



*Al servicio
de las personas
y las naciones*

INFORME FINAL

Proyección Escenario Línea Base 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Residuos Antrópicos

PNUD SDP 26/2013

GreenLabUC

Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A.

Santiago, 31 de Enero de 2014

Equipo de Trabajo

Jefe de Proyecto

Claudio Huepe Minoletti

Equipo de Expertos

Karin Von Osten

César Sáez

Andrés Pica Téllez

José Miguel Friz

Equipo Operativo

Macarena Larraín

Cristián Bravo Fritz

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	3
2.1	objetivo general	3
2.2	objetivos específicos de este informe	3
3.	METODOLOGÍA.....	4
3.1	RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES	4
3.1.1	MODELO DE PROYECCIÓN	5
3.1.2	CÁLCULO DE EMISIONES.....	13
3.1.1	DIAGRAMA RESUMEN	18
3.1.2	FUENTES DE INFORMACIÓN	19
3.2	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y LODOS RESIDUALES.	20
3.2.1	MODELO DE PROYECCIÓN	20
3.2.2	CÁLCULO DE EMISIONES.....	22
3.2.3	FUENTES DE INFORMACIÓN	25
3.3	AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	25
3.3.1	MODELO DE PROYECCIÓN	25
3.3.2	CÁLCULO DE EMISIONES.....	26
3.3.3	FUENTES DE INFORMACIÓN	28
3.4	RESIDUOS HOSPITALARIOS	28
3.4.1	MODELO DE PROYECCIÓN	28
3.4.2	CÁLCULO DE EMISIONES.....	29
3.4.3	FUENTES DE INFORMACIÓN	30
3.5	EXCRETAS HUMANAS	30
3.5.1	MODELO DE PROYECCIÓN	30
3.5.2	CÁLCULO DE EMISIONES.....	33
3.5.3	FUENTES DE INFORMACIÓN	34
4.	RESULTADOS PROYECCIÓN LÍNEA BASE 2013	35
4.1	RESULTADOS A NIVEL NACIONAL	35
4.2	COMPARACIÓN CON LÍNEA DE BASE 2007	37

4.3	RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES	38
4.4	Aguas Residuales Domésticas y Lodos Domésticos.	43
4.5	Aguas Residuales Industriales y Lodos Residuales.	45
4.6	Residuos Hospitalarios.....	47
4.7	Excretas Humanas.	48
5.	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	49
5.1	Identificación De Medidas	49
5.2	Implementación De Medidas	49
5.3	Evaluación Económica De Las Medidas	50
5.4	Resumen De Medidas Evaluadas	52
5.5	RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE MITIGACIÓN.....	53
5.5.1	ORDEN DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS.	55
5.5.2	RESULTADOS.....	56
5.6	Fichas De Las Medidas.....	59
5.6.1	Compostaje Domiciliario	59
5.6.2	Aumento De Reciclaje.....	64
5.6.3	Compostaje En Planta.....	69
5.6.4	Compostaje De RSM Provenientes De Ferias Libres.....	75
5.6.5	Planta De Digestión Anaerobia De RSM Orgánicos	80
5.6.6	Captura Y Quema Controlada De Biogás Con Antorchas.....	85
5.6.7	Inyección De Biogás A La Red De Gas Natural	91
5.6.8	Generación Eléctrica Con Biogás En Rellenos Sanitarios	95
5.6.9	Aprovechamiento Térmico Del Biogás	103
5.6.10	Pelletización de RSM	109
5.6.11	incineración de RSM	114
5.6.12	Compostaje De Lodos Domiciliarios	120
5.6.13	Digestión De Lodos Domiciliarios	126
5.6.14	Aprovechamiento De Lodos Domiciliarios Sobre Suelos	132
5.6.15	Tratamiento De RILes	132
5.6.16	Tratamiento Mecánico Biológico (TMB).....	133
6.	CONCLUSIONES	139
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	140
8.	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 : Materia orgánica en los residuos	5
Tabla 3-2 Fuentes de información para composición de residuos	10
Tabla 3-3 Categorías SEDS	14
Tabla 3-4: SEDS por región	14
Tabla 3-5 Carbono Orgánico Degradable por componente en porcentaje del peso total.	15
Tabla 3-6 : Parámetros utilizados para el cálculo de las emisiones	16
Tabla 3-7 Tasa de descomposición de Residuos por Región	16
Tabla 3-8 Captura de metano por región	17
Tabla 3-9 : Fuentes de Información sector Residuos Sólidos Municipales	19
Tabla 3-10 : Factores de emisión (EF) pra los distintos tipos de tratamiento de aguas servidas	22
Tabla 3-11 : Fracción de producción y separación de lodos	23
Tabla 3-12 . Fuentes de Información para el Tratamiento de Agua Servidas Domésticas	25
Tabla 3-13: DQO por tipo de industria.....	27
Tabla 3-14. MCF distintos tratamientos	28
Tabla 3-15. B ₀ para RILes	28
Tabla 3-16 Fuentes de información aguas residuales industriales	28
Tabla 3-17. Parámetros para el cálculo de emisiones	30
Tabla 3-18 Fuentes de información incineración residuos hospitalarios	30
Tabla 3-19. Parámetros para el cálculo de emisiones de excetas humanas.....	34
Tabla 3-20. Fuentes de información excretas humanas	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 . Generación residuos per Cápita/PIB per cápita - países OCDE.....	6
Figura 3-2 : Composición de la generación de los Residuos	11
Figura 3-3 : Relación entre la generación per cápita en la RM y otras regiones.....	12
Figura 3-4 : Toneladas de deposito de residuo por tipo de SEDS	15
Figura 3-5 Diagrama emisiones	18
Figura 3-6 : Aumento de la cobertura del tratamiento de aguas servidas en los últimos años	20
Figura 3-7 : Evolución de los tipos de tratamiento de aguas servidas en el tiempo.	21
Figura 3-8 : Taratamiento de lodos.....	24
Figura 3-9 Generación de Riles en el tiempo	26
Figura 3-10 : Generación de Residuos Hospitalarios	29
Figura 3-11 : Regresión entre el tiempo y el consumo proteínas per cápita diario (g/(hab*día)).....	32
Figura 4-1: Emisiones totales de los residuos antrópicos	35
Figura 4-2: Emisiones totales del sector según escenarios de crecimiento	Error! Bookmark not defined.
Figura 4-3 Comparación LB 2007 y LB 2013.....	38
Figura 4-4 Generación de RSM per Cápita en el tiempo	39
Figura 4-5 Generacion de RSM en el tiempo a nivel mundial.....	39
Figura 4-6 Generación total de residuos en Chile.....	40
Figura 4-7 Generación de residuos anuales per cápita.....	41
Figura 4-8 Emisión de Metano de los RSM	42
Figura 4-9 Emisiones per cápita de proveniente de los RSM.....	43
Figura 4-10 Caudal tratado por tipo de tratamiento	44
Figura 4-11 : Emisiones en aguas domésticas por región	45
Figura 4-12: Carga Orgánica proyectada en los RILes	46
Figura 4-13 Emisiones en los RILes	47
Figura 4-14 Emisiones de la incineración de residuos hospitalarios	48
Figura 4-15: Emisiones en las excretas humanas.	48
Figura 5-1 : Ejemplo orden de medidas.....	55
Figura 5-2 : Emisiones Totales por Escenario	56
Figura 5-3 : Costos de inversión y operación por escenario	57
Figura 5-4 : Residuos depositados en los SEDS por escenario.....	58

Abreviaturas

FE:	Factores de Emisión
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
IPC:	Ingreso Per Cápita
PPC o PPA:	Paridad del Poder de Compra o Paridad del Poder Adquisitivo
SIC:	Sistema Interconectado Central
SING:	Sistema Interconectado del Norte Grande
TIR:	Tasa Interna de Retorno
VAN:	Valor Actual Neto
GPC:	Generación per cápita (de residuos)
RSM:	Residuos Sólidos Municipales
AS:	Aguas Servidas
TAS:	Tratamiento de aguas servidas
PTAS:	Planta de tratamiento de aguas servidas
DQO:	Demanda química de oxígeno.
DBO:	Demanda bioquímica de oxígeno
COD:	Carbono orgánico disuelto.
PIBpc:	PIB per Cápita

Prefijos

T :	Tera (10^{12})
G:	Giga (10^9)
M:	Mega (10^6)
K:	Kilo (10^3)
m:	Mili (10^{-3})
μ:	Micro (10^{-6})
n:	Nano (10^{-9})

Unidades Básicas

A:	Ampere (Corriente eléctrica)
m:	Metro (Longitud)
Kg:	Kilogramo (Masa)
S:	Segundo (Tiempo)
°C:	Celsius (Temperatura)

Unidades Derivadas

m/s :	Metro por segundo (Velocidad)
m/s ² :	Metro por segundo al cuadrado (Aceleración)
J:	Joule (Energía, Trabajo)
W:	Watt (Potencia)
Ton:	Tonelada(Masa)

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio se desarrolló con el propósito de proyectar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), para el escenario Línea Base 2012 y Escenarios de Mitigación (en un horizonte de evaluación 2012-2050) para el sector de residuos antrópicos, el cual comprende los residuos sólidos urbanos (municipales), los residuos líquidos (incluyendo tratamiento de aguas servidas y lodos domésticos y tratamiento de aguas residuales y lodos residuales), los residuos hospitalarios y las excretas humanas¹.

En ese marco, se definió siete objetivos específicos:

- 1) Completar los vacíos de información de manera de proyectar adecuadamente el escenario Línea Base 2012 y Escenarios de Mitigación.
- 2) Entender los resultados asociados a los estudios previos sobre la materia, en particular, aquellos provenientes del estudio de emisiones de GEI nacionales para el escenario Línea Base para el horizonte de evaluación 2007-2050.
- 3) Modelar un conjunto de medidas de mitigación e identificar los instrumentos económicos y regulatorios necesarios para su implementación.
- 4) Disponer de un modelo computacional validado el cual permita la simulación del Escenario Línea Base 2012 y a su vez permita la integración y simulación de una serie de medidas de mitigación.
- 5) Proyectar las emisiones de GEI para el escenario Línea Tendencial 2012 a nivel nacional, con un horizonte de evaluación 2012-2050, detallando los resultados para los años 2020, 2030 y 2050.
- 6) Proyectar las emisiones de GEI para distintos Escenarios de Mitigación a nivel nacional, con un horizonte de evaluación 2012-2050, detallando los resultados para los años 2020, 2030 y 2050.
- 7) Calcular un conjunto de indicadores para representar las medidas de mitigación, Escenarios de Mitigación y Línea Base 2012

Para cumplir con lo anterior se revisó los estudios previos y varios estudios nacionales e internacionales sobre el tema de residuos y en particular sobre la relación con las emisiones de GEI. Se diseñó luego una metodología general, que a grandes rasgos sigue cuatro etapas:

- Determinación de generación/disposición de residuos
- Determinación de composición, en particular orgánico
- Identificación y caracterización de procesos y tratamientos de residuos
- Cálculo de Emisiones

¹ En particular, en este caso se considera la emisión de óxido nitroso.

El objetivo de este análisis no es *predecir* la evolución de las variables relevantes, sino identificar razonadamente los principales aspectos que determinan su posible evolución futura y así determinar las mejores opciones de mitigación y un rango de evolución posible bajo las condiciones determinadas.

La metodología de proyección considera el año 2030 como punto clave, en particular por el mayor grado de incertidumbre que existe sobre la posible evolución de las variables después de ese año. Se simplifica las proyecciones de manera de permitir analizar diversos escenarios de largo plazo.

La aplicación de variables específicas en la modelación de las emisiones proyectadas para los varios componentes de los residuos antrópicos pertinentes son los siguientes:

	Residuos Sólidos Urbanos	Residuos Líquidos Domiciliarios	Residuos Líquidos Industriales	Excretas Humanas	Residuos Hospitalarios
Generación	PIB per Cápita PPA OCDE	Población	Carga orgánica según crecimiento actividad industrial	Población	Tendencia Histórica
Composición o Parte Orgánica	IPCC Sudamérica y Europa del Sur	DBO=300mg/lit		Contenido protéico según PIB per Cápita	No Aplica
Tratamiento	Plan de Obras de SUBDERE	Cobertura y tratamientos constantes	Por tipo de industria	No Aplica	No Aplica
Emisiones	Desagregada regionalmente según pluviometría	Parámetros Físicoquímicos IPCC	Parámetros Físicoquímicos IPCC	Parámetros Físicoquímicos IPCC	Parámetros Físicoquímicos IPCC

Debe notarse que el nivel de detalle planteado para los Residuos Sólidos Municipales supera por mucho al de los demás sectores, dada su importancia relativa dentro de los residuos antrópicos de acuerdo con los antecedentes oficiales disponibles actualmente.

La línea de base se consideró, suponiendo que sólo los programas vigentes son parte de ésta, pero se asumió ciertos posibles cambios de comportamiento exógenos.

En el caso de los residuos sólidos municipales, el compostaje y reciclaje se supusieron (porcentualmente) constantes e igual al 2012 en todo el período. Por otra parte, se supuso que la generación se relaciona con el PIB per cápita de la misma manera que los países OCDE (pero diferenciando por sus características específicas).

En cuanto a la composición (componente orgánica), se utilizó como punto de inicio (2013) la composición de Sudamérica según el IPCC, mientras que se suponía que se alcanzaba la composición de Europa del Sur al 2005 según el IPCC y luego se realizó una interpolación entre 2013 y 2030, para mantener luego constante.

El tratamiento se define a partir de una versión modificada del plan de obras de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y las emisiones según directrices IPCC, considerando una desagregación regional y pluviometría.

Para la participación regional se distingue entre la generación de la Región Metropolitana y la de las otras regiones

En el caso de las aguas residuales domésticas y los lodos, la generación se supuso proporcional al crecimiento de la población. , con una componente orgánica constante dada por un promedio (250 mg/lt), y suponiendo que se alcanzó la máxima cobertura y los tipos de tratamiento serán estables. Luego se calcula las emisiones según directrices IPCC (2006)

Para los RILES, la generación (caudal) se asume proporcional al crecimiento de la actividad industrial (la cual se obtiene de antecedentes elaborados por otros grupos de MAPS Chile) y se proyecta la carga orgánica total de cada tipo de industria. Para cada tipo de industria existe tratamientos tipo con lo cual las emisiones se pueden calcular según directrices IPCC (2006):

Finalmente en el caso de los residuos hospitalarios se sigue un modelo tendencial de generación según datos actualización del inventario de GEI y luego se calcula la las emisiones según Directrices IPCC (2006 Nivel TIER I), mientras que en el caso de las excretas humanas la generación es proporcional al crecimiento de la población, la componente orgánica depende del contenido proteico el cual se proyecta según PIB per cápita hasta un tope de 120 gr/día por habitante y finalmente se calcula las emisiones según Directrices IPCC (2006 Nivel TIER I).

Con estos parámetros se proyecta la línea de base de emisiones. Según se puede observar en el siguiente cuadro, las emisiones totales (en millones de toneladas de CO₂ equivalente) crecen del orden de un 200% hasta casi 240% desde 2013 hasta 2050, según el escenario de crecimiento de PIB que se considere como referencia.

Emisiones línea base distintos escenarios

Escenarios	2013	2020	2030	2040	2050
Escenario Bajo total (M tCO₂)	3.136	3.978	5.104	6.091	6.966
<i>Residuos sólidos</i>	2.754	3.546	4.618	5.586	6.452
<i>Residuos líquidos domiciliarios</i>	146	154	163	167	167
<i>RILes</i>	41	49.14	56	63	70
<i>Residuos hospitalarios</i>	0,15	0,19	0,25	0,31	0,38
<i>Excretas humanas</i>	194	227	266	274	275
Escenario Medio total (M tCO₂)		3.998	5.192	6.272	7.259
<i>Residuos sólidos</i>		3.563	4.695	5.756	6.733
<i>Residuos líquidos domiciliarios</i>		154	163	166	168
<i>RILes</i>		49	56	63	70
<i>Residuos hospitalarios</i>		0,19	0,25	0,31	0,38
<i>Excretas humanas</i>		231	278	285	287
Escenario Alto total (M tCO₂)		4.019	5.284	6.450	7.459
<i>Residuos sólidos</i>		3.580	4.775	5.921	6.920
<i>Residuos líquidos domiciliarios</i>		154	163	167	168
<i>RILes</i>		49	56	63	70
<i>Residuos hospitalarios</i>		0,19	0,25	0,31	0,38
<i>Excretas humanas</i>		236	291	299	300

El principal sector responsable de este aumento, por mucho, es el de los residuos sólidos municipales. Las emisiones por tratamiento de aguas, RILes y aguas domésticas, en conjunto, disminuyen levemente su participación.

Estos resultados sugirieron enfocar las medidas de mitigación en los residuos sólidos municipales.

Las medidas de mitigación propuestas se desarrollaron a partir del análisis de una lista larga inicial de medidas que se obtuvieron de la revisión de experiencias internacionales de los casos de Australia y Colombia. Se procedió luego a revisar estas propuestas en función de su aplicabilidad a Chile y su coherencia con la importancia relativa de los temas en el nivel nacional, además de considerar las opiniones del Grupo de Escenarios.

Se seleccionó de este modo, un conjunto de 24 medidas de mitigación potenciales para ser analizadas. Estas medidas a veces correspondían a diversos niveles de profundidad de la misma medida técnica.

Las medidas técnicas generales consideradas son las siguientes:

- Compostaje Domiciliario
- Responsabilidad Extendida del Productor
- Compostaje en Planta
- Compostaje de residuos de ferias
- Biodigestión de residuos sólidos municipales
- Captura y quema de metano
- Inyección a red de gas
- Generación eléctrica en rellenos
- Aprovechamiento térmico
- Incineración de residuos
- *Waste to energy*
- Tratamiento Mecánico Biológico

No todas estas medidas se consideran aplicables a todos los casos. Por ejemplo, la generación eléctrica supone una cierta escala de disposición de residuos. En los escenarios definitivos considerados, no se incluye todas las medidas.

Se evaluó las medidas (impacto global, CAPEX, OPEX y VAN) utilizando tres tasas de descuento: 1%, 3% y 12% (dos tasas sociales y una tasa privada). La siguiente tabla resume el conjunto de medidas de mitigación evaluadas individualmente (aunque en ocasiones con diversos niveles de implementación²) así como sus principales resultados. Los detalles de cada medida y sus niveles se encuentran en las fichas.

La tabla contiene la siguiente información:

- Descripción general de la medida
- Impacto global de la medida
- Inversión valor presente (MM CLP\$)
- Costo OYM valor presente (MM CLP\$)
- Costo Abatimiento (USD/Ton)

² Las medidas modeladas con distintos niveles de implementación, se diferenciarán por un sufijo numérico “-nº” a continuación de su nombre.

