pp/día)	0,7076	Calculado con los parámetros anteriores.
Cantidad de días considerados (días/año)	365	Se considera todo el año.
<b>Cantidad de residuos orgánicos tratados por compostera (toneladas/año)</b>	0,432	Calculado con los parámetros consultados.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para definir la cantidad máxima de equipos que se pueden entregar por región para no sobrepasar el número de viviendas por territorio, se estimó la cantidad de viviendas por región con la información del CENSO del 2017 y una tasa de ocupación del 3,1 de personas por vivienda.

Tabla 6-2 Cantidad de viviendas por región – Medida 1.

Región	Habitantes por región (hab)	Viviendas estimadas por región (viviendas)
Tarapacá	330.558	106.635

Región	Habitantes por región (hab)	Viviendas estimadas por región (viviendas)
Antofagasta	607.534	195.983
Atacama	286.168	92.317
Coquimbo	757.586	244.390
Valparaíso	1.815.902	585.794
Libertador General Bernardo O'Higgins	914.555	295.035
Maule	1.044.950	337.095
Bio-bío	1.556.805	502.211
La Araucanía	957.224	308.796
Los Lagos	828.708	267.339
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	103.158	33.280
Magallanes y Antártica Chilena	166.395	53.681
Metropolitana de Santiago	7.112.808	2.294.480
Los Ríos	384.837	124.146
Arica y Parinacota	226.068	72.926
Ñuble	480.609	155.045
<b>Total</b>	<b>5.669.153</b>	<b>5.669.153</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con la información anterior y la cantidad de equipos a entregar, se calculó una proporción de equipos a entregar por vivienda de 0,088 (equipos por vivienda). De esta forma se obtuvo la cantidad a entregar por región, cuya distribución se realizó de manera constante en el tiempo tal como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 6-3 Cantidad de equipos por región – Medida 1.

Región	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Tarapacá	1.568	1.568	1.568	1.568	1.568	9.408	1.568
Antofagasta	2.879	2.879	2.879	2.879	2.878	17.273	2.879
Atacama	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	8.148	1.358
Coquimbo	3.591	3.591	3.591	3.591	3.590	21.545	3.591
Valparaíso	8.611	8.611	8.611	8.611	8.611	51.666	8.611
Libertador General Bernardo O'Higgins	4.337	4.337	4.337	4.337	4.337	26.022	4.337
Maule	4.956	4.956	4.956	4.956	4.956	29.736	4.956
Bio-bío	7.383	7.383	7.383	7.383	7.383	44.298	7.383
La Araucanía	4.540	4.540	4.540	4.540	4.540	27.240	4.540
Los Lagos	3.928	3.928	3.928	3.928	3.927	23.567	3.928
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	490	490	490	490	490	2.940	490

Región	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Magallanes y Antártica Chilena	790	790	790	790	790	4.740	790
Metropolitana de Santiago	33.728	33.728	33.728	33.728	33.728	202.368	33.728
Los Ríos	1.823	1.823	1.823	1.823	1.822	10.937	1.823
Arica y Parinacota	1.072	1.072	1.072	1.072	1.072	6.432	1.072
Ñuble	2.280	2.280	2.280	2.280	2.280	13.680	2.280
<b>Total</b>	<b>83.334</b>	<b>83.334</b>	<b>83.334</b>	<b>83.334</b>	<b>83.334</b>	<b>83.330</b>	<b>500.000</b>

Fuente: Elaboración propia.

- **Medidas 2 – Compostaje domiciliario en establecimientos educacionales**

La lógica para la implementación de esta medida es similar a la medida anterior, esto quiere decir que se asume una distribución lineal de equipos en el tiempo. En este caso, la entrega de equipos es de 840 al año, para así cumplir con la entrega de 5.000 equipos al 2030.

Al igual que la estimación de la cantidad de residuos a tratar en la medida anterior, se definieron parámetros que permiten estimar el uso de la compostera. En la siguiente tabla se presentan los supuestos y parámetros utilizados.

Tabla 6-4 Parámetros para la estimación de la capacidad de residuos tratados de por un equipo de compostaje domiciliario en establecimientos educacionales – Medida 2.

Parámetros económicos y financieros	Valores	Fuente y/o comentario
Porcentaje de devolución de composteras o no uso de estas (%)	0%	Supuesto
Tasa de ocupación por vivienda (personas/establecimiento educacional)	30	Supuesto promedio personas por curso.
% uso de composteras en establecimientos (%)	25,0%	Este parámetro afecta a la eficiencia en el uso de la compostera, es un parámetro conservador.
Fración de orgánicos producidos compostable en el establecimiento educacional (%)	25,0%	Disminuye de un 60% a 25%, porque probablemente serán restos de frutas a diferencia de los tipos de residuos orgánicos que se pueden producir en un hogar.
Tasa de generación de residuos (kg/pp/día)	1,22	SUBDERE, 2018. Corresponde a la producción per cápita sin población flotante.
Porcentaje de residuos orgánicos (%)	58%	ENRO
Tasa de generación de residuos orgánicos (kg/pp/día)	0,7076	Calculado con los parámetros anteriores.
Cantidad de días considerados (días/año)	190	De acuerdo al calendario escolar 2023, para establecimientos educacionales con jornada escolar completa
<b>Cantidad de residuos orgánicos tratados por compostera (toneladas/año)</b>	0,231	Calculado con los parámetros consultados.

Fuente: Elaboración propia.

A su vez, para la distribución espacial de equipos por región se consideró la cantidad estimada de establecimientos educacionales en cada territorio, para ello, se consultó en la Biblioteca Nacional de Chile (BCN) y se obtuvieron la cantidad de establecimientos educacionales tanto municipales

como particulares subvencionados al 2022. En la siguiente tabla se presentan los datos utilizados, pero es necesario mencionar que este dato solo se utiliza para tener un límite máximo del cual no se puede pasar en la entrega de equipos.

Tabla 6-6 Cantidad de establecimientos educacionales por región – Medida 2.