Tabla resumen de medidas evaluadas (individualmente)

#	Nombre abreviado	Año inicio	Año término	Reducción Anual (MM tCO ₂ /año) 2030	Reducción total (MM tCO ₂)	Inversión valor presente (MM CLP\$) crec. medio			Costo OYM valor presente (MM CLP\$) crec. medio			Costo Abatimiento (USD/Ton) crec. medio		
						1%	3%	12%	1%	3%	12%	1%	3%	12%
1	Compostaje Domiciliario-1	2014	2050	0,006	0,206	5.053	3.693	1.553	-10.994	-7.459	-2.251	-60,09	-38,09	-7,06
2	Compostaje Domiciliario-2	2014	2050	0,012	0,412	10.107	7.386	3.106	-21.989	-14.918	-4.503	-60,09	-38,09	-7,06
3	Compostaje Domiciliario-3	2014	2050	0,024	0,824	20.213	14.771	6.213	-43.977	-29.836	-9.006	-60,09	-38,09	-7,06
4	REP-1	2014	2050	0,098	3,793	218.154	144.416	36.164	477.103	315.892	79.157	382,05	252,94	63,37
5	REP-2	2014	2050	0,195	7,580	436.472	288.896	72.274	953.932	631.542	158.158	382,29	253,08	63,36
6	Compostaje en Planta-1	2016	2050	0,057	2,562	16.414	12.053	4.921	462	3.532	4.220	13,73	12,68	7,44
7	Compostaje en Planta-2	2016	2050	0,163	7,560	25.831	19.168	7.948	-73.557	-39.300	-463	-13,16	-5,55	2,06
8	Compostaje en Planta-3	2016	2050	0,325	15,119	35.446	26.005	10.505	-	-	-9.475	-21,67	-11,52	0,14
9	Compostaje Ferias-1	2015	2050	0,031	1,003	6.388	5.083	2.733	-928	-345	196	11,34	9,84	6,09
10	Compostaje Ferias-2	2015	2050	0,062	2,006	9.519	7.503	3.902	-16.233	-10.888	-3.080	-6,97	-3,52	0,85
11	Compostaje Ferias-3	2015	2050	0,112	3,611	10.608	8.608	4.859	-54.575	-36.763	-10.393	-25,38	-16,25	-3,19
12	Biodigestión de RSU-1	2017	2050	0,092	3,130	62.081	48.443	23.136	-22.497	-12.789	-1.162	26,35	23,74	14,63
13	Biodigestión de RSU-2	2017	2050	0,184	6,261	76.384	59.285	27.875	-63.826	-38.444	-5.900	4,18	6,94	7,32
14	Biodigestión de RSU-3	2017	2050	0,276	9,391	90.419	70.332	33.173	-	-61.689	-9.992	-2,50	1,92	5,14
15	Captura y quema-1	2014	2050	1,220	46,260	75.717	60.768	34.163	208.806	138.167	36.768	12,55	8,80	3,17
16	Captura y quema-2	2014	2050	2,381	90,709	203.970	163.930	92.555	558.590	373.159	103.908	17,52	12,34	4,51
17	Inyección a GN	2018	2050	0,099	3,125	56.044	42.909	18.878	-91.585	-61.448	-15.802	-23,71	-12,37	2,05
18	Gen EE en RRSS	2017	2050	0,144	7,739	36.638	25.035	7.769	-53.447	-34.377	-7.899	-4,53	-2,52	-0,04
19	Aprovechamient. térmico	2017	2050	0,144	3,989	12.029	8.549	2.957	13.289	9.214	2.578	13,23	9,28	2,89
20	TMB	2016	2050	2,091	76,693	53.063	42.001	21.432	388.625	273.170	86.811	12,05	8,59	2,94

Nota: los valores "negativos" de costos (beneficios) están destacados con marcador.

Después de evaluar las medidas individualmente, se evaluó “escenarios de mitigación”. Estos escenarios corresponden a la implementación simultánea de varias medidas³ y son cinco

Esfuerzo Base

- Compostaje domiciliario (Nivel 1)
- Compostaje ferias (Nivel 1)
- Compostaje en Planta (Nivel 1)
- Reciclaje (Nivel 1)
- Captura y quema (Nivel 1)
- Generación EE en RRSS

Esfuerzo Medio

- Compostaje domiciliario (Nivel 3)
- Compostaje ferias (Nivel 2)
- Compostaje en Planta (Nivel 3)
- Reciclaje (Nivel 2)
- Captura y quema (Nivel 2)
- Generación EE en RRSS

Esfuerzo Alto

- Compostaje domiciliario (Nivel 3)
- Compostaje ferias (Nivel 3)
- Compostaje en Planta (Nivel 3)
- Reciclaje (Nivel 2)
- Captura y quema (Nivel 2)
- Generación EE en RRSS
- Tratamiento Mecánico/Biológico
- Aprovechamiento térmico biogás

Escenario ERNC

- Biodigestión de RSM(Nivel 3)
- Generación EE en RRSS
- Compostaje en Planta (Nivel 3)
- Reciclaje (Nivel 2)

Escenario 80/20

- Captura y Quema (Nivel 2)

³ Los escenarios de mitigación fueron definidos por el Grupo de Construcción de Escenarios del proyecto MAPS; en total contempla 10 escenarios pero al sector residuos sólo aplican 5.

Además, al momento de implementar los paquetes de medidas (escenarios) se tomó en cuenta que los residuos disponibles para cada medida no son los mismos que al evaluar la medida individualmente (competencia por el mismo recurso). Por ello, se estableció una jerarquización de las medidas ordenadas según costo efectividad; a saber:

1. Compostaje domiciliario y REP
2. Compostaje en Ferias
3. Compostaje en Plantas
4. Tratamiento Mecánico Biológico
5. Biodigestión
6. Incineración

Como resultado de este ejercicio de proyección de escenarios, se obtiene los siguientes resultados (aplicando tasa de descuento de 3%).

	Reducción Total (MM ton)	VP CAPEX (MM CLP)	VP OPEX (MM CLP)	VP COSTOS (MM CLP)	Costo Efectividad (USD/ton)
Base	51,32	\$237.661	\$373.803	\$611.464	\$24,83
Medio	61,45	\$392.097	\$542.865	\$934.962	\$31,71
Alto	109,93	\$460.897	\$625.444	\$1.086.341	\$20,60
Escenario 80/20	46,26	\$72.754	\$129.457	\$202.211	\$9,11
ERNC y ER	61,45	\$392.097	\$542.865	\$934.962	\$31,71

Fuente: Elaboración Propia

El escenario más costo efectivo es el ERNC que contiene las medidas *biodigestión* y *generación eléctrica*. A este le sigue el escenario *80/20* que sólo contiene la medida captura y quema de biogás. Todos los demás escenario contienen reciclaje en donde la tonelada de carbono reducida tiene un alto precio, encareciéndolos. Como era de esperar, el escenario que más reduce emisiones, es el escenario alto (contiene todas las medidas aplicadas en su nivel más alto, salvo *incineración* que fue eliminada por ser demasiado cara y poco probable su instalación).

El escenario con mayores costos es el escenario alto, seguido del medio el bajo y el 80/20. El escenario ERNC y ER por su parte tiene costos negativos en gran parte del período (debido a los ingresos que genera la venta de electricidad).

1. Introducción

El presente informe, es el informe final del estudio “Proyección de Escenario Línea Base 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Residuos Antrópicos”, y sus objetivos fundamentales son presentar los antecedentes de base (tanto analíticos como de información) sobre los cuales se desarrollará el trabajo de modelación de los diversos componentes de los residuos antrópicos (Residuos Sólidos Municipales, aguas residuales domésticas y lodos residuales, aguas residuales industriales, residuos hospitalarios y excretas humanas), identificar las principales medidas de mitigación (resumidas en un conjunto de fichas técnicas) y entregar algunos resultados preliminares.

Para el desarrollo del presente informe, se revisó el informe preparado para la fase previa (“Escenario Línea Base de Emisiones GEI del Sector de Residuos Antrópicos”, elaborado por POCH Consultores) y se tuvo entrevistas con funcionarios de la Subsecretaría de Desarrollo Regional⁴ del Ministerio de Medio Ambiente⁵, además de las reuniones con la contraparte técnica y el apoyo del equipo económico del proyecto MAPS.

En la presente propuesta metodológica se presenta, para cada tipo de residuo, el modelo de proyección del residuo (cantidad y composición, cuando corresponde), la forma en que se hará el cálculo de emisiones de estos residuos y, por último, las fuentes de información que se ha considerado para los cálculos. Se considera que dado que la información sobre residuos es relativamente pobre y que la generación de residuos está en proceso de transformación, lo pertinentes es proyectar a nivel agregado y luego establecer la composición y usar antecedentes internacionales como referencia de lo que será la generación de residuos de Chile en el período de análisis.

La metodología propuesta reconoce que el objetivo del ejercicio de proyección no es, en ningún sentido, **predecir** la evolución de las variables mencionadas, sino **identificar razonadamente** los principales aspectos que determinan su posible evolución futura y así determinar las mejores opciones de mitigación y un rango de evolución posible bajo las condiciones determinadas. Debe notarse que el nivel de detalle planteado para los Residuos Sólidos Municipales supera por mucho al de los demás sectores, dada su importancia relativa dentro de los residuos antrópicos de acuerdo con los antecedentes oficiales disponibles actualmente.

⁴ Nicolás Opazo Bunster, Encargado de la Unidad de Residuos Sólidos, del Departamento de Gestión de Inversiones Regionales, División de Desarrollo Regional

⁵ Joost Meijer, Jefe Sección de Residuos Sólidos División de Políticas y Regulación Ambiental. Ministerio del Medio Ambiente y Carolina Ascui, profesional de la misma Sección.

Como se observará, la metodología considera el año 2030 como punto relevante para las proyecciones, en particular por el mayor grado de incertidumbre que existe sobre la posible evolución de las variables después de ese año. En ese sentido, simplifica las proyecciones de manera de permitir analizar diversos escenarios de largo plazo.

En cuanto a las medidas de mitigación propuestas, se desarrollaron a partir del análisis de una lista larga inicial de medidas que se obtuvieron de la revisión de experiencias internacionales de los casos de Australia y Colombia. Se procedió luego a revisar estas propuestas en función de su aplicabilidad a Chile y su coherencia con la importancia relativa de los temas en el nivel nacional, además de considerar las opiniones del Grupo de Escenarios. Se seleccionó de este modo, un poco más de una docena de medidas de mitigación potenciales, las cuales serán analizadas en mayor detalle durante el resto del estudio e integradas en la proyección en función de lo que se acuerde con la contraparte.

En función de lo anterior, el informe consta de tres secciones principales: una referida a la metodología, otra con algunos resultados preliminares de la línea de base y una sobre las medidas de mitigación.

Previo a la presentación de la metodología, se recapitula muy brevemente los objetivos general y específicos del estudio según fueron expuestos en los términos de referencia.

Finalmente, se presenta las conclusiones del proyecto.

2. Objetivos del estudio

2.1 Objetivo general

Proyectar las emisiones de GEI para el escenario Línea Base 2013 y Escenarios de Mitigación, considerando el horizonte de evaluación 2013-2050 y detallando los resultados para los años 2020, 2030 y 2050.

2.2 Objetivos específicos de este informe

- 1) Implementar un modelo computacional que permita la simulación de la Línea Base 2013 y los distintos Escenarios de Mitigación, proyectando las emisiones de GEI a nivel nacional, con un horizonte de evaluación 2012-2050, detallando los resultados para los años 2020, 2030 y 2050 .
- 2) Elaborar fichas que presenten la información organizada sobre medidas de mitigación y sus indicadores, para el sector minería y otras industrias.
- 3) Determinar criterios de agrupación y sensibilidad de las medidas para la construcción de los Escenarios de Mitigación a evaluar.

3. Metodología

3.1 Residuos Sólidos Municipales

Los residuos sólidos municipales (RSM) son aquellos residuos generados en los hogares de las ciudades y pueblos, así como los residuos que le son “asimilables”⁶ que llegan a rellenos, vertederos o basurales, tales como los residuos generados en la vía pública, por el comercio, las oficinas, y por organizaciones tales como escuelas centros de atención a público, etc.

Los Residuos Sólidos Municipales están compuestos de:

- Materia Orgánica: alimentos, etc.
- Papeles y Cartones: diarios, revistas, cartones, embalajes, etc.
- Textiles: ropas, ropa de cama, cortinas, tapices, etc.
- Plásticos: botellas, embalajes, juguetes, platos y cubiertos desechables, bolsas, etc.
- Vidrios: frascos, botellas, restos de loza, vidrios, etc.
- Metales: latas, tarros, etc.
- Madera: muebles desechados, etc.
- Lodos provenientes de Plantas de Tratamiento Aguas Servidas

Las emisiones de GEI en los RSM se deben principalmente al metano generado por la descomposición anaeróbica de los residuos en un sitio de eliminación de desechos sólidos (SEDS) que, en el caso chileno, puede ser un relleno sanitario, vertedero o basural⁷. En los SEDS la entrada de oxígeno es muy pobre por lo que la mayor parte los residuos allí depositados se degradan de forma anaeróbica, es decir, sin oxígeno.

La cantidad de metano liberada por un residuo no sólo depende de las condiciones climáticas y de impermeabilización del sitio en que fueron dispuestos sino también de la proporción de materia orgánica que contenga y de la tasa de degradación de los componentes. Los restos de alimento, por ejemplo, tienen una tasa de degradación mayor.

⁶ Corresponde a aquellos residuos sólidos generados por las industrias y comercio que llegan a los rellenos y vertederos.

⁷ Basural”, es un lugar donde se depositan residuos, de manera espontánea o programada, en donde no existen controles de ninguna naturaleza ni medidas de protección ambiental. “Vertedero” es un depósito de residuos que ha sido habilitado para esa finalidad, pese a lo cual, tampoco atiende las disposiciones sanitarias básicas establecidas en la legislación vigente (Ej.: DS 189). “Relleno sanitario”, es un depósito de residuos que cumple con la legislación y reglamentación sanitaria y ambiental vigentes.

La Tabla 3-1 muestra la cantidad de materia orgánica en los Residuos Sólidos Municipales expresado como carbono orgánico disuelto y el índice de generación de metano para una zona climática templada y seca. Aquellos componentes con más materia orgánica liberarán más metano durante el tiempo total de descomposición.

Tabla 3-1 : Materia orgánica en los residuos

Tipo de Residuo	COD (Porcentaje del Peso Total)	K (1/día)
Papel/Cartón	40	0,04
Textiles	24	0,04
Residuos de Alimentos	15	0,06
Madera	43	0,02
Residuos de Parques y Plazas	20	0,05
Pañales	24	0,03
Goma y Cuero (1)	39	0,03

Fuente: (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Tanabe, 2006)

Además de metano, la descomposición produce emisiones de dióxido de carbono biogénico, así como otros compuestos orgánicos volátiles y óxido nitroso⁸. Debido a que las emisiones de los gases con potencial de calentamiento global distintos del metano son despreciables, sólo se consideran las emisiones de metano para la categoría de RSM.

Las emisiones de los residuos dependen, por lo tanto, de la cantidad dispuestas en los SEDS y su composición, así como de la localización y características del sitio de disposición. Para efectos del análisis, los temas son tratados separadamente: cantidad total dispuesta de residuos, composición de los residuos y emisiones en función de la localización.

3.1.1 Modelo de Proyección

Se buscó identificar, en primer lugar, las variables que influyen en la generación de residuos para proyectar la posible generación futura. Se partió de un criterio fundamental: Chile está viviendo un proceso de cambios que hace probable que la generación de los residuos sólidos se asemeje más a países hoy desarrollados que a la de nuestra historia.

Para establecer una proyección de la cantidad total⁹, se analizó algunas relaciones que parecían más coherentes conceptualmente y se aplicó luego las pruebas de significancia estadística

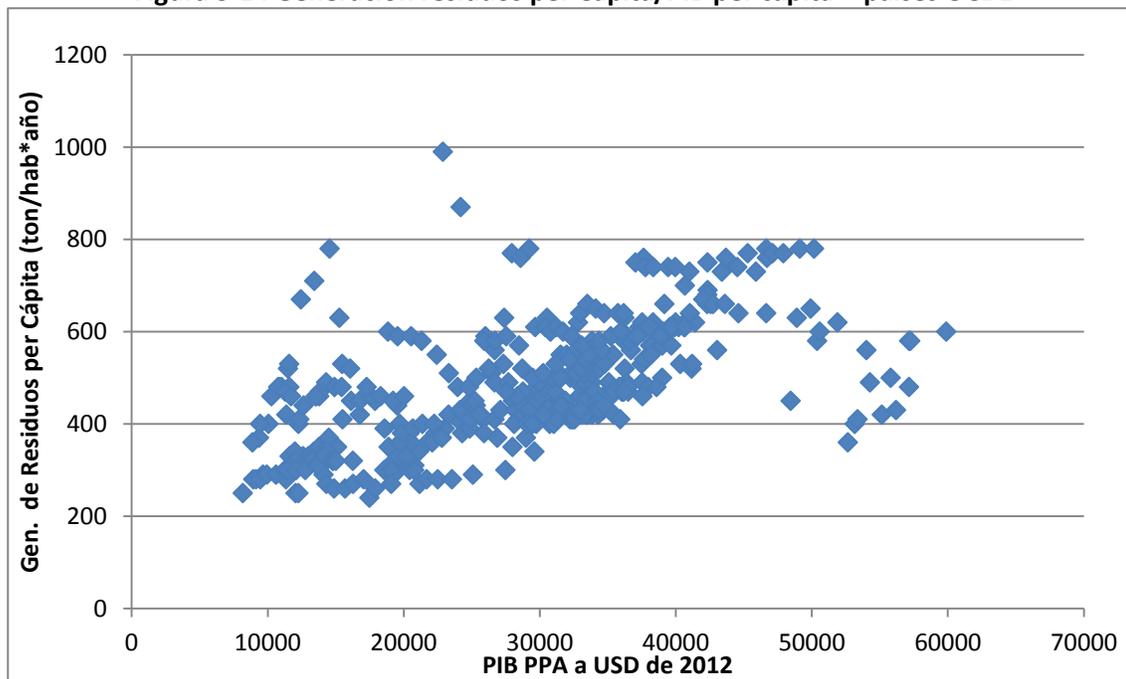
⁸ Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Tanabe, 2006.

⁹ La proyección se hace a nivel agregado y la composición se analiza luego. Se descartó proyectar la generación de residuos alimentarios y no alimentarios (como se realizó en el estudio de línea de base de 2007), puesto que el

necesarias para evaluarlas. Específicamente, se analizó la relación entre la disposición de residuos per cápita y el PIB per cápita tanto considerando casos nacionales como internacionales, así como la relación de disposición histórica de residuos en Chile con la población y el PIB total. Los datos de disposición en todos los casos fueron obtenidos de una base de datos de la Librería Electrónica de la OECD. La razón de analizar tanto los datos nacionales como internacionales es para poder evaluar si hay posibles cambios estructurales en la generación de residuos esperables con ingresos *per capita* mayores. Los análisis demostraron que la variable que mejor explicaba la generación de residuos de los países OCDE fue el PIB per cápita ajustado por paridad de poder adquisitivo (PPA)¹⁰. A medida que aumenta el ingreso de una persona, tendrá acceso a consumir más bienes y por lo tanto generará mayor cantidad de residuos.

Utilizando los PIB per cápita (PPA) como variables independientes de todos los países y la generación total de residuos correspondiente a dicho PIB como su variable dependiente, se observa la siguiente distribución:

Figura 3-1 . Generación residuos per Cápita/PIB per cápita - países OCDE



Fuente: Elaboración Propia a partir de (OECD, 2013) y (Banco Mundial 2013)

sector cuenta con muy poca información de base tanto para la cantidad de residuos generados o dispuestos y a la composición de los mismos, por lo que una proyección desagregada sólo aumenta la incertidumbre.

¹⁰ Los datos de generación fueron obtenidos de la base de datos de la Librería Electrónica de la OECD (OECD, 2013), mientras que los de PIB per cápita PPA se obtuvieron desde el Banco Mundial (Mundial, 2013).

Para controlar por las particularidades de cada país en la generación de residuos se realizó una regresión con el método de datos de panel con efecto fijo y varianza y covarianza robusta. Se efectuó una regresión del tipo log-log, que permite determinar directamente la elasticidad de la generación de residuos con el PIB per Cápita, PPA.

La función resultante es la siguiente

Ecuación 3-1

$$GPC_T \left[\frac{Kgde Residuos}{Habitante - año} \right] = GPC_{T-1} \left[\frac{Kgde Residuos}{Habitante - año} \right] * (1 + \beta * g_T)$$

β : Elasticidad de la generación respecto al PIB per cápita
 g_T : Crecimiento del PIB en el año T

Dado que se cuenta con datos de residuos para países con PIB per cápita equivalentes a los de Chile Chile actual, se puede usar la fórmula recién presentada con los valores de PIB de Chile propuestos por propuestos por el equipo MAPS para todo el período. La generación de residuos per cápita (GPC) aumenta según la elasticidad encontrada y el crecimiento del PIB per Cápita (g) según la

Ecuación 3-1. De esa manera no es necesario empalmar proyecciones históricas con proyecciones basadas en evolución futura.

La elasticidad de la generación de residuos per cápita (GPC) en relación a los cambios del PIB fue de 0,3304, lo que significa:

$$\beta = \frac{\partial \ln GenPC}{\partial \ln PIBPC}$$

Para calcular la generación total nacional (GRSM) se multiplico la generación per cápita de cada región por la población regional proyectada, cuyos valores fueron entregados por el equipo de MAPS Chile.

$$GRSM_T \left[\frac{Tonde Residuos}{año} \right] = GPC_T \left[\frac{Kgde Residuos}{Habitante - año} \right] * Pob$$

3.1.1.1 Inclusión de compostaje y reciclaje

Se estimó la porción que va a reciclaje y compostaje, utilizando los datos de reciclaje señalados en estudio de la REP (Ecoing, 2012) y compostaje de 2011 recopilados por la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente (OFCC) para la actualización del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero.

Restando estos dos ítems se obtiene la cantidad de residuos destinados a disposición final. En este punto se estima la composición de dichos residuos. Cabe destacar que la composición de los residuos dispuestos cambia con el pasar de los años de manera de asemejarse a países con mayor nivel de desarrollo. Para la línea de base se considerará que los porcentajes de compostaje y reciclaje se mantienen constantes, sin embargo a medida que se apliquen distintas medidas de mitigación estos porcentajes podrían cambiar.

3.1.1.1.1 Reciclaje

El reciclaje de algunos materiales (papel, vidrio, plástico, metales) evita que éstos lleguen a SEDS, ya que se les recupera para darle otro uso. De acuerdo a la información de (Ecoing, 2012) en el estudio para la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) preparado para el MMA, la mayor parte de los residuos reciclados corresponde a envases y embalajes (EyE).

Los niveles de reciclaje de RSM a 2010 a nivel nacional eran los mostrados en la siguiente tabla para los distintos materiales:

Material	Total de Residuos generados que pueden ser valorizados	Residuos efectivamente recuperados y destinados a reciclaje	Residuos reciclados del total de residuos valorizables
	ton/año	ton/año	%
Papel y cartón	824.328	155.253	19
Vidrio	438.755	31.500	7
Metal	152.900	10.345	7
Plásticos	624.894	10.225	2
Total	2.040.877	207.323	10

Para la proyección de la línea base, se supone que el porcentaje de materiales reciclados sobre el total de RSM generados se mantiene constante respecto a la generación con el pasar del tiempo. Para calcular el porcentaje de papel y cartón y de “otros” reciclados, se utiliza el valor de toneladas recicladas y el de las toneladas depositadas y se realiza la siguiente operación:

$$\text{Porcentaje Reciclado} = \frac{\text{Ton Recicladas}}{\text{Ton Recicladas} + \text{Ton Depositadas}} = 13,33\%$$

Otra alternativa evaluada es mantener constante el total de los residuos dirigidos a reciclaje, sin embargo, se consideró que puesto a que existe un beneficio económico asociado a este tratamiento, la cantidad de residuos reciclados aumentará a medida que aumente la generación de residuos como línea de base. La implementación de una medida como la REP aumentaría este valor.

Se consideró que el porcentaje es igual para todas las regiones, ya que a pesar de que las plantas de reciclaje se encuentran en la región metropolitana no existe claridad acerca del origen de los residuos y pueden corresponder a cualquier región.

Con todo esto los valores de reciclaje utilizados para la línea de base son:

Componente	Porcentaje
Papel y Cartón	13,33%
Otros	2,81%

3.1.1.1.2 Compostaje

El compostaje corresponde a un tratamiento biológico aeróbico de los residuos. En este caso los microorganismos utilizan oxígeno para oxidar la materia orgánica por lo que los principales productos corresponden a dióxido de carbono y agua. En reuniones con expertos del MMA se entregó información no publicada aún, la cual establece que la cantidad total de RSM compostados correspondieron en 2012 a 2,21 Gg en todo Chile. Este es el mejor dato disponible respecto a la realidad del compostaje, ya que no se cuenta con series históricas que permitan establecer una tendencia. Es importante destacar que estos valores sólo corresponden a RSM ya que hay industrias que utilizan este proceso para tratar sus residuos¹¹.

En la Línea de Base 2013 se considerará que la relación entre residuos derivados a compostaje y depositados en SEDS en cada región del país se mantiene constante e igual a la de 2011 ya que no se cuenta con información para otros años. El porcentaje de restos de alimentos derivados a compostaje considerado en la línea de base es:

Tabla 3-2 Porcentajes de compostaje de residuos orgánicos generados supuestos para Línea de Base. Además se asume el porcentaje de papel y cartón que va a compostaje es 0.

Región	Porcentaje
Metropolitana	0,12%
Otras Regiones	0,05%

3.1.1.2 Composición

El modelo de proyección propone que la composición de los residuos cambiará en el tiempo de modo de asimilarse progresivamente a la composición de los países más desarrollados, en función de cambios endógenos en los patrones de consumo.

¹¹ Los residuos producidos en la industria no se contabilizan dentro de esta categoría para el proyecto MAPS, de acuerdo con los TdR de esta licitación (se pueden incorporar al sector Minería e industrias).

Para el estimar la composición actual, si bien existen estudios nacionales de composición como se aprecia en la Tabla 3-3, estos no representan una serie histórica consistente. De hecho, el Ministerio de Medioambiente (MMA) no utiliza ninguna de estas fuentes para el catastro de emisiones, sino que los valores por defecto de las directrices del IPCC 2006 para Sudamérica.

Tabla 3-3 Fuentes de información para composición de residuos

Informe	Fuente
<i>Primer Reporte sobre Manejo de Residuos Sólidos en Chile</i>	CONAMA, 2010.
<i>Estudio de Pre evaluación del Aprovechamiento Energético de los Residuos Sólidos Municipales</i>	IASA 2009
<i>Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Región Metropolitana</i>	CONAMA 2006

La estimación de composición se obtuvo siguiendo el ejemplo del MMA y se utilizó los valores de composición por defecto de las directrices del IPCC 2006 para Sudamérica para los RSM que van a disposición.

Es esperable que la composición de los residuos cambie en la medida que el país se vaya desarrollando ya que la población tiene acceso a mayor cantidad de bienes de consumo que dejan residuos no orgánicos. Consiguientemente, la porción orgánica debería ser paulatinamente menos significativa. El equipo consultor propone que para 2030 se tendrá una composición de residuos similar a la actual de Europa del Sur de acuerdo a las directrices del IPCC 2006, la que se presenta en la Figura 3-2. Se escoge esta zona debidos a las similitudes climáticas, geográficas y culturales; por lo tanto, no se hace un análisis de por qué la composición tiene determinados porcentajes, sino que simplemente se asume los porcentajes en función de las características de los países a los cuales se está asimilando Chile en el largo plazo

Es importante notar que las composiciones mencionadas en las directrices hacen alusión a RSM que van a disposición final, es decir, excluyendo las porciones de residuos destinadas a reciclaje y compostaje. Para calcular la composición de la generación de residuos se tomaron en cuenta los valores de reciclaje de papel y otros residuos y de compostaje de residuos alimentarios para el año 2012. Con la disposición total de residuos y la composición se calculó la disposición total de papel, otros residuos y residuos alimentarios. Se le sumó la masa total de los residuos reciclados de papel y cartón y de la categoría “otros” la masa calculada de estos residuos. Se realizó el mismo procedimiento con los restos de alimentos sumando la masa de residuos derivados a compostaje al total de residuos que se proyecta que estarán destinados a disposición. Con esto se obtuvo la masa total de residuos generados en cada categoría en el año 2012 y 2030 y se calculó la composición porcentual de estos.

Figura 3-2 : Composición de la generación de los Residuos



Fuente: Elaboración propia

Para obtener la porción de cada residuo con el paso del tiempo, se interpolará entre los valores de Sudamérica y Europa del Sur ente 2013 y 2030. Para después de 2030 se considera que las proporciones se mantienen constantes.

3.1.1.3 Participación regional en la Generación y Disposición de RSM

Las condiciones climáticas como humedad y temperatura afectan a la descomposición de los residuos y por lo tanto a la cantidad de metano que se libera. En este contexto es muy importante conocer y proyectar la generación de residuos depositada en cada región del país.

Con el modelo descrito se calculará la generación per cápita promedio para el país (GPC). Sin embargo, se sabe que en la región metropolitana la generación per cápita es mayor que para las demás regiones. Por esta razón, se calculó para todos los años un índice (I) que calcula esta relación entre la GPC de la región metropolitana y la GPC de las otras regiones.

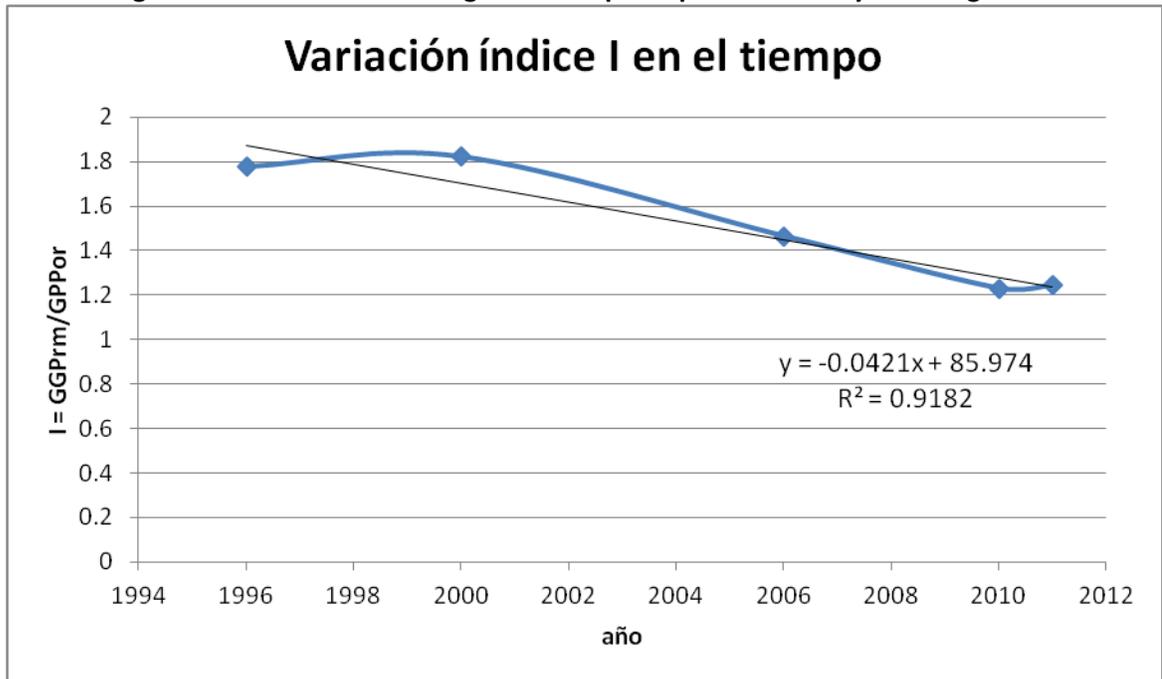
Ecuación 3-2

$$I = \frac{GPC_{RM}}{GPC_{OR}}$$

GPC_{RM} : Generación per cápita de residuos en la región metropolitana.
 GPC_{OR} : Generación per cápita de residuos en otras regiones del país.

En el siguiente gráfico se puede observar que este índice varía con el tiempo y se acerca a uno:

Figura 3-3 : Relación entre la generación per cápita en la RM y otras regiones.



Fuente: Elaboración Propia

Con la relación encontrada se proyectará el valor de I para el futuro, una vez que se tenga esta relación se reemplazará la Ecuación 3-3 en la Ecuación 3-4 y con el valor de GPC promedio calculado anteriormente se obtendrá la generación per cápita en las regiones y luego en la región metropolitana.

Ecuación 3-3

$$GPC_{RM} = I * GPC_{OR}$$

Ecuación 3-4

$$GPC \left[\frac{\text{ton de Res}}{\text{hab} - \text{año}} \right] = \frac{GPC_{RM} * Pob_{RM} + GPC_{OR} * Pob_{OR}}{Pob_{RM} + Pob_{OR}}$$

donde

GPC_{RM} :	Generación per cápita de residuos en la región metropolitana.
GPC_{OR} :	Generación per cápita de residuos en otras regiones del país.
Pob_{RM} :	Población en la región metropolitana.
Pob_{OR} :	Población en las demás regiones del país.

Finalmente se multiplica la GPC para cada región por la población regional correspondiente para calcular la generación total de residuos por región.

Cabe señalar que se supone que la generación per cápita en las regiones nunca superará a la de la Región Metropolitana, por lo que el índice I nunca será menor a uno. Por tanto se proyectará el valor de este índice sólo hasta que se iguale a uno (año) y luego se mantendrá constante.

3.1.2 Cálculo de Emisiones.

Para calcular las emisiones generadas por la descomposición de los RSM en los Sitios de Eliminación de Desechos Sólidos (SEDS) y por compostaje se utilizará la metodología y fórmulas presentadas en las directrices del IPCC 2006. Para determinar el destino de los residuos en el tiempo, se considera la disposición actual de los residuos por región y que el plan de obras de rellenos sanitarios de la SUBDERE¹² se cumple parcialmente. Para determinar la proyección de cumplimiento, se consultó a equipo del Ministerio de Medioambiente de las distintas regiones, quienes calibraron el plan de ejecución de acuerdo a su conocimiento regional.

Es importante considerar que estas emisiones incluyen la descomposición de los residuos depositados antes de 2012, ya que se registraron en la modelación.

3.1.2.1 Emisión de Metano en los SEDS

Para proyectar el metano generado en los rellenos y vertederos, se utilizará la metodología propuesta por el IPCC 2006, en el modelo de degradación de primer orden. La cantidad de metano generado dependerá de la composición de los residuos (abordado anteriormente) y de ciertos parámetros químicos que dependen del clima y del tipo de relleno en los que se descomponen los residuos.

¹² El equipo consultor tuvo acceso a esta información mediante un documento de trabajo, lo que representa la mejor información disponible. Al ser información preliminar no oficial, no se ha publicado..

3.1.2.1.1 Tipo de SEDS

Es de gran importancia identificar el tipo de sitio de disposición en el que se depositan los residuos ya que existen diferencias en la cantidad de metano que se genera. Para estimar la cantidad de residuos depositados actualmente en cada tipo de relleno se utilizará el catastro utilizado por el MMA para el catastro de emisiones en donde se muestra lo que cada tipo de SEDS recibe anualmente. Se consideran 3 tipos de SEDS, con distintos MCF asociados.