Región	Establecimientos educacionales estimados por región (hab)
Tarapacá	184
Antofagasta	208
Atacama	46
Coquimbo	656
Valparaíso	1.049
Libertador General Bernardo O'Higgins	595
Maule	800
Bio-bío	942
La Araucanía	993
Los Lagos	852
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	86
Magallanes y Antártica Chilena	85
Metropolitana de Santiago	2.474
Los Ríos	446
Arica y Parinacota	75
Ñuble	401
<b>Total</b>	<b>9.892</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos y al igual que para la medida anterior, se estimó según la cantidad total de equipos a entregar y la cantidad de establecimientos educacionales en el país, una proporción por establecimiento de 0,505 (equipos/establecimiento) el cual se utilizó para calcular la cantidad de equipos por región. Con este número, se definió que su distribución sería constante en el año hasta el 2030.

Tabla 6-7 Cantidad de equipos por región – Medida 2.

Región	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Tarapacá	15	15	15	15	15	15	90
Antofagasta	17	17	17	17	17	17	102
Atacama	4	4	4	4	4	9	29
Coquimbo	55	55	55	55	55	55	330
Valparaíso	88	88	88	88	88	88	528
Libertador General Bernardo O'Higgins	51	51	51	51	51	56	311
Maule	67	67	67	67	67	67	402
Bio-bío	79	79	79	79	79	79	474

Región	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
La Araucanía	83	83	83	83	83	83	498
Los Lagos	71	71	71	71	71	71	426
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	8	8	8	8	8	13	53
Magallanes y Antártica Chilena	8	8	8	8	8	13	53
Metropolitana de Santiago	208	208	208	208	208	208	1.248
Los Ríos	37	37	37	37	37	37	222
Arica y Parinacota	6	6	6	6	6	6	36
Ñuble	33	33	33	33	33	33	198
Total	15	15	15	15	15	15	90

Fuente: Elaboración propia.

- **Medida 3 - Compostaje a gran escala**

Para delimitar la medida se utilizó la meta de valorización de la ENRO correspondiente a lograr una valorización de 30% al 2030 y 66% al 2040, esto es por simplicidad dado que la ENRO es amplia al mencionar que se busca lograr ese nivel de valorización, pero no especifica la tecnología o tipo de tratamiento para hacerlo. Luego, se estimó la cantidad de residuos orgánicos a tratar, asumiendo un aumento linealmente, de forma que del 2025 al 2030 se debe aumentar la valorización en 5% anual, mientras que del 2030 al 2040 se debe aumentar en 3,6%.

La estimación de la cantidad de residuos a tratar anualmente se obtuvo al utilizar esta ambición de valorización por año por la cantidad de residuos orgánicos que son generados a nivel municipal. Una vez conocido el volumen de RO anual a tratar, se definieron tamaños mínimos de proyectos y se cuantificó el número de proyectos de plantas de compostaje necesarios para cumplir con la valorización deseada al año 2030 y 2040. Cabe señalar que la definición de esta unidad se realizó para poder aterrizar los costos y potencial de mitigación de esta medida, siendo el tamaño escogido un tamaño posible, pero ambicioso. De todas formas, como se ha conversado con la contraparte, este tamaño puede ser logrado por proyectos de menor o mayor tamaño que traten una cantidad equivalente de residuos al año.

Tabla 6-85 Cantidad de proyectos de compostaje por región 2025 – 2030, Medida 3.

Región	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Tarapacá		1		1			2
Antofagasta		1		1			2
Atacama	1						1
Coquimbo	1		1		1	1	4
Valparaíso		1		1		1	3

Región	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Libertador General Bernardo O'Higgins	1		1		1		3
Maule			1		1		2
Bio-bío	1		1		1	1	4
La Araucanía	1		1				2
Los Lagos	1		1		1	1	4
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo		1		1			2
Magallanes y Antártica Chilena	1						1
Metropolitana de Santiago		1		1		1	3
Los Ríos		1					1
Arica y Parinacota			1		1		2
Ñuble					1		1
Total	7	6	7	5	7	5	37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-96 Cantidad de proyectos de compostaje por región 2030 – 2040, Medida 3.

Región	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	total
Tarapacá											0
Antofagasta											0
Atacama											0
Coquimbo											0
Valparaíso	1	1	1	1							4
Libertador General Bernardo O'Higgins											0
Maule			1				1				2
Bio-bío	1										1
La Araucanía											0
Los Lagos											0
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo											0
Magallanes y Antártica Chilena											0
Metropolitana de Santiago	1	1	1	1	2	2		2		2	12
Los Ríos											0
Arica y Parinacota		1									1
Ñuble				1							1
Total	3	3	3	3	2	2	1	2	0	2	21

Fuente: Elaboración propia.

- **Medida 4 - Digestión anaeróbica en residuos industriales de alimentos**

El proceso de definición de la cantidad de proyectos fue similar al aplicado para la medida 3. En particular se tomó la meta de la ENRO, pero para residuos industriales. De esta forma, entre los años

2025 al 2030 se aumentará la valorización en 5%, y del 2030 al 2040 se debe valorizar 3,6% más cada año.

Para la definición de la unidad de volumen de tratamiento de una planta de digestión se tomó en consideración conversaciones con desarrolladores de proyectos para identificar la unidad mínima rentable según la experiencia nacional. De esta forma, la capacidad o unidad mínima de esta medida se definió en 100 toneladas de residuos industriales al día, es decir, 36.500 toneladas de residuos al año.

La distribución a nivel regional se realizó considerando aquellas regiones que presentaran una cantidad de residuos necesaria para desarrollar el proyecto, de esta forma, las regiones con un nivel de residuos industriales de alimentos suficiente fueron la Región de Los Lagos y la Región Metropolitana, aunque se destaca que la Región de O'Higgins se proyecta que genere más de 30 kton al año 2025. Este punto es relevante porque, por ejemplo, se podría evaluar la posibilidad de que residuos que son generados en la Región de O'Higgins sean llevados a la Región Metropolitana a valorizar, creando sinergias entre las industrias generadoras de la zona.