Tabla 3-4 Categorías SEDS

Categorías IPCC	Nacional	MCF
SEDS no categorizado	Vertedero	0,60
No gestionado - poco profundo	Basural	0,40
Gestionado - anaeróbico	Relleno	1,00

Fuente: (Eggleston et al., 2006)

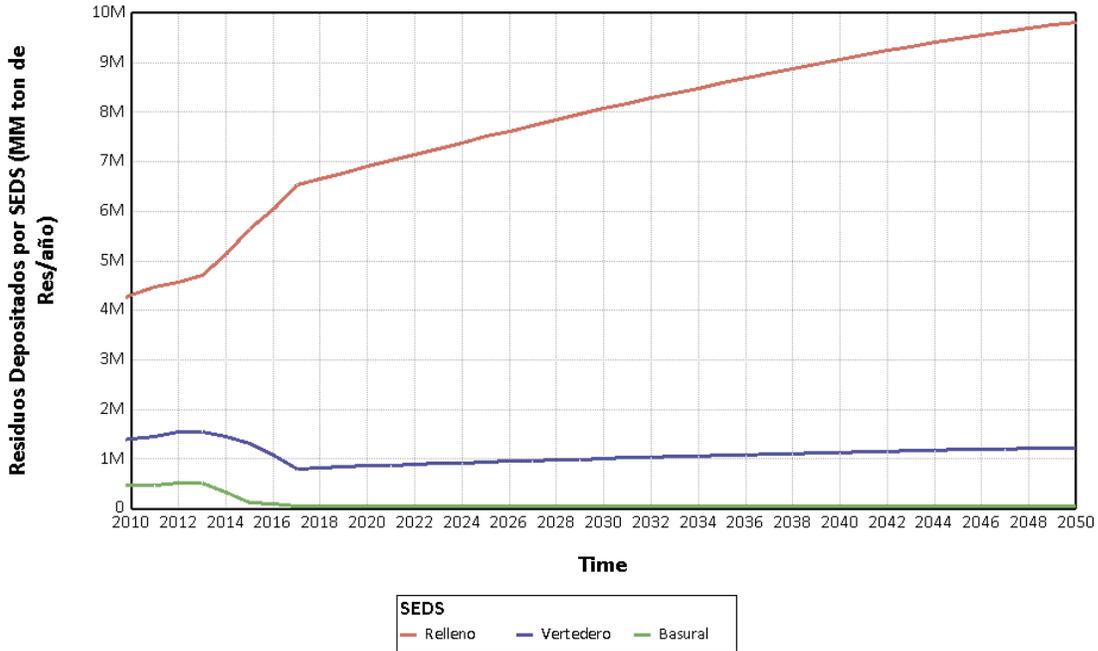
A partir de los antecedentes proporcionados por la SUBDERE y el MMA se ha construido una proyección tentativa de la cantidad de la fracción de residuos que serán depositados en cada tipo de SEDS (Figura 3-1, Figura 3-4.) A continuación se muestra la disposición por tipo de SEDS por región a 2012:

Tabla 3-5: SEDS por región

Región	Relleno	Vertedero	Basural
XV Región de Arica y Parinacota	0,0%	99,0%	1,0%
I Región de Tarapacá	2,0%	93,9%	4,1%
II Región de Antofagasta	4,9%	18,3%	76,8%
III región de Atacama	48,3%	0,0%	51,7%
IV Región de Coquimbo	57,7%	42,3%	0,0%
V Región de Valparaíso	5,3%	92,5%	2,1%
Región Metropolitana	98,3%	1,7%	0,0%
VI Región de O'Higgins	100,0%	0,0%	0,0%
VII Región del Maule	83,2%	12,2%	4,6%
VIII del Bío-Bío	91,2%	6,0%	2,8%
IX Región de la Araucanía	8,3%	88,9%	2,9%
XIV Región de Los Ríos	75,2%	0,0%	24,8%
X Región de Los Lagos	0,0%	38,5%	61,5%
XI Región de Aysén	64,7%	27,0%	8,2%
XII Región de Magallanes	0,0%	95,4%	4,6%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MMA

Figura 3-4 : Toneladas de deposito de residuo por tipo de SEDS



Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.1.2 Parámetros Cinéticos

Los valores de carbono orgánico degradable (Tabla 3-6), carbono orgánico degradable descomponible, factor de corrección de metano y factor de oxidación se utilizarán los valores por default que se entregan en las directrices del IPCC 2006 (

Tabla 3-7).

Tabla 3-6 Carbono Orgánico Degradable por componente en porcentaje del peso total.

Tipo de Residuo	COD (Porcentaje del Peso Total)
Papel/Cartón	40
Textiles	24
Residuos de Alimentos	15
Madera	43
Residuos de Parques y Plazas	20
Pañales	24
Goma y Cuero (1)	39

Fuente: (Eggleston et al., 2006)

Tabla 3-7 : Parámetros utilizados para el cálculo de las emisiones

Parámetro	Valor
Carbono Orgánico Degradable Descomponible	0,5
Factor de Corrección de Metano Sitios Rellenos Sanitarios	1
Factor de Corrección de Metano Vertederos	0,4
Factor de Oxidación	0

Fuente: Elaboración propia a partir de (Eggleston et al., 2006)

La constante de reacción (k) depende de los factores climáticos y por lo tanto se utilizará una constante para cada región (Tabla 3-8).

Tabla 3-8 Tasa de descomposición de Residuos por Región

Tasa Anual de la Generación de Biogás por Región		
Región	Nombre	k
I	Tarapacá	0,02
II	Antofagasta	0,02
III	Atacama	0,035
IV	Coquimbo	0,035
V	Valparaíso	0,075
VI	Del General Bernardo O'Higgins	0,075
VII	Del Maule	0,075
VIII	Del BíoBío	0,1
IX	De la Araucanía	0,225
X	De Los Lagos	0,35
XI	Aysén	0,35
XII	De Magallanes	0,025
RM	Metropolitana	0,075

Fuente: (BID, 2003)

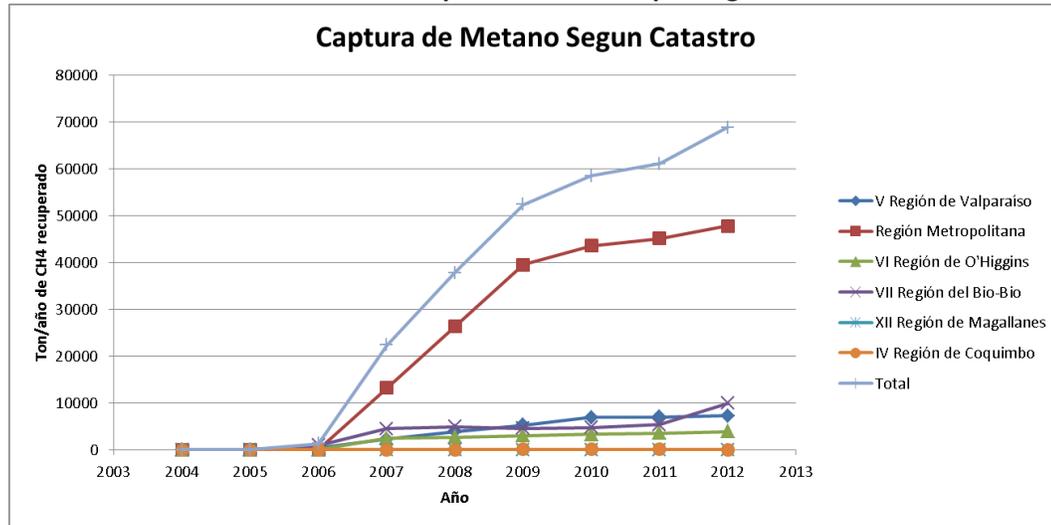
3.1.2.1.3 Captura de Metano

Para la Línea de Base 2013, para proyectos ya maduros se considerará que la fracción de metano capturada en relación a la totalidad del metano emitido se mantendrá constante. Para proyectos en ejecución, pero en etapa temprana, se estimará que la captura sigue lo establecido en la ley. Pese a que no existe ninguna ley que exija un mínimo de captura por motivos ambientales, hay que exigir que las concentraciones de metano alrededor de los rellenos no debe superar el límite de explosividad por motivos de seguridad. El porcentaje de captura necesario para cumplir la legislación depende de la estructura de cada SEDS y debiera ser calculado para cada caso

específico. Las instituciones que presentaron proyectos de MDL debieron calcular este valor mínimo de captura a fin de construir su línea de base. Con todo esto para calcular el porcentaje de captura en línea de base para nuevos proyectos se utilizó el valor promedio del presentado en todos los PDD de los MDL, que corresponde a un 6%. De acuerdo a lo conversado con el equipo de MAPS, cualquier captura adicional será considerada como una medida de mitigación.

La siguiente figura muestra la evolución de la captura en los últimos años por región

Tabla 3-9 Captura de metano por región



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MMA

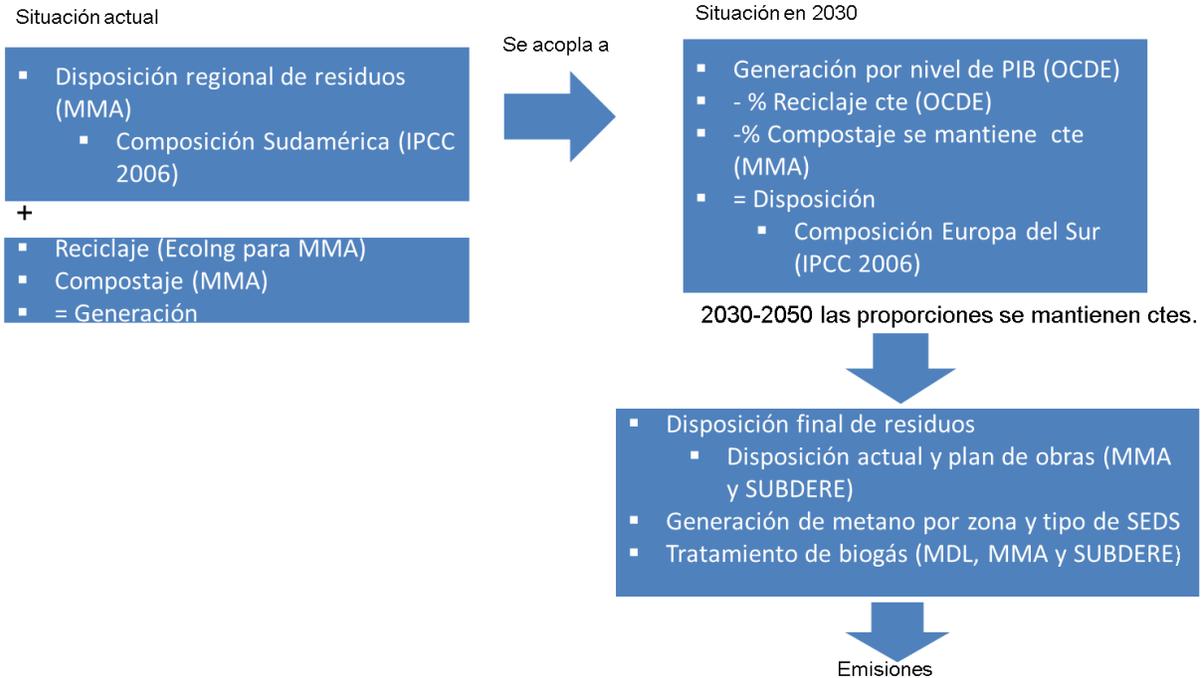
3.1.2.1 Emisiones del Compostaje

Para calcular las emisiones producidas por el compostaje se utilizará la metodología y los parámetros por defecto entregados en las Directrices del IPCC en el capítulo de *“Tratamiento Biológico de los Desechos Sólidos”*. Sólo se considerarán las emisiones de N₂O y de CH₄ proveniente del tratamiento biológico de desechos para el que se utilizarán los factores de emisión indicados en las directrices del IPCC.

3.1.1 Diagrama resumen

El siguiente diagrama presenta un esquema resumen de la manera en que se realiza las estimaciones de las emisiones proyectadas del subsector:

Figura 3-5 Diagrama emisiones



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Fuentes de Información

Tabla 3-10 : Fuentes de Información sector Residuos Sólidos Municipales

Parámetro	Aplicación	Fuente
PIB histórico de Chile	Modelo Proyección	Banco Mundial
PIB histórico países OCDE	Modelo Proyección	Banco Mundial
Generación histórica de residuos países OCDE	Modelo Proyección	Fuente de Datos Biblioteca OCDE.
Población histórica Chile	Modelo Proyección	Banco Mundial
PIB proyectado Chile	Modelo Proyección	MAPS
Población proyectada Chile	Modelo Proyección	MAPS
Participación por Región	Cálculo emisiones	Planillas de apoyo inventario de emisiones 2012, MMA
Residuos Tratados por Compostaje	Cálculo emisiones, Modelo Proyección	Planillas de apoyo inventario de emisiones 2012, MMA
RSM reciclados	Cálculo emisiones, Modelo Proyección	(ECO-Ing, 2012)
Composición de Residuos	Cálculo emisiones, Modelo Proyección	Directrices del IPPC, 2006
Porcentaje a cada tipo de SEDS actual	Cálculo emisiones	Planillas de apoyo inventario de emisiones 2012, MMA
Carbono Orgánico Degradable	Cálculo emisiones	Directrices del IPPC, 2006
Carbono Orgánico Degradable Descomponible	Cálculo emisiones	Directrices del IPPC, 2006
Factor de Corrección de Metano Sitios Rellenos Sanitarios	Cálculo emisiones	Directrices del IPPC, 2006
Factor de Corrección de Metano Vertederos	Cálculo emisiones	Directrices del IPPC, 2006
Factor de Oxidación	Cálculo emisiones	Directrices del IPPC, 2006
Tasa de Descomposición de Residuos por Región	Cálculo emisiones	Políticas para el Abatimiento de GEI, 2010
Porcentaje de Captura de Metano por SEDS	Cálculo emisiones	Planillas de apoyo inventario de emisiones 2012, MMA
Factores de Emisión Compostaje	Cálculo emisiones	Directrices del IPPC, 2006

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Aguas Residuales Domésticas y Lodos Residuales.

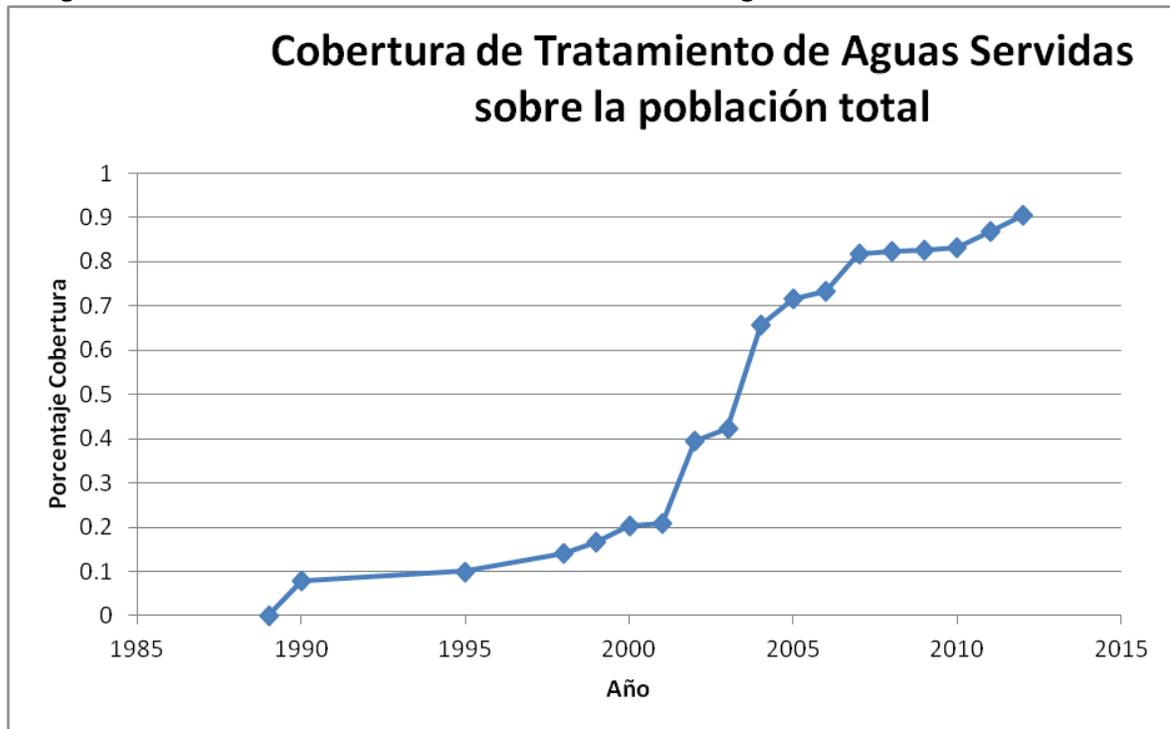
Las emisiones en esta categoría se deben principalmente al metano liberado durante el tratamiento anaeróbico de las aguas y lodos y al óxido nitroso producido por las reacciones de nitrificación y denitrificación. Actualmente, el metano liberado por tratamiento de aguas es muy bajo ya que la tecnología más utilizada es la de lodos activados en donde la degradación es aeróbica y por lo tanto no se libera metano. Adicionalmente, una parte de las plantas de tratamiento de aguas depositan sus lodos residuales en rellenos sanitarios o vertederos.

3.2.1 Modelo de Proyección

Se estima que para el año 2013 el agua producida por el 100% de la población sea tratada. La cobertura de tratamiento de aguas servidas muestra aumentos significativos en las últimas dos décadas (

Figura 3-6). El crecimiento promedio de la cobertura en los últimos seis años ha sido de un 4.01%, si es que este crecimiento se mantiene para el 2013, la cobertura de este año sería de un 99,95% y en 2014 de un 100%. Para efectos de simplificación de los cálculos se supone que la cobertura del año 2013 y todos los años posteriores será de un 100%.

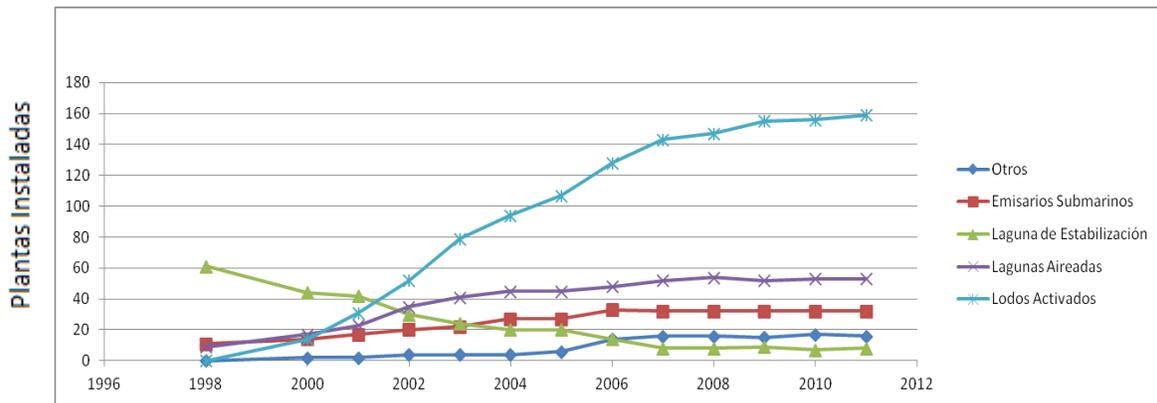
Figura 3-6 : Aumento de la cobertura del tratamiento de aguas servidas en los últimos años



Fuente: Elaboración propia a partir de datos SISS (2012)

Como se mencionó anteriormente, la tecnología utilizada influye en la cantidad de metano y óxido nitroso liberado en el tratamiento de aguas. Por otra parte, a mayores niveles de desarrollo se prioriza la utilización de ciertas tecnologías, como lodos activados. Sin embargo, se observa, que para los niveles actuales de PIB los tipos de tratamiento que se utilizan se han estacando (Figura 3-7), por lo que se supone que los las proporciones actuales de tratamiento se mantendrán iguales a las del año 2011 y constantes para el futuro.

Figura 3-7 : Evolución de los tipos de tratamiento de aguas servidas en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia a partir de SISS, 2012

La generación total de aguas servidas depende directamente de la población, por lo tanto, la generación de aguas crecerá de la misma forma en que crecerá la población.

Los caudales tratados en cada planta, el tipo de tratamiento que reciben y el tratamiento que reciben los lodos se conocen gracias al Informe de Gestión Sanitaria de la Superintendencia de Servicios Sanitarios de 2007. Con todo esto para proyectar el caudal tratado en cada planta se utilizó la Ecuación 3-5, tomando como valor inicial los caudales tratados en el año 2012.

Ecuación 3-5 : Proyección de la generación de aguas servidas domiciliaras

$$Q_i^j = Q_{i-1}^j * C_i$$

Donde:

$$Q_i^j [L/s]$$

: Caudal tratado en la planta j en el año i.

$$C_i$$

: Crecimiento de la población en el año i.

3.2.2 Cálculo de Emisiones

Para calcular las emisiones provenientes del tratamiento de las aguas servidas se utiliza las directrices del IPCC 2006 nivel TIER II para cada tipo de tratamiento. Se utiliza los factores de emisión entregados por el IPCC para cada tratamiento. En relación a las DBO se utiliza un valor promedio de 250 mg/lit de DBO, pues la SISS no cuenta con información relativa a cada planta.

Los factores de emisión para cada tratamiento se calculan a partir de capacidad máxima de producción de metano y los factores de corrección de metano para cada tratamiento según lo señalado en la Ecuación 3-6. Los resultados se muestran en la Tabla 3-11.

Ecuación 3-6 : Cálculo del factor de emisión para los tipos de tratamiento

$$EF^k = B_o * MCF^k$$

dónde

MCF_k : Factor de corrección de metano para el tratamiento k.
 B_o : Capacidad máxima de producción de CH_4 , kg. de CH_4 /kg. de DBO

Tabla 3-11 : Factores de emisión (EF) pra los distintos tipos de tratamiento de aguas servidas

Tratamiento	Factor de Emisión (kg. de CH_4 /kg. de DBO)
BIOFILTRO	0
EMISARIO SUBMARINO	0,06
LAGUNA AIREADA	0,18
LAGUNA ESTABILIZACION	0,48
LODOS ACTIVADOS	0
LOMBRIFILTRO	0
PRIMARIO Y DESINFECCION	0
SBR	0
ZANJA OXIDACION	0

Fuente: (Eggleston et al., 2006)

Con todo esto las emisiones producidas en una plata j que utiliza un tratamiento k, en el año i se calcula según la ecuación

Ecuación 3-7

$$E_i^{jk} = Q_i^j * E^k$$

donde

E_i^{jk} : Emisiones de una planta de tratamiento j que utiliza un tratamiento k en el año i en ton/año

Q_i^j : Caudal tratado en la planta j en el año i en L/s.

EF^k : Factor de emisión del tratamiento k en kg. de CH₄/kg. de DBO.

Para calcular las emisiones totales en una región se utiliza la Ecuación 3-8:

Ecuación 3-8

$$\sum_{j \in I} \sum_{k \in K} \sum_{j \in k} E_i^{jk}$$

En relación a los lodos, se conoce la cantidad de lodos separados en algunas de las plantas de tratamiento, gracias a información recopilada por el MMA para la elaboración de la actualización de gases efecto invernadero del año 2012. Puesto que no se conocen valores para todas las plantas, se obtuvo un valor promedio para cada tipo de tratamiento (Tabla 3-12), que se aplicó posteriormente a todas las plantas del mismo tipo.

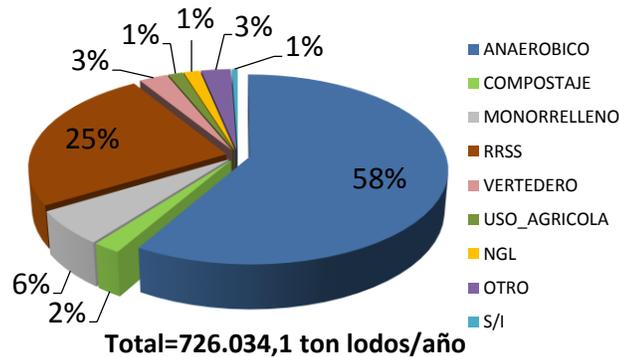
Tabla 3-12 : Fracción de producción y separación de lodos

Tratamiento	Producción de lodos (gr de lodo húmedo/ m3 de agua)
BIOFILTRO	1080,4
EMISARIO SUBMARINO	51,79
LAGUNA AIREADA	416,21
LAGUNA ESTABILIZACION	14,64
LODOS ACTIVADOS	1080,40
LOMBRIFILTRO	0,00
PRIMARIO Y DESINFECCION	322,53
SBR	953,90
ZANJA OXIDACION	962,03

Fuente: Elaboración Propia

La mayoría de los lodos actualmente se trata con tratamiento anaeróbico. Por otra parte, se cuenta con información que indica el destino de lodos generados en cada planta de tratamiento (Figura 3-8).

Figura 3-8 : Taratamiento de lodos



A continuación se realiza una breve descripción de los distintos tratamientos a los que son sometidos los lodos según el destino.

1. Plantas de compostaje: Se realiza tratamiento aeróbico de los lodos para estabilizarlos.
2. Monorrelleno: Relleno dispuesto especialmente para depositar los lodos previamente estabilizados con cal.
3. Relleno Sanitario: Los lodos son depositados en rellenos sanitarios previamente estabilizados con cal.
4. Verteros autorizados: Los lodos, previamente estabilizados con cal, son depositados en vertederos autorizados.
5. Tratamiento anaeróbico: Los lodos se tratan en digestores anaeróbicos en donde se captura y quema el metano generado.
6. Uso agrícola: Los lodos estabilizados se utilizan como abono o fertilizante. Las emisiones producidas en esta categoría deben ser contabilizadas en el sector Agropecuario. (Eggleston et al., 2006)

Puesto a que la legislación exige que los lodos sean estabilizados, y por lo tanto no emitan ningún tipo de gas al ser depositados, se supone que independiente del tratamiento que estos reciban las emisiones asociadas a los lodos de aguas servidas son nulas. Puesto a que para la actualización del Inventario de GEI se utilizó la metodología de 2006, en donde las emisiones de lodos se calculan junto con las de aguas residuales domésticas, el resultado de las emisiones finales de los lodos se considera también nulo.

3.2.3 Fuentes de Información

Tabla 3-13 . Fuentes de Información para el Tratamiento de Agua Servidas Domésticas

Parámetro	Aplicación	Fuente
Caudal histórico tratado	Modelo Proyección	SISS
Cobertura por tipo de tratamiento	Modelo Proyección	SISS
Producción de Lodos por DBO tratado	Modelo Proyección	SISS
Factores de Emisión de Metano	Cálculo emisiones	(Eggleston et al., 2006)
Factores de Emisión Óxido Nitroso	Cálculo emisiones	(Eggleston et al., 2006)

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales tienen asociadas emisiones de metano que están relacionadas con la materia orgánica degradable (DBO) contenidas en las aguas tratadas.

3.3.1 Modelo de proyección

En primer lugar, se encontró que la variable que mejor explica la evolución en la producción del RILES es la actividad industrial. Los catastros contienen información del caudal y la concentración de los RILES tratados en cada tipo de industria, por lo que se proyectará la carga orgánica (Caudal por Concentración) generados en cada industria según el crecimiento de actividad industrial de cada una de ellas, cuyos valores son entregados por el equipo consultor del sector Industria señalado en la siguiente tabla.

Tabla 3-14: Crecimiento Actividad Industrial

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Aceites vegetales	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Café	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Carnes y Aves	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Jabón y detergentes	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Malta y Cerveza	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
No Aplica	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Plásticos y resinas	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Procesamiento del pescado	1.59%	0.79%	0.78%	0.78%	0.77%	0.77%	0.76%	0.75%
Producción de almidón	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%

Productos lácteos	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Pulpa y papel (combinados)	-0.30%	3.01%	3.17%	3.21%	3.18%	2.66%	0.88%	5.68%
Refinación de Azúcar	-14.60%	4.03%	3.88%	3.73%	3.59%	3.47%	0.78%	0.77%
Refinado de Alcohol	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Refinerías de Petróleo	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Sustancias químicas orgánicas	-0.85%	-0.91%	-0.97%	-1.04%	-1.12%	-1.20%	0.00%	0.00%
Verduras, frutas y zumos	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%
Vino y Vinagre	4.94%	4.76%	4.67%	4.49%	4.31%	4.22%	4.13%	4.04%

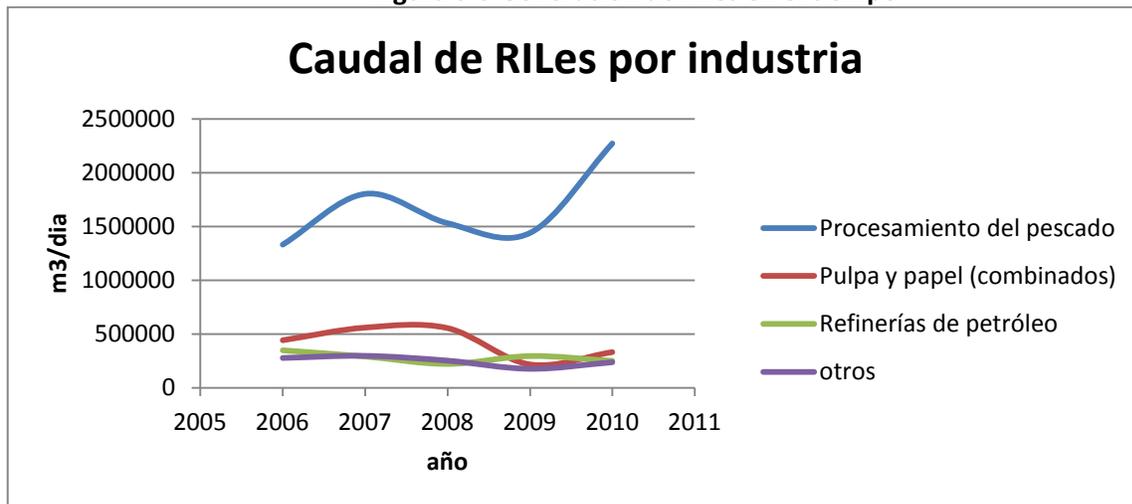
Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por equipo consultor MAPS Minería e Industria.

Se establecerá una relación entre los sectores proyectados según el equipo de industria y los sectores que define el IPCC para estas emisiones

3.3.2 Cálculo de emisiones

Las industrias que generan mayor cantidad de RILes son las de procesamiento de pescado, pulpa y papel y refinerías de petróleo. Se asignará un tipo de tratamiento a cada una de las industrias que más generan y otro tratamiento general para las otras categorías, basándose en criterio experto, la información recopilada por la OFCC para la actualización del inventario de GEI y las directrices del IPCC.

Figura 3-9 Generación de Riles en el tiempo



Fuente: Elaboración Propia a partir de SISS

Al no considerarse una categoría principal ni tener datos específicos del sector para el país, las emisiones se calcularán basadas en la metodología Nivel Tier 1 del IPCC 2006, lo que implica que

se utilizarán los valores de DBO descritos en éstos para cada categoría de la industria (Tabla 3-15).

Tabla 3-15: DQO por tipo de industria

Sector Industrial	DQO(kg DQO/m3)
Refinerías de alcohol	11
Malta y cerveza	2,9
Productos lácteos	2,7
Procesamiento del pescado	2,5
Carnes y aves	4,1
Sustancias químicas orgánicas	3
Refinerías de petróleo	1
Plásticos y resinas	3,7
Pulpa y papel (combinados)	9
Javón y detergentes	0,85
Producción de almidón	10
Refinación del azúcar	3,2
Aceites vegetales	0,85
Vegetales, frutas y jugos	5
Vinos y vinagres	1,5

Fuente: (Eggleston et al., 2006)

Las emisiones se calcularán de acuerdo a la siguiente ecuación:

Ecuación 3-9

$$Emisiones\ de\ CH_{4T} = \left(\sum MCF_i * F_i \right) * DBO_T * B_0 * 25^{13}$$

Donde,

$Emisiones\ de\ CH_{4T}$: Emisiones de CH₄ en el año T en kg CO₂e

MCF_i : Factor de corrección de metano sistema de tratamiento i

F_i : Fracción de caudal tratado por sistema de tratamiento i

DBO_T : Cantidad de DBO en año T, en kg/año

B_0 : Capacidad máxima de producción de CH₄, kg. de CH₄/kg. de DBO

Los factores MCF para los distintos sistemas y el B₀ se establecieron de acuerdo a los valores recomendados por el IPCC 2006 según se aprecia en las siguientes tablas.

¹³ El multiplicador “25” es el factor de potencial de calentamiento global del CH₄ en kg CO₂e/kg CH₄.

Tabla 3-16. MCF distintos tratamientos

Tratamiento	Valor
Eliminación en río, lago y mar	0,1
Planta de tratamiento aeróbico bien gestionada	0
Planta de tratamiento aeróbico mal gestionada	0,3
Digestor anaeróbico para lodos	0,8
Reactor anaeróbico	0,8
Laguna anaeróbica poco profunda	0,2
Laguna anaeróbica profunda	0,8

Fuente: (Eggleston et al., 2006)

Tabla 3-17. B_0 para RILes

Parámetro	Valor
B_0	0,6 kg. de CH_4 /kg. de DBO

Fuente: (Eggleston et al., 2006)

3.3.3 Fuentes de información

Tabla 3-18 Fuentes de información aguas residuales industriales

Parámetro	Subsección	Fuente
DBO en RILes	Modelo Proyección	Ministerio de Medio Ambiente 2013.
Fracción de caudal tratado por sistema de tratamiento	Modelo Proyección	Ministerio de Medio Ambiente 2013

Fuente: Elaboración propia

3.4 Residuos hospitalarios

Los residuos hospitalarios y cuerpos tienen asociadas emisiones de GEI por la incineración. El total de emisiones depende de la cantidad de masa total incinerada y el contenido de carbono fósil en ella.

3.4.1 Modelo de proyección

Al no ser la incineración una categoría principal, es posible utilizar la metodología de *Nivel Tier 1* con parámetros preestablecidos. Para establecer la cantidad de residuos hospitalarios y cuerpos incinerados se analizó la información existente en las planillas de "Complementos cálculo de actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de

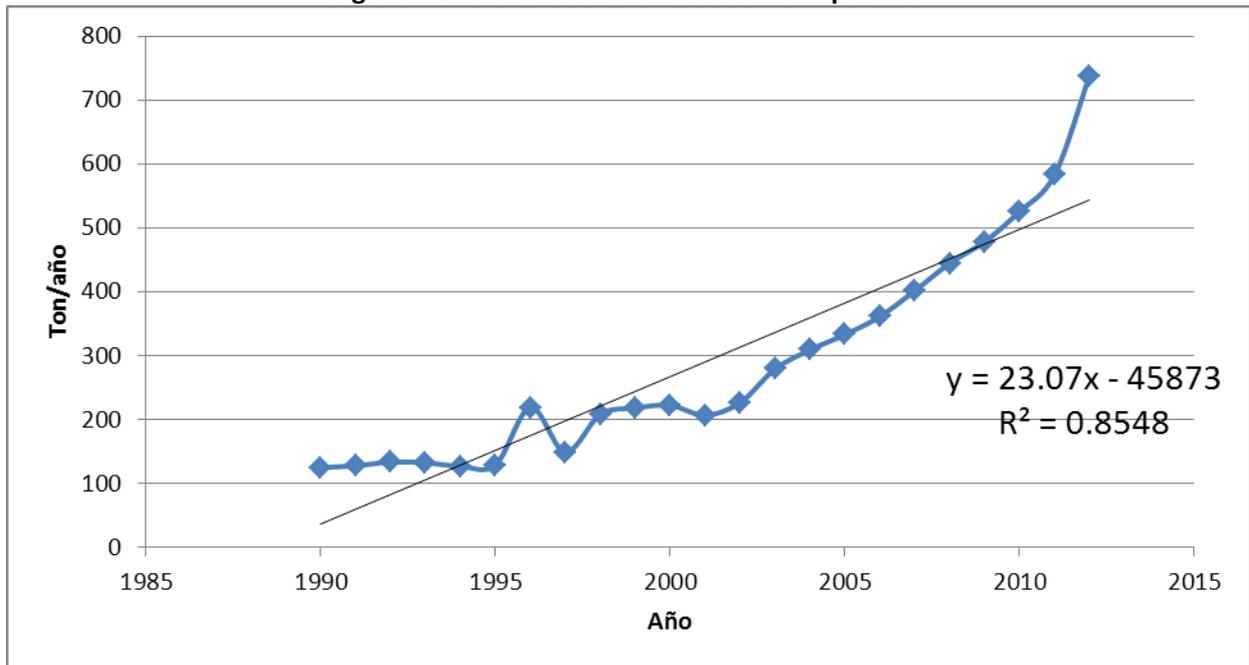
agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos” (INIA, 2010).

Con los datos de generación de residuos hospitalarios desde 1990 hasta 2012 se encuentra la relación entre la generación de residuos hospitalarios y el tiempo:

Ecuación 3-10

$$Res. Hosp \left[\frac{ton}{año} \right] = 23.07 * Año - 45873$$

Figura 3-10 : Generación de Residuos Hospitalarios



Fuente: Elaboración Propia

3.4.2 Cálculo de emisiones

El cálculo de las emisiones se realizará de acuerdo a la metodología del IPCC Nivel 1, ya que no se trata de una categoría principal y no existe gran calidad de información existente. Sólo se considerarán emisiones de CO₂, no incluyendo las emisiones de CH₄ y N₂O debido a su escaso aporte en esta subcategoría.

La ecuación utilizada para el cálculo es:

Ecuación 3-11.

$$Emisiones CO_{2T} = CW_T * dm * CF * FCF * OF * \frac{44}{12}$$

Donde,

- Emisiones CO_{2T}* : Emisiones de CO2 durante el año T, Gg/año.
- CW_T* : Cantidad total de desechos hospitalarios o cuerpos incinerados en año T Gg/año
- dm* : Fracción de materia seca en los desechos incinerados
- CF* : Fracción de carbono en la materia seca
- FCF* : Fracción de carbono fósil en el carbono total
- OF* : Factor de oxidación (fracción)

Para los parámetros estáticos se usarán los mismos valores utilizados en el estudio de línea base de 2007.

Tabla 3-19. Parámetros para el cálculo de emisiones

Parámetro	Valor
<i>dm</i>	0,6
<i>CF</i>	0,6
<i>FCF</i>	0,4
<i>OF</i>	1

Fuente: (POCH, 2013)

3.4.3 Fuentes de información

Tabla 3-20 Fuentes de información incineración residuos hospitalarios

Parámetro	Aplicación	Fuente
Masa de residuos incinerada histórica	Modelo Proyección	(INIA, 2010)

Fuente: Elaboración propia

3.5 Excretas humanas

Las emisiones de N₂O asociadas a las excretas humanas están relacionadas a la cantidad de proteínas consumidas por la población.