Dicho lo anterior, las siguientes tablas presentan la distribución de los proyectos de digestión anaeróbica a nivel regional.

Tabla 6-10 Cantidad de proyectos de digestión anaeróbica por región 2025 – 2030, Medida 4.

Región	Cantidad de residuos de alimentos al 2025 (kton)	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Tarapacá	0,28							
Antofagasta	0,08							0
Atacama	0,67							0
Coquimbo	0,04							0
Valparaíso	7,29							0
Libertador General Bernardo O'Higgins	32,38							0
Maule	7,32							0
Bio-bío	27,67							0
La Araucanía	-							0
Los Lagos	112,72		1				1	2
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	-							0
Magallanes y Antártica Chilena	2,47							0

Región	Cantidad de residuos de alimentos al 2025 (kton)	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Metropolitana de Santiago	84,83				1			1
Los Ríos	3,89							0
Arica y Parinacota	0,23							0
Ñuble	0,28							0
<b>Total</b>		-	1	-	1	-	1	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-11 Cantidad de proyectos de digestión anaeróbica por región 2030 – 2040, Medida 4.

Región	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	total
Tarapacá											0
Antofagasta											0
Atacama											0
Coquimbo											0
Valparaíso											0
Libertador General Bernardo O'Higgins											0
Maule											0
Bio-bío											0
La Araucanía											0
Los Lagos						1					1
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo											0
Magallanes y Antártica Chilena											0
Metropolitana de Santiago		1							1		2
Los Ríos											0
Arica y Parinacota											0
Ñuble											0
<b>Total</b>		1				1			1		3

Fuente: Elaboración propia.

- **Medida 5 y 6 – Captura de gas en rellenos sanitarios antiguos y nuevos**

Para la definición de la cantidad a disponer en residuos se calculó la cantidad de residuos que no se reducirían ni estarían siendo valorizados por las otras medidas, cabe señalar que se consideraron residuos tanto municipales como industriales en la estimación de los residuos dispuestos y, por lo tanto, en la generación de metano en los sitios de disposición.

Para esta medida se consideraron tanto los rellenos sanitarios anaeróbicos como los semi aeróbicos para la disposición de residuos municipales, mientras que para los residuos industriales se asumió que el tipo de sitio de disposición a la que se refería la categoría “relleno” correspondía a un relleno sanitario anaeróbico.

Para considerar en la estimación aquellos rellenos sanitarios existentes, se utilizó como base los sitios que se presentaban en el estudio de SUBDERE del 2018 con su respectiva cantidad de residuos municipales dispuestos al 2017. Estos datos permitieron estimar cómo iba a variar la cantidad de residuos tratados en rellenos sanitarios existentes y cuántos en nuevos.

Tabla 6-12 Rellenos sanitarios y su funcionamiento, Medida 5 y 6.

Sitio de disposición	Cantidad de RSD 2017 (toneladas)	2017	2025	2030	2035	2040	2045
RELLENO SANITARIO CERRO COLORADO	57.740	1	1	1	0	0	0
RELLENO SANITARIO QUEBRADA ANCHA	13.194	1	1	1	1	0	0
RELLENO SANITARIO CERRO MONTEVIDEO	11.976	1	1	1	0	0	0
RELLENO SANITARIO EL CHULO	62.326	1	1	1	1	0	0
RELLENO SANITARIO PROVINCIAL DEL HUASCO	23.378	1	1	1	0	0	0
RELLENO SANITARIO SAN PEDRO	172.905	1	1	1	0	0	0
CTI LA HORMIGA	77.969	1	1	1	0	0	0
RELLENO SANITARIO LAS QUILAS	37.618	1	1	1	0	0	0
CENTRO DE TRATAMIENTO ECO MAULE	66.613	1	0	0	0	0	0
RELLENO SANITARIO SAN ROQUE	27.879	1	1	1	1	1	0
RELLENO SANITARIO EL RETAMO	201.886	1	1	1	1	0	0
RELLENO SANITARIO PARQUE EL GUANACO	110.897	1	1	1	0	0	0
RELLENO SANITARIO INTERCOMUNAL ARAUCO-CURANILAHUE	21.573	1	1	1	0	0	0
RELLENO SANITARIO LOS ANGELES	220.629	1	1	1	1	0	0
RELLENO SANITARIO CEMARC	261.449	1	0	0	0	0	0
RELLENO SANITARIO COPIULEMU	127.371	1	0	0	0	0	0
VERTEDERO MUNICIPAL DE VICTORIA	22.680	1	0	0	0	0	0
CENTRO DE TRATAMIENTO INTEGRAL DE RSD DE FUTALEUFÚ	388	0	0	0	0	0	0
RELLENO SANITARIO LA LAJA	112.488	1	1	1	1	0	0
RELLENO SANITARIO VILLA O'HIGGINS	77	0	0	0	0	0	0
RELLENO SANITARIO PUERTO IBAÑEZ	717	1	1	1	1	0	0
CENTRO DE MANEJO DE RESIDUOS COYHAIQUE - CEMARC	27.200	1	1	1	1	0	0
RELLENO SANITARIO SANTIAGO PONIENTE	386.670	1	1	1	0	0	0
RELLENO SANITARIO SANTA MARTA	1.013.512	1	1	0	0	0	0
RELLENO SANITARIO LOMA LOS COLORADOS	1.710.200	1	1	1	1	1	0
RELLENO SANITARIO CAMARONES	248	1	1	1	1	0	0

Sitio de disposición	Cantidad de RSD 2017 (toneladas)	2017	2025	2030	2035	2040	2045
RELLENO SANITARIO FUNDO LAS CRUCES	157.083	1	1	1	0	0	0
<b>Total de RSD 2017 (toneladas)</b>	<b>4.926.665</b>	<b>25</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
Porcentaje de cobertura en rellenos sanitarios existentes Considera la proporción de residuos.		<b>100%</b>	<b>90,3%</b>	<b>69,7%</b>	<b>48,2%</b>	<b>35,2%</b>	<b>0%</b>

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de residuos por sitios de disposición y tipo se encuentran disponibles en el Excel de cálculo desarrollado en el marco de esta consultoría en caso de que se requiera su revisión.