3.5.1 Modelo de proyección

La información histórica de proteínas consumidas per cápita se obtuvo de la base de datos de la FAO. Estos datos son los mismos del MMA y por lo tanto son los mismos utilizados en Línea de

Base 2007. Para proyectar el consumo de proteínas per cápita se analizó la relación que ha tenido el consumo de proteínas en Chile en con el tiempo y el PIB per cápita.

Para la regresión entre el consumo de proteínas con y el tiempo se obtuvo un R^2 de 0.83 (Figura 3-11 : Regresión entre el tiempo y el consumo proteínas per cápita diario (g/(hab*día)) mientras que para la regresión entre el consumo y el PIB per cápita el R^2 obtenido fue de 0.9 (Figura). Por otra parte, a medida que un país tiene mayores ingresos la adquisición de productos de origen animal aumenta y, por lo tanto, el consumo de proteínas también.

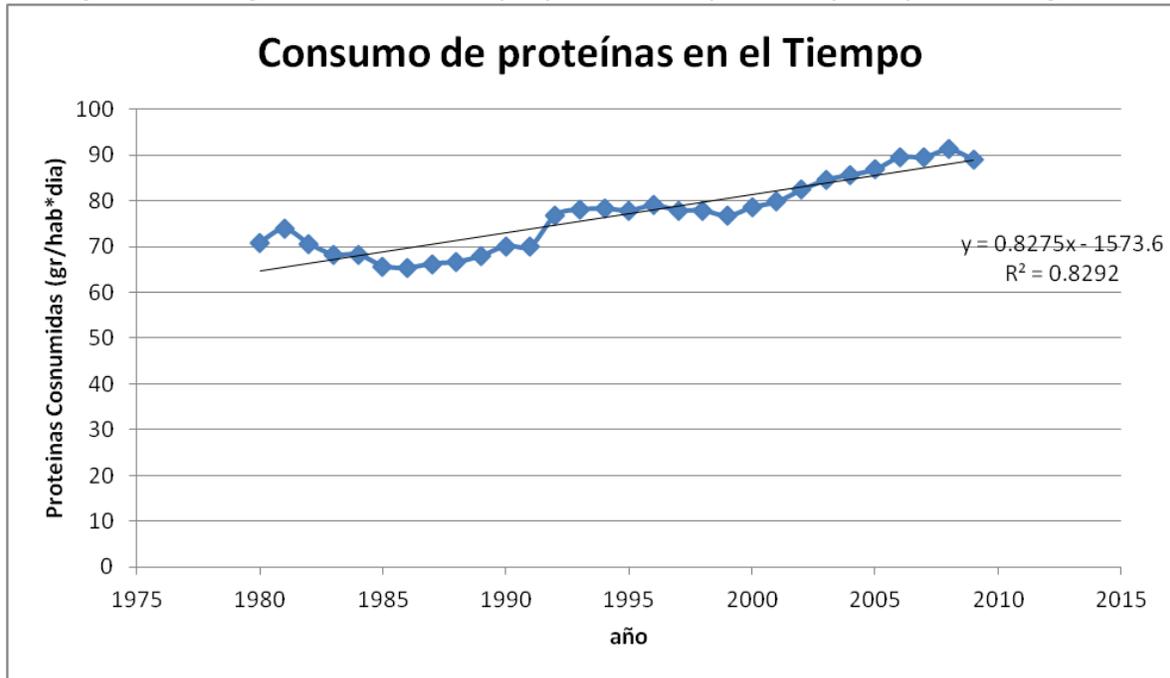
Se considera que el consumo de proteínas en un país se relaciona de mejor forma con el PIB per cápita que con el paso del tiempo, por lo que la proyección se realizará con una función encontrada con esta variable explicativa.

Tabla 3-21 Consumo de proteínas en el tiempo

Año	Proteínas per cápita (gr/hab*día)	Año	Proteínas per cápita (gr/hab*día)
1981	73,8	1996	79,0
1982	70,6	1997	77,9
1983	68,2	1998	77,9
1984	68,2	1999	76,7
1985	65,7	2000	78,6
1986	65,3	2001	79,8
1987	66,2	2002	82,4
1988	66,6	2003	84,6
1989	67,9	2004	85,7
1990	70,1	2005	86,9
1991	70,1	2006	89,6
1992	76,8	2007	89,6
1993	78,1	2008	91,3
1994	78,3	2009	89,0
1995	77,9		

Fuente FAO

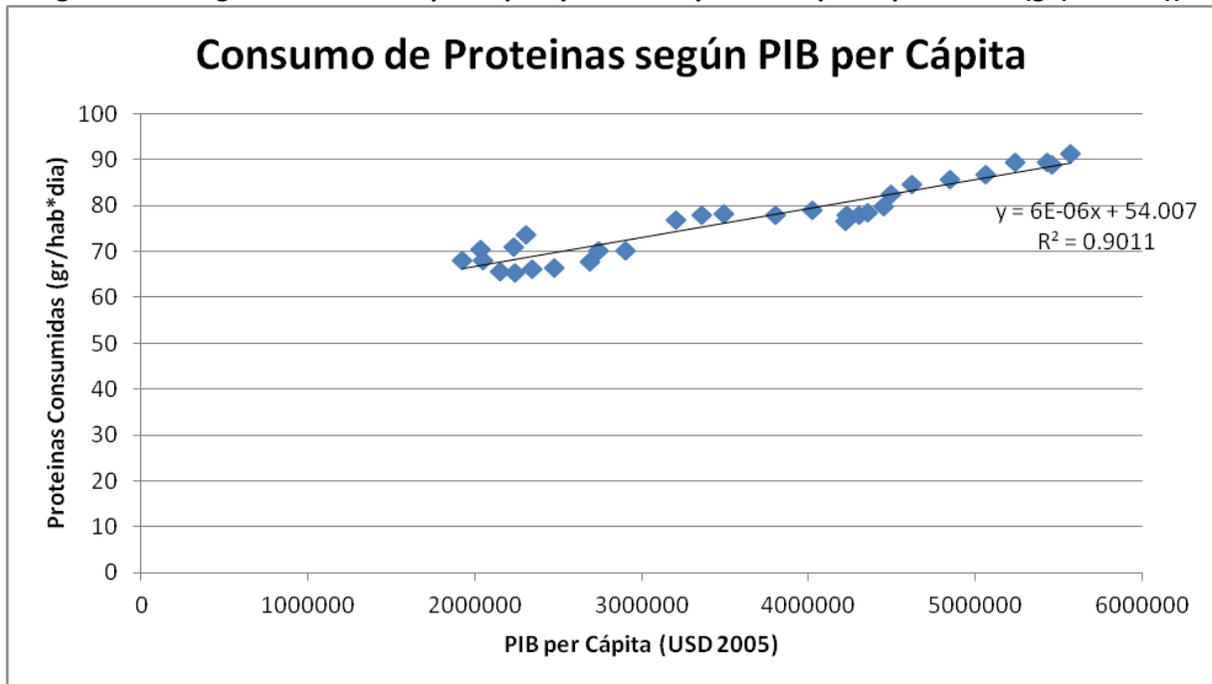
Figura 3-11 : Regresión entre el tiempo y el consumo proteínas per cápita diario (g/(hab*día))



Fuente

: Elaborado a partir de datos de la FAO

Figura 3-10. Regresión entre PIB per cápita y consumo proteínas per cápita diario (g/(hab*día))



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la FAO y el Banco Mundial

De forma general el consumo de proteínas no supera los 120 gr/hab-día por lo que cuando se alcanza este valor, en el año 2028 se mantiene fijo (FAOSTAT, n.d.).

Con todo esto la ecuación a utilizar en el período 2013-2028 será:

Ecuación 3-12. Proyección de consumo de proteínas diarias respecto al PIB per cápita

$$Prot_T = 365/1000 * (0,0025 * PPC_T + 53,565)$$

Donde,

$Prot_T$: Consumo anual de proteínas por personas (kg/(habitante*año)) en el año T

PPC_T : PIB per cápita en el año T

3.5.2 Cálculo de emisiones

Las emisiones de N₂O anuales provenientes de las excretas humanas de las aguas residuales se calcularán utilizando la metodología del IPCC 2006 utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 3-13. Emisiones N₂O por año

$$Emisiones\ N_2O_T = (PU * Prot_T * F_{NPR} * F_{NON-CON} * F_{IND-COM}) - N_{LODO} * FE * \frac{44}{28} * 298^{14}$$

Donde,

$Emisiones\ N_2O_T$: Emisiones de N₂O en el año T en kg CO₂e

PU : Población urbana

$Prot_T$: Consumo anual de proteínas por personas (kg/(habitante*año)) en el año T

F_{NPR} : Fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0,16 kg. de N/kg. de proteína

$F_{NON-CON}$: Factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales

$F_{IND-COM}$: Factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado

N_{LODO} : Nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0), kg. de N/año

FE : Factor de emisión para las emisiones de N₂O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg. de N₂O/kg. de N

Para los parámetros constantes se usarán los valores recomendados por el IPCC según se muestra en la siguiente tabla.

¹⁴ El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg. de N₂O-N en kg. de N₂O. El número 298 es el factor de potencial de calentamiento global del N₂O en kg CO₂e/kg N₂O.

Tabla 3-22. Parámetros para el cálculo de emisiones de excretas humanas

Parámetro	Valor
F_{NPR}	0,16 kg. de N/kg. de proteína
$F_{NON-CON}$	1,1
$F_{IND-COM}$	1,25
N_{LODO}	0 kg. de N/año
FE	0,005 kg. de N ₂ O-N/kg. de N

Fuente: IPCC, 2006

3.5.3 Fuentes de información

Tabla 3-23. Fuentes de información excretas humanas

Parámetro	Aplicación	Fuente
Consumo proteína (g/hab/día) histórico	Modelo Proyección	FAOSTAT
PPC histórico	Modelo Proyección	Banco Mundial
PPC proyectado	Cálculo emisiones	MAPS
Población proyectada	Cálculo emisiones	MAPS

Fuente: Elaboración propia

4. Resultados Proyección Línea Base 2013

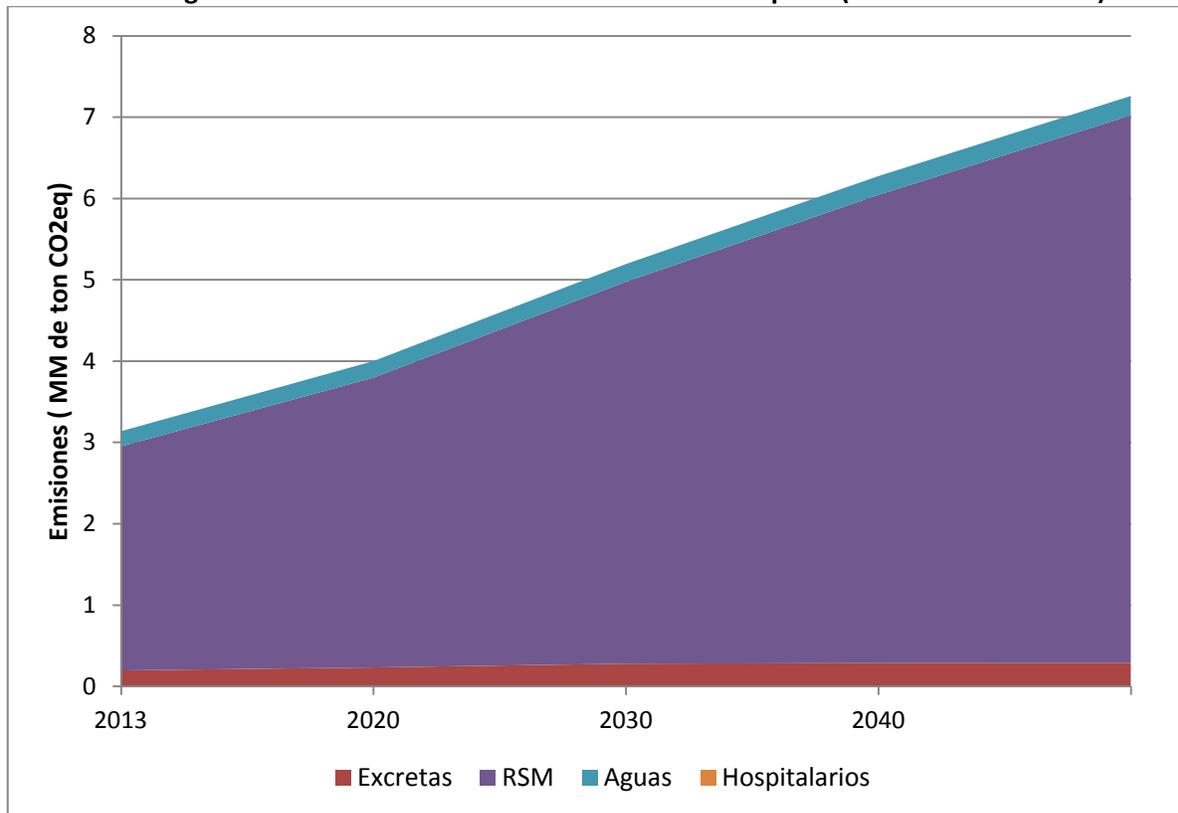
4.1 Resultados a nivel nacional

En esta sección se muestra los resultados de la estimación de emisiones de gases efecto invernadero para la Línea Base 2013 para cada uno de los subsectores descritos en la sección anterior. Los resultados desde 2010 hasta 2012 corresponden a datos y no a proyecciones, mientras que hasta 2050 corresponden a cálculos obtenidos de proyecciones.

Se observa que en estos análisis las emisiones totales aumentan en más de 200% desde 2013 hasta 2050. El principal sector responsable de este aumento es el de los RSM, subsector que genera el 87,8% de las emisiones totales del sector (Figura 4-1: Emisiones totales de los residuos antrópicos) en el año 2013.

Las emisiones por tratamiento de aguas, RILes y aguas domésticas en su conjunto disminuyen levemente su participación desde 5,95% en 2013 hasta un 3,28% en 2050. Se observa una baja de las emisiones en el año 2006, que se debe al de inicio de captura de metano en los rellenos sanitarios de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio.

Figura 4-1: Emisiones totales de los residuos antrópicos (escenario PIB Medio)



En el escenario de crecimiento alto se espera que las emisiones en el año 2050 sean un 8,3% mayores que en el escenario de bajo crecimiento.

La siguiente tabla muestra los valores para algunos años clave en todos los escenarios de base.

Tabla 4-1 Emisiones totales en ton CO₂eq

Escenarios	2013	2020	2030	2040	2050
Escenario Bajo total (M tCO₂)	3.135,80	3.977,64	5.104,07	6.091,41	6.966,78
<i>Residuos sólidos</i>	2.754,37	3.546,91	4.618,55	5.586,61	6.452,86
<i>Residuos líquidos domiciliarios</i>	145,76	154,00	162,62	166,98	167,73
<i>RILes</i>	40,90	49,14	55,69	63,39	70,47
<i>Residuos hospitalarios</i>	0,15	0,19	0,25	0,31	0,38
<i>Excretas humanas</i>	194,62	227,39	266,96	274,12	275,35
Escenario Medio total (M tCO₂)	3.135,80	3.998,44	5.191,98	6.272,98	7.259,01
<i>Residuos sólidos</i>	2.754,37	3.563,49	4.695,17	5.756,58	6.733,43
<i>Residuos líquidos domiciliarios</i>	145,76	154,00	162,62	166,98	167,73
<i>RILes</i>	40,90	49,14	55,69	63,39	70,47
<i>Residuos hospitalarios</i>	0,15	0,19	0,25	0,31	0,38
<i>Excretas humanas</i>	194,62	231,62	278,26	285,72	287,01
Escenario Alto total (M tCO₂)	3.135,80	4.019,51	5.284,34	6.450,11	7.458,86
<i>Residuos sólidos</i>	2754,37	3.580,18	4.774,93	5.920,78	6.920,30
<i>Residuos líquidos domiciliarios</i>	145,76	154,00	162,62	166,98	167,73
<i>RILes</i>	40,90	49,14	55,69	63,39	70,47
<i>Residuos hospitalarios</i>	0,15	0,19	0,25	0,31	0,38
<i>Excretas humanas</i>	194,62	236,00	290,84	298,64	299,99

Fuente: Elaboracion Propia

Los antecedentes presentados sugieren que las medidas de mitigación debieran ser enfocadas principalmente a los Residuos Sólidos Municipales.

4.2 Comparación con Línea de Base 2007

Las emisiones calculadas en 2050 en la línea de base 2007 llegan a ser un 19% mayores que las de la línea de base 2013.

Existen dos diferencias de cálculo importante que explican esta diferencia: el cálculo de la generación de carga orgánica en los Riles y el porcentaje de captura en los rellenos.

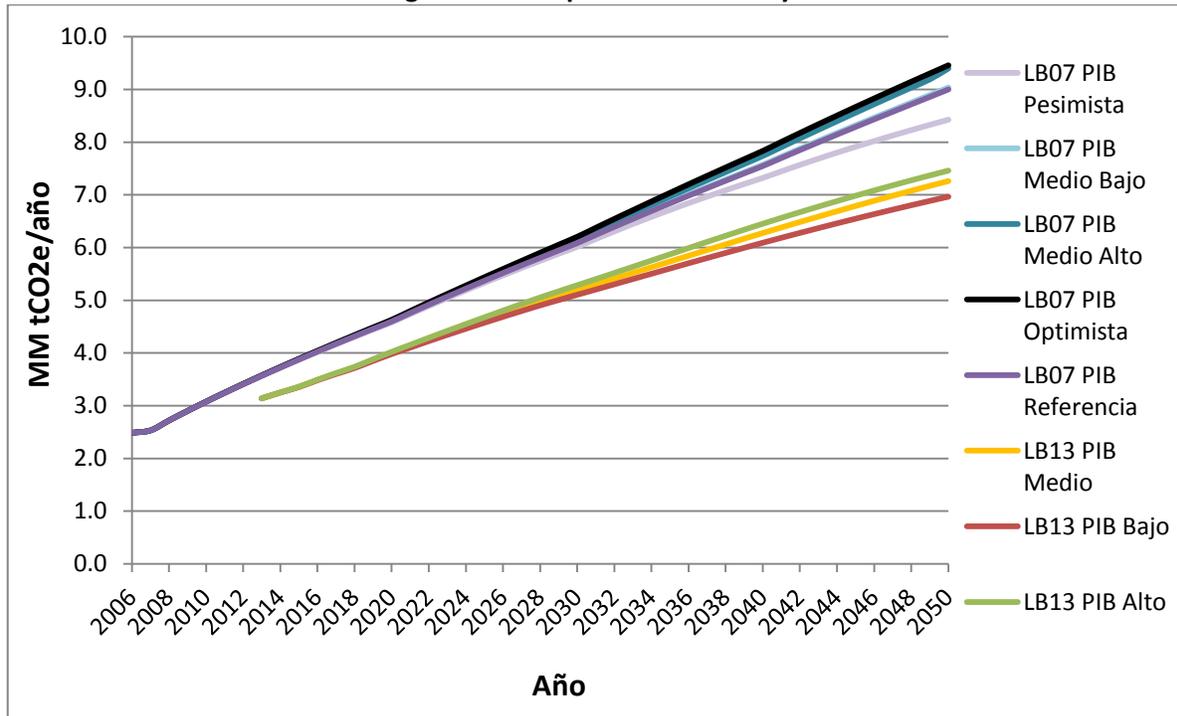
En la línea de base 2007 se proyectó la generación de carga orgánica en Riles con una recta que une los puntos de 1992 y 1998, método que calcula una tonelada de CO₂eq más que este método.