- **Medida 7 - Reciclaje de papel y cartón**

Según los datos entregados de la cantidad de residuos de papel y cartón generados por región y año, y el porcentaje de reciclaje esperado por año durante la implementación de la medida 7, se obtiene la cantidad a reciclar a lo largo de los años. Se toma el supuesto de que la cantidad de papel y cartón a reciclar seguirá la misma proporción que los porcentajes definidos a nivel nacional.

Como ya se ha mencionado, para esta medida la Ley REP ya se encuentra en implementación y, por lo tanto, es obligación del productor del residuo hacerse cargo de esto mediante sistemas de recolección y su posterior valorización. De esta forma, desde un punto de vista público, el análisis económico de la medida va a estar dado por los ahorros por evitar la recolección, transporte y disposición de estos residuos.

Por lo mismo, el potencial de mitigación de la medida considera solo las emisiones producto del desvío de estos residuos a sitios de disposición final y no considera las emisiones que se producirían por el proceso de reciclaje del material. De igual forma, no se considera una reducción de emisiones por transporte y recolección porque este transporte se debería hacer de todas formas, pero hacia sitios de valorización del residuo.

- **Medida 8 – Reducción del desperdicio de alimentos**

Para la formulación de la medida de reducción de desperdicio de alimentos, se tomó como línea de base la proyección de residuos orgánicos dispuestos realizada por el Ministerio del Medio Ambiente. De esta fracción orgánica, se consideró que un 24% corresponde al desperdicio de alimentos. Este supuesto se basó en un estudio realizado por la EPA que indica que el 24% de los residuos dispuestos son alimentos. Es importante destacar que este porcentaje se aplicó únicamente a la fracción orgánica de los residuos dispuestos, en un enfoque conservador de la medida.

Por otro lado, se asumió que la recuperación se llevará a cabo a través de bancos de alimentos, lo que implica que los alimentos recuperados no pueden ser vendidos, sino que deben ser donados a organizaciones sociales. Los costos asociados a la medida se derivan de la experiencia de la Red de Alimentos y el Banco de Alimentos de Cerro Navia. Específicamente, el OPEX se calculó como un promedio de ambas operaciones, y el costo de inversión CAPEX se determinó en función de datos de Cerro Navia.

### 6.3.2. Identificación de zonas climáticas en Chile

Para la definición de zonas climáticas se utilizó como referencia las clasificaciones según el INGEI.

Tabla 6-137 Zonas climáticas por región.

Región	Zona climática
Región de Arica y Parinacota	Boreal and temperate, y dry
Región de Tarapacá	Boreal and temperate, y dry
Región de Antofagasta	Boreal and temperate, y dry
Región de Atacama	Boreal and temperate, y dry
Región de Coquimbo	Boreal and temperate, y dry
Región de Valparaíso	Boreal and temperate, y dry
Región Metropolitana	Boreal and temperate, y dry
Región de O'Higgins	Boreal and temperate, y dry
Región del Maule	Boreal and temperate, y wet
Región del Ñuble	Boreal and temperate, y wet
Región del Biobío	Boreal and temperate, y wet
Región de la Araucanía	Boreal and temperate, y wet
Región de Los Ríos	Boreal and temperate, y wet
Región de Los Lagos	Boreal and temperate, y wet
Región de Aysén	Boreal and temperate, y wet
Región de Magallanes y la Antártica Chilena	Boreal and temperate, y wet

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3.3. Costo anual equivalente por medida

Para estimar el costo anual equivalente por medida se consideraron los siguientes parámetros transversales a las zonas climáticas definidas y, en algunos casos, a los sistemas de manejo utilizados.

Tabla 6-148 Parámetros transversales para la estimación de costos anuales equivalentes.

Parámetros económicos y financieros	Valores	Fuente y/o comentario
USD a CLP (CLP/USD)	906,84	Dólar observado el 29 de septiembre del 2023 en el Banco Central.
Inflación acumulada	21,14%	Desde dic 2017 a julio 2023. <a href="https://calculadoradeinflacion.com/chile">https://calculadoradeinflacion.com/chile</a>
Tasa de descuento (%)	6%	Tasa de descuento social. <a href="https://sni.gob.cl/storage/docs/230401_Informe_Precios_Sociales_2023_SNI.pdf">https://sni.gob.cl/storage/docs/230401_Informe_Precios_Sociales_2023_SNI.pdf</a>
Precio de venta del compost (USD/t)	\$ 50	Supuesto conservador.
% de generación de compost (% de residuos tratados) (%)	30%	Experiencia del equipo asesor y conversaciones con desarrolladores.
Precio de venta biol/digestato (USD/t)	\$ 9,95	Jurgutis, L., Slepetiene, A., Slepety, J., Ceseviciene, J. Towards a Full Circular Economy in Biogas Plants: Sustainable Management of Digestate for Growing Biomass Feedstocks and Use as Biofertilizer. <i>Energies</i> 2021, 14, 4272.
% de generación de biol/digestato (% de residuos tratados) (%)	85%	EBA 2023 - Beyond energy: monetising biomethane's whole-system benefits. Digestate Yield, representative for all feedstock
Precio de venta/ahorro de electricidad (USD/MWh)	\$ 47,66	Precio estabilizado de venta de energía. (Diario Oficial de la República de Chile, 2023)
Precio social del carbono (USD/tCO2e)	\$ 32,50	Precio social del carbono promedio. <a href="https://sni.gob.cl/storage/docs/230401_Informe_Precios_Sociales_2023_SNI.pdf">https://sni.gob.cl/storage/docs/230401_Informe_Precios_Sociales_2023_SNI.pdf</a>

Parámetros económicos y financieros	Valores	Fuente y/o comentario
<b>Factor de emisión por transporte de residuos (kCO2e/t/km)</b>	0,469	Se asume para el proceso de recolección y transporte un vehículo con características "Rigid (<7,5 tonnes - 17 tonnes) Average Laden": - "Freighting godos": 0.38655 (kgCO2e/t km) - "WTT - delivery vehs & freight (Well to tank): 0.08238 (kg CO2e/t km)  <a href="https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022">https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2022</a>

Fuente: Elaboración propia.

Luego, para estimar los parámetros asociados a las zonas climáticas definidas se realizó una ponderación, respecto a la cantidad de residuos por comuna, tomando de referencia el estudio de SUBDERE del 2018 que presenta las tarifas por gestión de residuos de manera disgregada a nivel comunal. De esta forma, se obtuvo un valor por región y un valor por zona climática.

Por último, para estimar la distancia al sitio de disposición que permite calcular los ahorros por recolección y transporte, se utilizó la información levantada para el ejercicio de priorización realizado en el marco del Programa Reciclo Orgánicos que calculaba la distancia promedio entre el centro de la comuna y el sitio de disposición correspondiente. Al igual que los parámetros anteriores, primero se obtuvo un valor ponderado por región y luego por zona climática, en función de la cantidad de residuos dispuestos según el estudio de SUBDERE.

A continuación, se presentan las Tablas donde se muestran los parámetros ponderados por región según la cantidad de residuos dispuesto en cada territorio, y luego el ponderado por zona climática.

Tabla 6-159 Parámetros ponderados por región.

Región	Residuos dispuestos 2017 (toneladas)	Costo por recolección y transporte (CLP/t)	Costo por disposición (CLP/t)	Distancia al sitio de disposición (km)
Tarapacá	174.360	\$24.908	\$16.455	18
Antofagasta	301.299	\$14.414	\$9.522	15
Atacama	108.439	\$40.049	\$26.457	19
Coquimbo	341.700	\$12.710	\$8.396	14
Valparaíso	812.777	\$5.324	\$3.517	34
Libertador General Bernardo O'Higgins	278.663	\$15.585	\$10.296	42
Maule	428.980	\$18.166	\$4.578	39
Bio-bío	736.554	\$10.580	\$2.666	22
La Araucanía	170.207	\$45.784	\$11.538	177
Los Lagos	333.079	\$23.396	\$5.896	15
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	51.857	\$150.274	\$37.869	16
Magallanes y Antártica Chilena	99.210	\$78.548	\$19.794	16
Metropolitana de Santiago	3.176.763	\$1.367	\$903	50
Los Ríos	173.445	\$44.929	\$11.322	43
Arica y Parinacota	140.155	\$30.987	\$20.470	12
Ñuble	157.083	\$49.609	\$12.502	30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-10 Parámetros ponderados por zona climática.

Zona climática	Costo por recolección y transporte (CLP/t) SUBDERE	Costo por disposición (CLP/t) SUBDERE	Distancia al sitio de disposición (km) PRIORIZACIÓN
Boreal y templado, y seco	\$25.177	\$ 9.765	40
Boreal y templado, y húmedo	\$35.187	\$ 9.573	39

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, las siguientes tablas presentan los parámetros específicos por medida que fueron utilizados para el cálculo de los costos anuales equivalentes.

Tabla 6-1611 Medida 1 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes.

Medida 1 – Compostaje domiciliario en viviendas		
Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Factor de recuperación del capital (FRC)	16%	Calculado con tasa de descuento del 6% y una vida útil de 8 años.
Costo por equipo (USD/equipo)	\$ 43	Costos de una cotización realizada en el marco del Programa Reciclo Orgánicos. Incluye el equipo de compostaje, la capacitación y el programa de seguimiento durante el primer año.
Costo de capacitación por equipo (USD/equipo)	\$ 65	
IVA	19%	IVA
Costo total por equipo (+ capacitación) (USD/equipo)	\$ 129	
Cantidad de RO tratados por un equipo en vivienda (t/año)	0,432	Estimado previamente en la subsección 1.1.1 Definición del alcance de las medidas.
Ingresos/ahorros por venta/uso de compost (1: sí, 0: no)	0	No se consideraron ahorros por uso de compost.
Beneficios por precio social del carbono (1: sí, 0: no)	0	No se consideraron beneficios por precio social del carbono.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-1712 Medida 2 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes.

Medida 1 – Compostaje domiciliario en establecimientos educacionales		
Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Factor de recuperación del capital (FRC)	16%	Calculado con tasa de descuento del 6% y una vida útil de 8 años.
Costo por equipo (USD/equipo)	\$ 43	Costos de una cotización realizada en el marco del Programa Reciclo Orgánicos. Incluye el equipo de compostaje, la capacitación y el programa de seguimiento durante el primer año.
Costo de capacitación por equipo (USD/equipo)	\$ 65	
IVA	19%	IVA
Costo total por equipo (+ capacitación) (USD/equipo)	\$ 129	
Cantidad de RO tratados por programa (t/año)	2,309	Estimado previamente en la subsección 1.1.1 Definición del alcance de las medidas. El Programa considera 20 composteras.
Ingresos/ahorros por venta/uso de compost (1: sí, 0: no)	0	No se consideraron ahorros por uso de compost.
Beneficios por precio social del carbono (1: sí, 0: no)	0	No se consideraron beneficios por precio social del carbono.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-1813 Medida 3 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes.