Por otra parte para la línea de base de 2007, se considera como referencia la captura del 0% de metano en los rellenos sanitarios, puesto a que no existan normas ambientales que exigen que la captura sea mayor. Sin embargo, en este trabajo se considera tasas de captura mayores de acuerdo con la información recopilada:

Metano capturado por región (%)	2013	2020	2030
XV_Region_de_Arica_y_Parinacota	0,0	5,7	5,7
I_Region_de_Tarapaca	0,1	5,7	5,7
II_Region_de_Antofagasta	0,3	5,7	5,7
III_region_de_Atacama	2,9	5,2	5,2
IV_Region_de_Coquimbo	3,5	4,1	4,1
V_Region_de_Valparaiso	57,7	57,7	57,7
Region_Metropolitana	43,0	43,0	43,0
VI_Region_de_Ohiggins	37,3	37,3	37,3
VII_Region_del_Maule	90,7	90,7	90,7
VIII_del_Bio-Bio	5,5	5,7	5,7
IX_Region_de_la_Araucania	0,5	5,7	5,7
XIV_Region_de_Los_Rios	5,4	5,7	5,7
X_Region_de_Los_Lagos	0,0	4,4	4,4
XI_Region_de_Aysen	3,9	4,1	4,1
XII_Region_de_Magallanes	0	0	0

Ambas diferencias son responsables de gran parte de la diferencia.

Figura 4-2 Comparación LB 2007 y LB 2013



Fuente: Elaboración Propia

4.3 Residuos Sólidos Municipales

En el Figura 4-3 se observa el aumento en la generación de residuos per cápita en el tiempo. Llama la atención que el Figura 4-4 muestra la generación de residuos versus el PIB per cápita a nivel mundial que parece tener una forma logarítmica, mientras que el de la generación de Chile la forma es casi lineal. Si miramos con mayor detalle la Figura 4-4, se observa que la generación per cápita se empieza a estabilizar cuando el PIB supera los 40.000 USD/hab. Para el período de evaluación el PIB per cápita máximo de Chile alcanza los 39.000 USD/hab, por lo tanto el efecto de estancamiento no se alcanza a apreciar provocando que la curva tenga una forma lineal.

Figura 4-3 Generación de RSM per Cápita en el tiempo

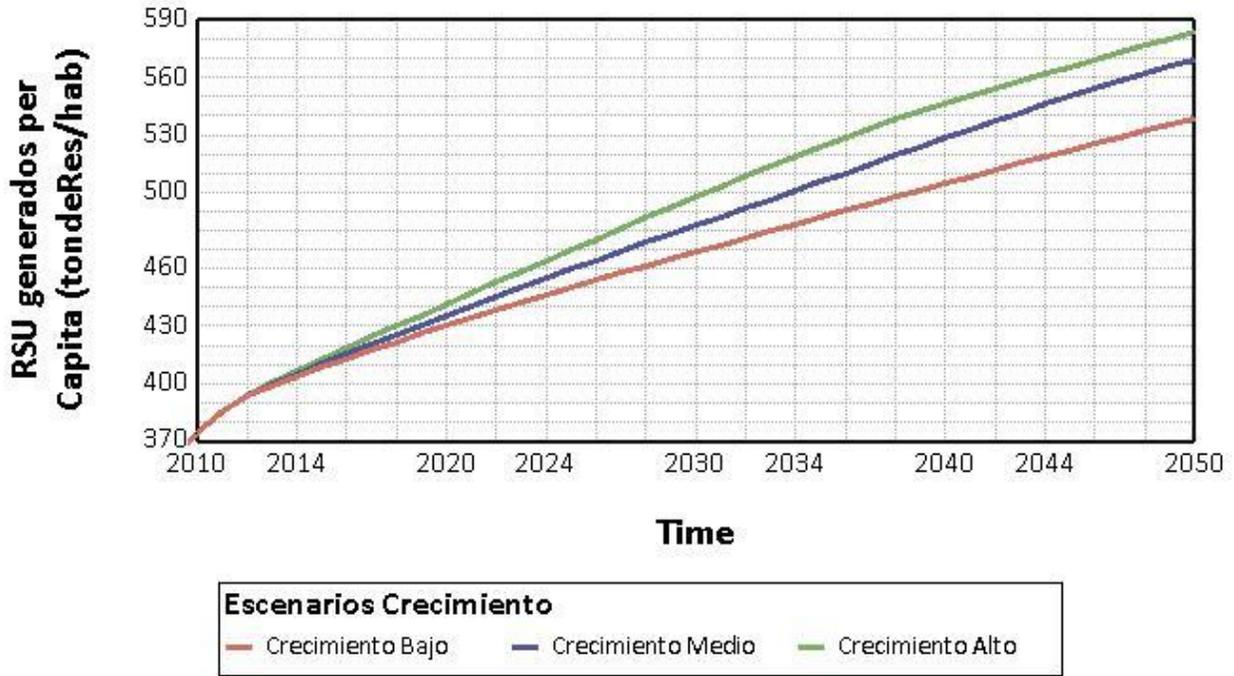
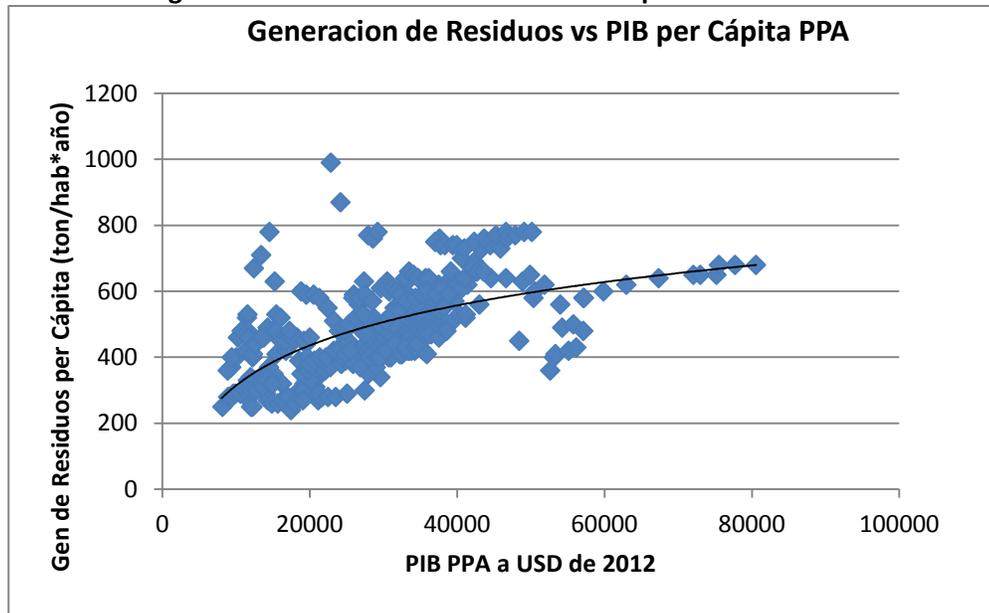


Figura 4-4 Generación de RSM en el tiempo a nivel mundial



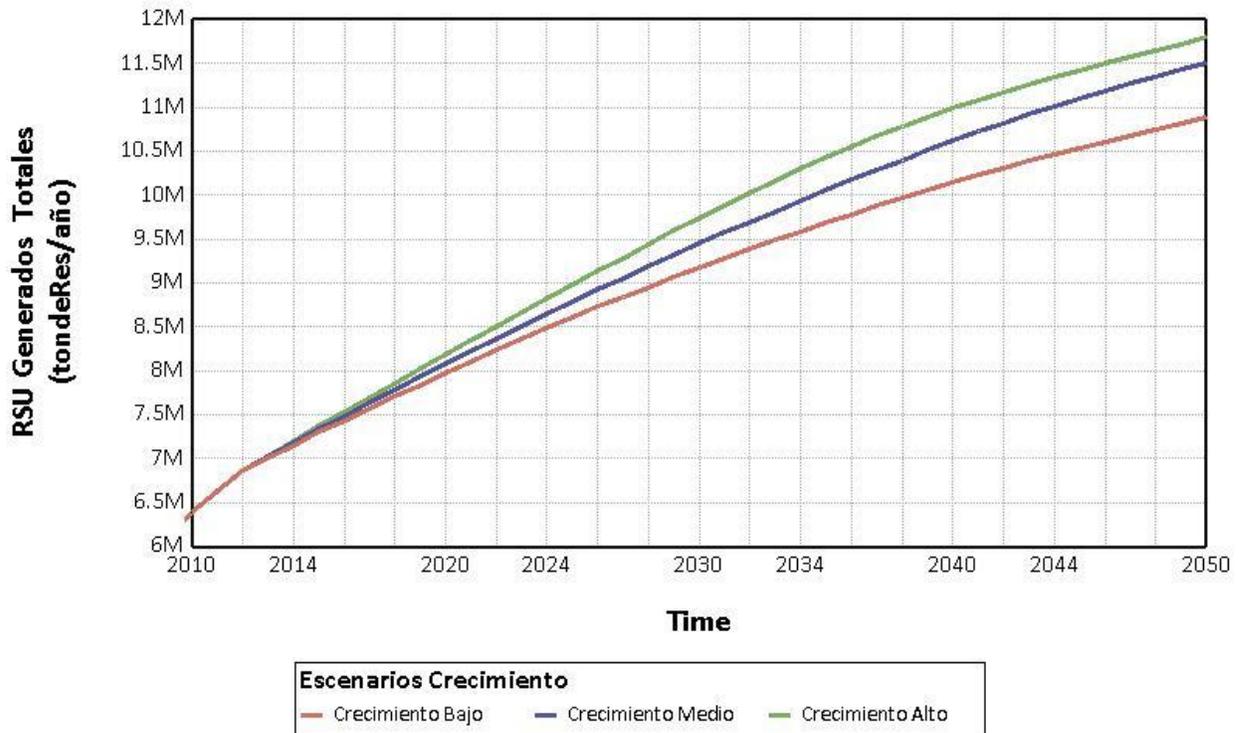
Para comparar los resultados de Chile con lo de otros países, se tomó aquellos puntos del gráfico cuyo PIB es entre un 10% superior y un 10% inferior al PIB per cápita de Chile para el 2050 y se analizó las generaciones per cápita para dichos países y años obteniendo los siguientes resultados:

Generación per cápita [kg/año]	
Mínimo	370
Máximo	1.023
Media	555

La generación per cápita de Chile para esos niveles de PIB es de 569 kg/hab al año, valor que es tan solo un 2,5% superior que la media de países OCDE para esos niveles de PIB.

En relación a la generación de RSM total nacional se observa que la pendiente de la generación de residuos total de Chile aumenta es mayor en el primer período de crecimiento (1985- 2013) que en el segundo período de crecimiento (2010-2035) puesto a que en los primero años existe mayor crecimiento de población y además la generación per cápita de residuos aumenta más.

Figura 4-5 Generación total de residuos en Chile.

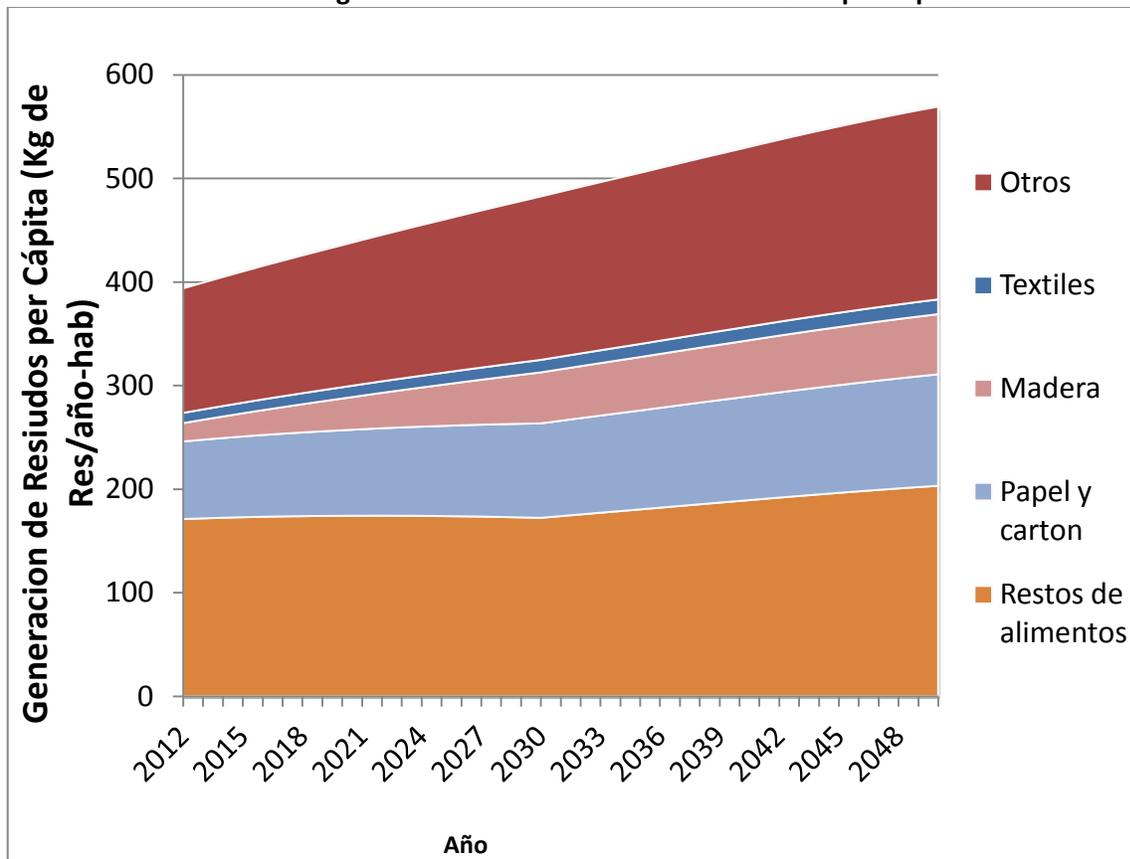


La Figura 4-6 y la Tabla 3-1 muestran la generación per cápita anual de residuos por tipo. Se aprecia que la generación total aumenta en un 42,3% desde 2013 hasta 2050 donde la componente que muestra un mayor incremento es la de “otros”, categoría dentro de la cual se encuentran los plásticos, vidrios, metales y residuos electrónicos.

Tabla 4-2 Generación de RSM per Cápita (Kg)

	2013	2020	2030	2040	2050
Restos de alimentos	172	174	172	189	203
Papel y carton	76	83	91	100	108
Madera	19	31	49	54	58
Textiles	10	11	12	13	14
Otros	122	137	158	173	186
Total	399	436	483	528	569

Figura 4-6 Generación de residuos anuales per cápita



Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la generación de residuos alimentarios se mantiene constante entre 2013 y 2030 (alrededor de los 174 kg/hab-año) y luego aumenta hasta alcanzar los 200 kg/hab-año en 2050. La generación de papel y cartón per cápita aumenta en un 42,3% en el año 2050 con respecto al año 2013. Estos residuos provienen principalmente de paquetes y envases.

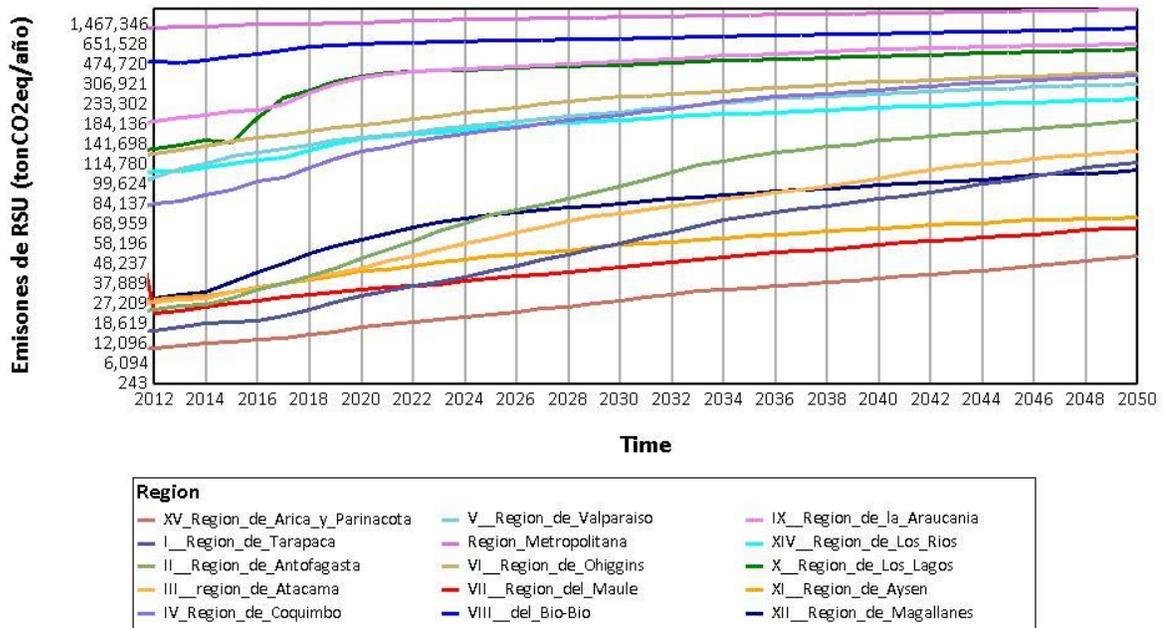
De forma general las emisiones aumentan en el tiempo puesto que aumenta la generación per cápita (al aumentar el PIB per cápita), y la población.

Las emisiones de la Región Metropolitana pasan de representar un 48% del total de las emisiones nacionales en 2013 a un 37% en 2050. Esto se puede atribuir a tres factores: la población de esta región genera mayor cantidad de residuos para mismos niveles de PIB per cápita, existe un mayor PIB per cápita y habita mayor población.