Medida 3 – Compostaje a gran escala		
Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Factor de recuperación del capital (FRC)	8,7%	calculado.
Capacidad total por proyecto (kton)	10	Residuos orgánicos verdes entendidos como los restos de alimentos, verduras y frutas.
	50	
	100	

<b>Medida 3 – Compostaje a gran escala</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Fuente y/o comentario</b>
		Esto quiere decir que esta capacidad no considera la fracción “café” que corresponde a aquellos residuos de restos de poda y jardín que son más ricos en carbono necesarios para realizar el proceso de compostaje. Por otro lado, se asume que la mayoría de los residuos cafés no son dispuestos en rellenos sanitarios por lo que no están estimados en la proyección de residuos del MMA.
Cantidad de residuos verdes y café (suma) en pilas abiertas	2,52	Criterio experto.
Cantidad de residuos verdes y café (suma) en aireación forzada	2,10	Criterio experto.
Ingresos/ahorros por venta/uso de compost (1: sí, 0: no)	1	Supuesto
% de compost vendido/ahorrado (respecto al total generado)	50%	Supuesto
Beneficios por precio social del carbono (1: sí, 0: no)	0	Supuesto
CAPEX (USD/tpa)	75 - 80	BID, 2022.
OPEX (USD/tpa)	40 - 45	<a href="https://publications.iadb.org/es/hacia-la-valorizacion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe-conceptos-basicos-analisis">https://publications.iadb.org/es/hacia-la-valorizacion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe-conceptos-basicos-analisis</a>
<b>CAPEX y OPEX para el tratamiento de pilas abiertas</b>		
CAPEX (MM USD)		Se asume el valor mínimo del intervalo (\$75), porque pilas abiertas es un tratamiento de valorización más económico que la aireación forzada.
10 kton	1,89	
36 kton	6,8	
100 kton	18,9	Sin embargo, la proporción entre verdes y cafés es mayor, por lo que la inversión total es superior.
OPEX (MM USD)		Se asume el valor máximo del intervalo, porque la operación es más intensiva que aireación forzada.
10 kton	1,1	
36 kton	4,1	
100 kton	11,3	
<b>CAPEX y OPEX para el tratamiento de aireación forzada</b>		
CAPEX (MM USD)		Se asume el valor máximo del intervalo (\$80), porque aireación forzada requiere más inversión asociado a los equipos propios de la tecnología.
10 kton	1,7	
36 kton	6,0	
OPEX (MM USD)		Se asume el valor mínimo del intervalo, porque la operación es menos intensiva que pilas abiertas.
10 kton	0,8	
36 kton	3,1	
Reinversión (% del CAPEX)	7%	Considera la reinversión en lonas la cual se debe realizar cada 7 años. De manera general, se ha observado que la inversión en tecnología corresponde al 22% del CAPEX y, a su vez, las lonas se estiman en un 30% del sistema de manejo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-1914 Medida 4 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes.

<b>Medida 4 – Digestión anaeróbica</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Fuente y/o comentario</b>
Factor de recuperación del capital (FRC)	13,4%	Calculado con tasa de descuento del 12% y una vida útil de 20 años. La tasa de descuento utilizada corresponde a una tasa de descuento privada.
Capacidad total por proyecto (kton/año)	36,5	Residuos industriales de alimentos

Medida 4 – Digestión anaeróbica		
Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
CAPEX (USD/tpa)	195	Corresponde por los valores medios de la referencia. BID, 2022. <a href="https://publications.iadb.org/es/hacia-la-valorizacion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe-conceptos-basicos-analisis">https://publications.iadb.org/es/hacia-la-valorizacion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe-conceptos-basicos-analisis</a>
OPEX (USD/tpa)	40	
CAPEX (MM USD)	7,12	Obtenido por la multiplicación de la capacidad por los valores.
OPEX (MM USD)	1,46	
Ingresos/ahorros por venta/uso de digestato/biol (1: sí, 0: no)	0	Supuesto
% de digestato/biol vendido/ahorrado (respecto al total generado)	20%	Supuesto
Generación de electricidad (MWh/año)	9.354	Calculado en función de parámetros de rendimiento específicos. Más detalles en la siguiente sección. Ya está descontado la electricidad que requiere para su funcionamiento.
Ingresos/ahorros por venta/uso de electricidad (1: sí, 0: no)	1	Supuesto
% de electricidad vendido/usado (respecto al total generado)	50%	Supuesto
Beneficios por precio social del carbono (1: sí, 0: no)	0	Supuesto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-2015 Medida 5 y 6 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes.

Medida 5 y 6 – Captura de gas en rellenos sanitarios		
Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Factor de recuperación del capital (FRC)	18%	Calculado con tasa de descuento del 6% y una vida útil de 20 años.
CAPEX (MM USD/pozo de extracción)	0,31	Fue calculado considerando el promedio de diferentes estudios. Considera los costos por pozo, y el costo de la succión y de la antorcha.
Cantidad de pozos	Variable	La cantidad de pozos se definió según la cantidad de biogás generado lo que depende de la cantidad de residuos dispuestos y la zona climática en la que se emplaza.
OPEX (% CAPEX)	9,3%	Definido según criterio experto.
Factor de corrección de metano (-)	1,0	Relleno sanitario del tipo anaeróbico. Según el INGEI.
	0,8	Relleno sanitario del tipo semi aeróbico. Según el INGEI.
Beneficios por precio social del carbono (1: sí, 0: no)	0	Supuesto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-2116 Medida 7 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes.

Medida 7 – Reciclaje de Papel y Cartón		
Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Factor de recuperación del capital (FRC)	8,7%	Calculado con tasa de descuento del 6% y una vida útil de 20 años.
<b>Esta medida solo consideró ahorros por recolección, transporte y disposición percibidos por la municipalidad al no tener que gestionar los residuos de papel y cartón.</b>		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-22 Medida 8 Parámetros para la estimación de costos anuales equivalentes.

Medida 8 – Reducción del desperdicio de alimentos		
Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Factor de recuperación del capital (FRC)	8,7%	Calculado con tasa de descuento del 6% y una vida útil de 20 años.
Capacidad total por proyecto (kton/año)	874	Promedio de la capacidad alcanzada a lo largo de los años de implementación de la medida.
Tasa de Inflación	7,65%	Tasa de inflación calculada entre enero de 2022 y septiembre de 2023.
CAPEX (USD/ton)	0,048	Se ajustan según inflación valores Banco de Alimentos de Cerro
OPEX (USD/ton-año)	0,2048	Navia y se promedian con los entregados por la red de alimentos.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presentan los costos anuales equivalentes de las medidas 1 al 8.

Tabla 6-2317 Costo anual equivalente por medida.

Medida	Costo anual equivalente (MM USD)
M1 - CDV	\$ 0,61
M2 - CDEE	\$ 0,04
M3 - CGE	\$ 200,97
M4 - DA RISES	\$ 20,76
M5 - LFG V	\$ 2,03
M6 - LFG N	\$ 0,78
M7 - RPC	\$ -46,64
M8 - PDA	\$ 87,11

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.3.4. Estimación del potencial de mitigación

Para el cálculo de la eficiencia de captura también se utilizó como base la información el estudio de SUBDERE del 2018, en especial para la identificación de los sitios de disposición y su tipo. Además, se tomó en consideración los supuestos definidos en los Protocolos de MRV desarrollados en el marco del Programa Reciclo Orgánicos Chile. Estos establecían un valor para la eficiencia de captura en los sitios de disposición, siendo para la mayoría de las regiones 5%, mientras que Valparaíso, Metropolitana y Los Lagos, 27%, 26% y 14%, respectivamente. Mientras que, para los otros tipos de sitios de disposición como vertederos o basurales, se asumió su eficiencia de captura en un 0%.

Para la estimación del factor de corrección del metano (MCF) se consideró la base de datos compartida por el MMA en la que se identificaban 4 tipos de sitios de disposición por Región. Tomando como referencia las características y definiciones del INGEI de Chile, se asumió que el MCF para rellenos sanitarios anaeróbicos era 1, semi aeróbicos 0,8, vertederos 0,3 y basura 0,2. Estos factores fueron ponderados por la cantidad de residuos por sitio para obtener un MCF representativo por zona climática.

Tabla 6-24 Parámetros por región

Región	Factor de Corrección del Metano (MCF)	Eficiencia de captura (%)
Tarapacá	0,32	0,08%
Antofagasta	0,30	1,18%

Región	Factor de Corrección del Metano (MCF)	Eficiencia de captura (%)
Atacama	0,77	4,50%
Coquimbo	0,58	2,78%
Valparaíso	0,96	24,66%
Libertador General Bernardo O'Higgins	1,00	5,00%
Maule	0,94	4,75%
Bio-bío	0,91	4,28%
La Araucanía	0,34	1,60%
Los Lagos	0,28	4,74%
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	0,27	2,70%
Magallanes y Antártica Chilena	0,29	0,00%
Metropolitana de Santiago	0,99	25,46%
Los Ríos	0,93	0,00%
Arica y Parinacota	0,30	0,01%
Ñuble	1,00	5,00%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-2518 Parámetros ponderados por zona climática.

Parámetros por condiciones climáticas	Factor de Corrección del Metano (MCF)	Eficiencia de captura (%)
Boreal and temperate, and dry	0,90	19,52%
Boreal and temperate, and wet	0,72	3,71%

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la siguiente tabla presenta los valores de los parámetros que son transversales a las medidas relacionados con las emisiones de línea base de más de una medida.

Tabla 6-2619 Parámetros transversales para la estimación del potencial de mitigación.

Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Factor de corrección del modelo	0,8 o 0,85, o 0,75	Para las medidas 1, 2, 3 y 4: - Si MAP/PET < 1, es 0,8. En caso contrario, el factor es 0,85. Para las medidas 5 y 6: - 0,75 independiente de si es húmedo o seco.
Potencial de calentamiento global (GWP) metano (tCO2e/tCH4)	28	Acordado con la contraparte técnica.
Factor de oxidación	10%	Por defecto.
Fracción de metano en gas de relleno	50%	Por defecto.
Fracción de carbono orgánico degradable	50%	Por defecto.
Densidad del metano (kg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	0,716	<a href="https://cdm.unfccc.int/EB/028/eb28_repan13.pdf">https://cdm.unfccc.int/EB/028/eb28_repan13.pdf</a>
Factor de emisión de la red (tCO2e/MWh)	0,040	Se tomó como base la proyección del factor de la red compartida por el MMA que comprendía del 2020 al 2030. Para este ejercicio se consideró solo la proyección del 2025 al 2030 y se asumió constante desde el 2030 al 2050. Con esta proyección y supuestos se calculó el promedio de la red de los años 2025 al 2050.
Pérdidas técnicas de la red	20%	Valor por defecto para el Escenario A, considerando ECPj>ECBL. "Tool 05. Methodological tool: Baseline, project and/or leakage emissions from electricity consumption and monitoring of electricity generation".
<b>Parámetros del proceso de compostaje</b>		

Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Factor de emisión de metano de una tonelada de residuo compostado (base húmeda)	0,004	Según el INGEI de Chile.
Factor de emisión de óxido nitroso de una tonelada de residuo compostado (base húmeda)	0,00024	Según el INGEI de Chile
Potencial de calentamiento global (GWP) óxido nitroso.	265	Por acuerdo con la contraparte técnica.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, las siguientes tablas presentan los parámetros específicos por medida que fueron utilizados para el cálculo del potencial de mitigación.

Tabla 6-2720 Medida 1 y 2 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación.

Medida 1 – Compostaje domiciliario en viviendas		
Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Cantidad de residuos tratados (t/año)	0,432	Asume el tratamiento por compostera de 0,432 toneladas por año.
Residuos de alimentos	100%	Se está asumiendo que en el escenario de línea base, los residuos de restos de poda y jardín no serían dispuestos en el relleno sanitario.
Medida 2 – Compostaje domiciliario en establecimientos educacionales		
Cantidad de residuos tratados (t/año)	0,231	Asume el tratamiento por compostera de 0,231 toneladas por año por compostera en establecimiento educacional.
Residuos de alimentos	100%	Se está asumiendo que en el escenario de línea base, los residuos de restos de poda y jardín no serían dispuestos en el relleno sanitario.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-2821 Medida 3 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación.

Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Consumo del sistema eléctrico de la planta (kW)	1	Por defecto considerando sistemas de luces y conexiones simples.
Horas de uso de electricidad de la planta (hr/año)	3.129	Se asume 12 horas de uso al día, por 5 días a la semana.
Promedio ponderado del valor calorífico neto para diesel (TJ/Gg)	43	IPCC (2006). Chapter 1 of Vol. 2 (Energy). Upper limit in Table 1.2
Factor de emisión de CO2 del diesel (kg CO2/TJ)	74.100	IPCC (2006). Chapter 1 of Vol. 2 (Energy). Upper limit in Table 1.4
Densidad del diesel (kg/lit diesel)	0,85	<a href="https://ww2.copec.cl/combustibles/products/diesel-ultra">https://ww2.copec.cl/combustibles/products/diesel-ultra</a>
Residuos de alimentos	100%	Se está asumiendo que en el escenario de línea base, los residuos de restos de poda y jardín no serían dispuestos en el relleno sanitario.
Cantidad de residuos tratados (t/año)	10.000	De residuos verdes, pero para calcular el consumo de electricidad y/o combustible se considera la cantidad total de residuos orgánicos (fracción verde y café).  Para el proceso de compostaje se requiere 1,52 kton de restos de poda y jardín por tonelada de residuos de alimentos para pilas abiertas, y 1,1 kton por de restos de poda y jardín por tonelada de alimentos en aireación forzada.
	36.000	
	100.000	
Tratamiento de pilas abiertas		
Consumo de combustible (Lt/t)	5,3	Por tonelada de residuo tratada.

Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
		Este valor se estimó tomando de referencia diferentes pre evaluaciones desarrollados por el equipo consultor para proyectos del Programa Reciclo Orgánicos Chile.
<b>Tratamiento de aireación forzada</b>		
Consumo de electricidad del sistema de aireación forzada (kWh/t)	2	Por información entregada por un proveedor de tecnología. Es por tonelada de residuos tratada.
Consumo de combustible (Lt/t)	2,61	Por tonelada de residuo tratada. Estimados bajo el mismo supuesto que el consumo de combustible anterior.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-2922 Medida 4 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación.

Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Cantidad de residuos tratados (t/año)	56,5	Corresponden a residuos orgánicos municipales.
Sólidos totales (TS) (%)	40%	Guía de planificación para proyectos en Chile (GIZ, 2012). <a href="https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/20373">https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/20373</a>
Sólidos volátiles (VS) (%)	50%	
Producción de biogás (m3/t VS digeridos)	600	
Contenido de metano en el biogás (%)	60%	
Valor calorífico del metano (kg/m3)	9,97	<a href="https://scielo.conicyt.cl/pdf/idadesia/v34n5/aop1116.pdf">https://scielo.conicyt.cl/pdf/idadesia/v34n5/aop1116.pdf</a>
Eficiencia eléctrica CHP (%)	42%	Referencia de un proyecto anterior.
Consumo local y pérdidas	10%	Supuesto.
Fugas de biogás (%)	5%	Por defecto. 5% del generado.
Densidad del biogás (kg/L biogás)	0,0012	<a href="https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf">https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf</a>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-3023 Medida 5 y 6 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación.

Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
MCF	0,8 o 1	Dependiendo del tipo de sitio de disposición, anaeróbico será 1, semi aeróbico 0,8.
Eficiencia de captura del sistema de captura de biogás	50%	Por defecto.
Eficiencia del sistema de quema	90%	Se asume un sistema de quema cerrada cuya eficiencia por defecto es de 90%.
Blower	60	La información de los supuestos se obtuvo del proyecto de Huaycoloro, gran relleno sanitario de Lima, Perú, con sistema de captura y generación de electricidad.
Compresor	8	
Blower purge	1	
Cooler	3	Más información en <a href="https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1160995060.18/view?cp=1">https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1160995060.18/view?cp=1</a>
Sistemas electrónicos	3	
Sistema de succión	1	Unidad definida.
1 HP = 07457 (kW)	1,341	Equivalencia.
Horas de funcionamiento de los generadores (hrs/año)	7.884	Contempla un factor de planta del 90%.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-3124 Medida 8 Parámetros específicos para la estimación del potencial de mitigación.

Parámetros	Valor	Fuente y/o comentario
Potencia de la instalación (kW)	15	Potencia requerida para un contenedor Reefer
Horas de funcionamiento de los generadores (hrs/año)	2.604	Se considera que funciona 6 horas al día todos los días del año.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los potenciales de mitigación de cada una de las medidas.

Tabla 6-3225 Potencial de mitigación de cada medida.

Medida	Potencial de mitigación 2025-2030 (MtCO2e)	Potencial de mitigación 2025-2050 (MtCO2e)
M1 – Compostaje domiciliario en viviendas	0,02	0,17
M2 – Compostaje domiciliario en establecimientos educacionales	0,0002	0,001
M3 – Compostaje a gran escala	-0,16	8,06
M4 – Digestión anaeróbica de residuos industriales	0,06	1,27
M5 – Captura de gas de relleno en rellenos sanitarios existentes	4,41	23,41
M6 – Captura de gas de relleno en rellenos sanitarios nuevos	2,94	25,26
M7 – Reciclaje de papel y cartón	0,67	17,94
M8 – Pérdida y desperdicio de alimentos	0,43	6,61
<b>Total</b>	<b>8,36</b>	<b>82,72</b>

Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar que las el compostaje a gran escala presenta un potencial de mitigación negativo en la ventana de tiempo 2025-2030 porque las emisiones en el escenario con proyecto debido al proceso de compostaje mismo, al consumo de combustible y energía son mayores que las emisiones por disposición, sin embargo, con el paso del tiempo y la acumulación de residuos orgánicos en el escenario de línea base el potencial de mitigación en los 20 años es positivo.