Después de la Región Metropolitana las regiones de Valparaíso y Bio-Bio son las que más generan residuos. Sin embargo, la región del Bio-Bio emite 4,5 veces la cantidad de metano que emite la región de Valparaíso. Esto se debe a que en la zona sur, al presentar mayor humedad, la tasa de generación de metano es de un 0,1 (1/día) en comparación con la tasa de degradación de la zona central que es de un 0,75.

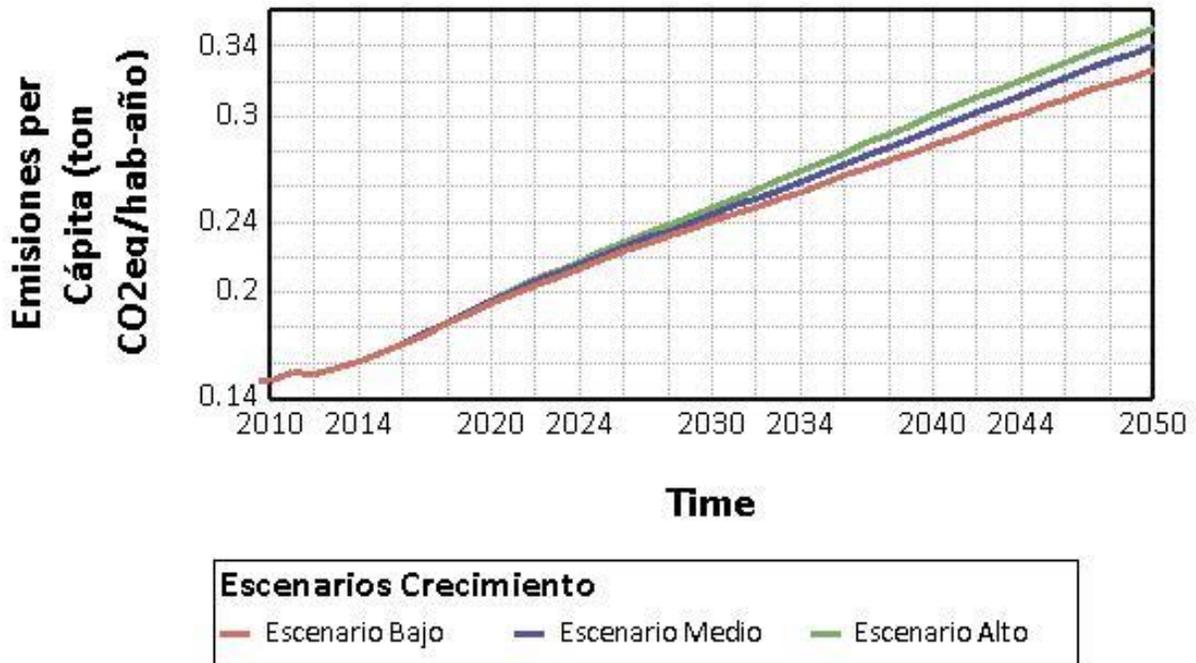
Por otra parte, la región que menor cantidad de metano emite es la de Arica y Parinacota, puesto a que tiene una tasa de degradación muy baja (0,02) y presenta bajos niveles de PIB per cápita.

Figura 4-7 Emisión de Metano de los RSM



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4-8 Emisiones per cápita de proveniente de los RSM

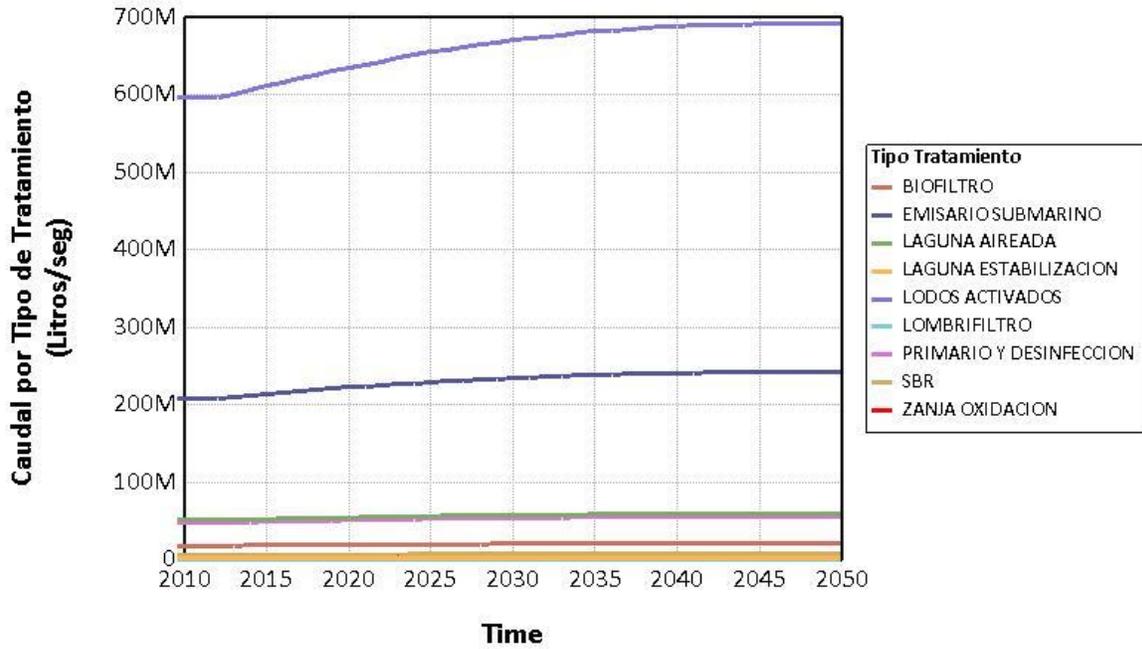


4.4 Aguas residuales domésticas y lodos domésticos.

Las emisiones de metano ligadas al tratamiento de aguas domésticas se deben principalmente al tratamiento anaeróbico de las aguas. Sin embargo, como los tratamientos actuales y futuros más utilizados son tratamientos aeróbicos o con bajos factores de emisión como lodos activados (Figura 4-9), lagunas aireadas o emisarios submarinos las emisiones de este subsector son muy bajas en relación a los demás subsectores.

Se puede observar que las regiones que más registran emisiones son las regiones de Valparaíso, Coquimbo y Bío-Bío (Figura 4-10). Esto se debe a se tratan las aguas principalmente con Emisarios Submarinos, que aunque tenga un bajo factor de emisión, generan metano.

Figura 4-9 Caudal tratado por tipo de tratamiento

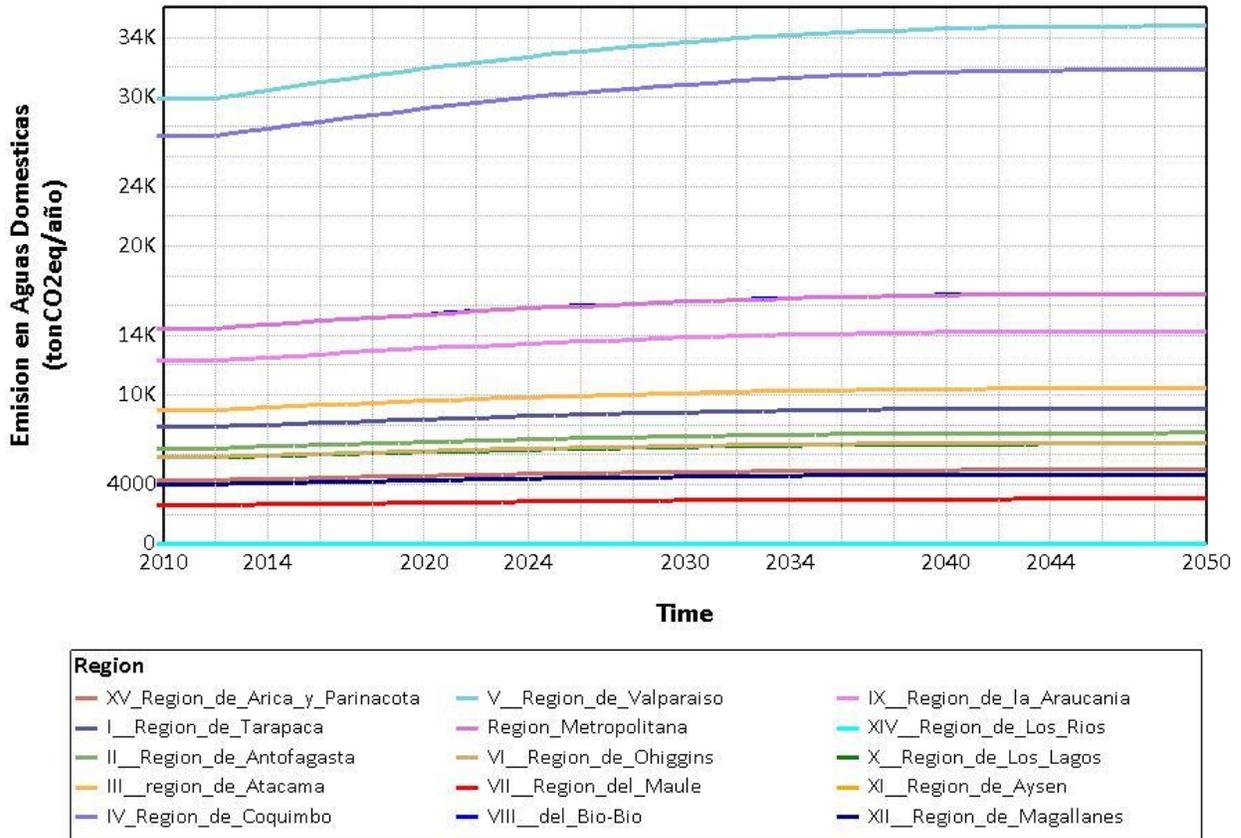


Elaboración Propia

Fuente:

Las emisiones de GEI en este subsector están directamente ligadas al crecimiento de población. Por esta razón, el aumento más significativo se presenta hasta el 2030, ya que después de ese año el crecimiento de la población tiende a estancarse.

Figura 4-10 : Emisiones en aguas domésticas por región

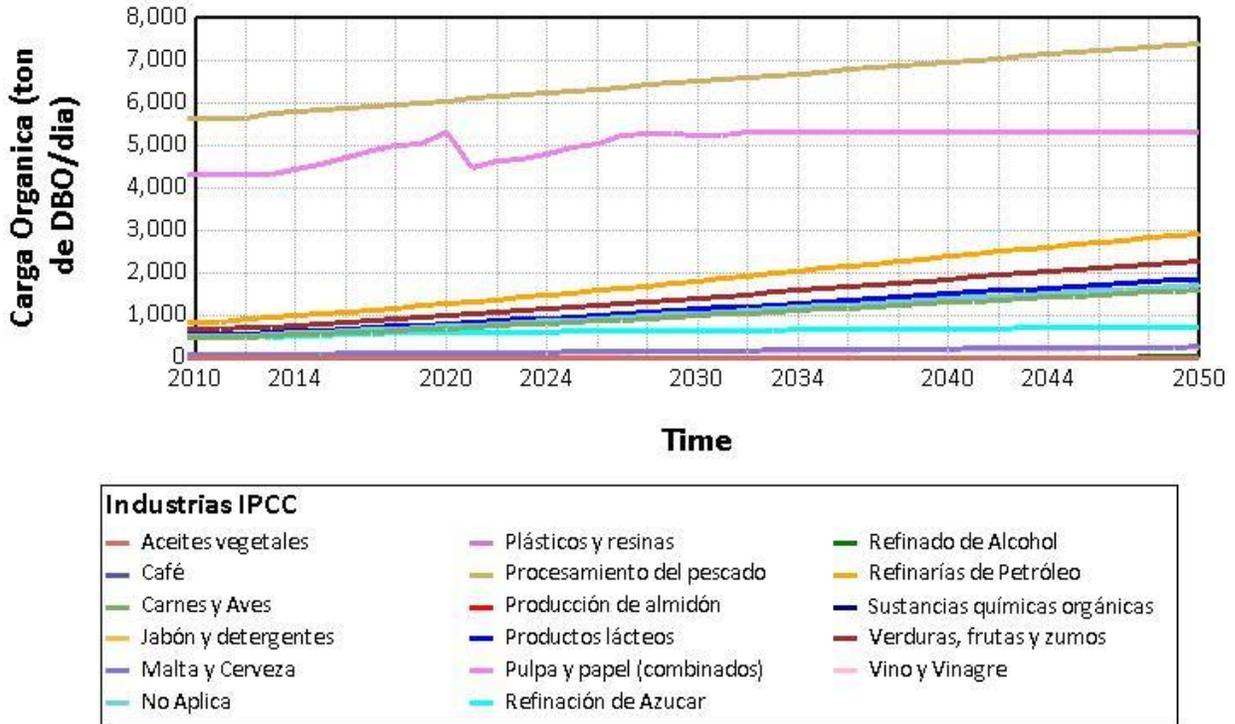


Fuente: Elaboración Propia

4.5 Aguas residuales industriales y lodos residuales.

Las industrias que más carga orgánica presentan son la industria del pescado, pulpa y papel y verduras y frutas. El aporte de dichas industrias a la carga orgánica total del país son de un 31.53%, un 36.5% y un 23.14% respectivamente (Figura 4-11).

Figura 4-11: Carga Orgánica proyectada en los RILES

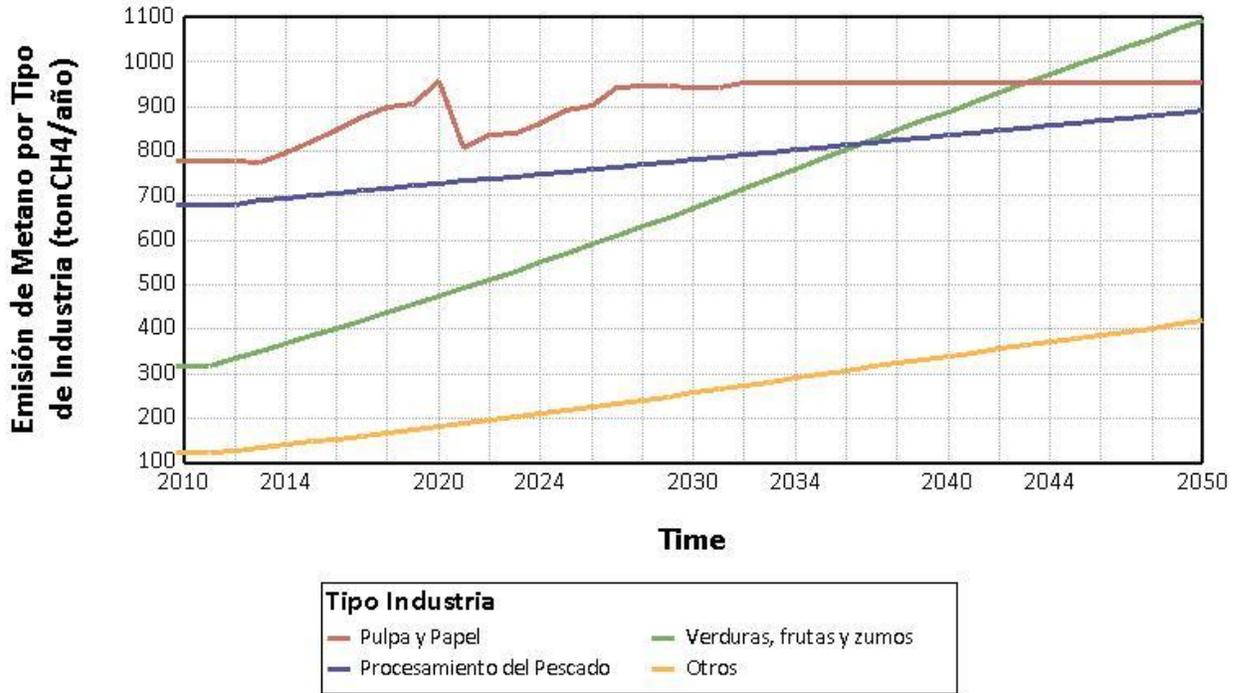


Fuente: Elaboración Propia

A pesar de tener menor carga orgánica que la industria del pescado, la industria de pulpa y papel representa al emisor más importante de este subsector emitiendo un 31.53% del total. Las industrias de procesamiento del pescado y de procesamiento de frutas y verduras emiten un 36% y 23% del total de las emisiones respectivamente (Figura 4-12).

Las refinerías de alcohol, procesadoras de lácteos, carnes, cervezas, entre otros son responsables de sólo un 8.83% de las emisiones en conjunto.

Figura 4-12 Emisiones en los RILes



Fuente: Elaboración Propia

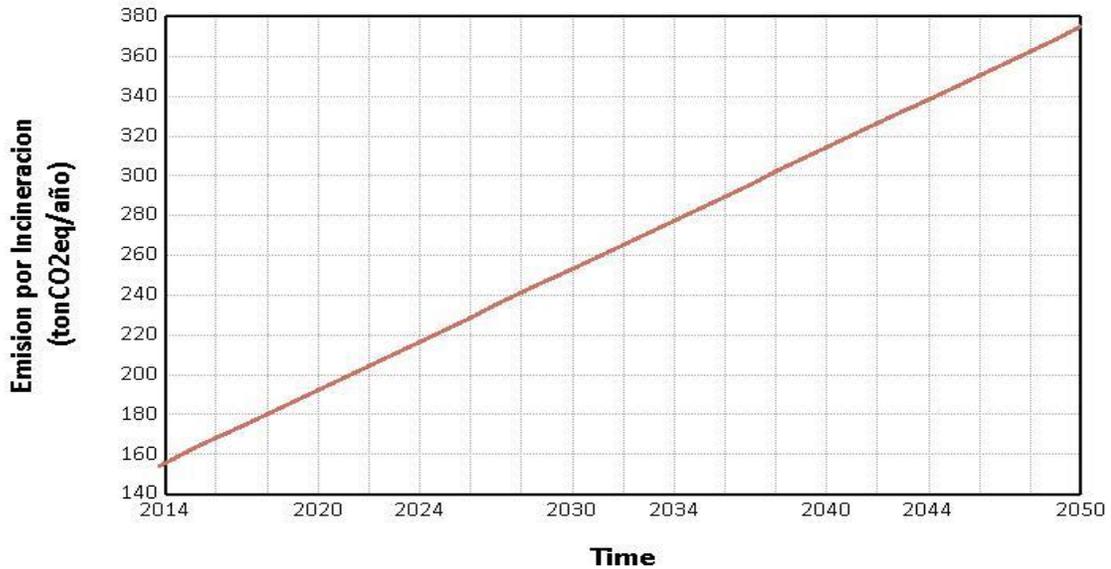
Las emisiones totales aumentan un 58% en el total del período proyectado.

4.6 Residuos Hospitalarios.

Las emisiones provenientes de las emisiones de residuos hospitalarios dependen exclusivamente de la masa de residuos incinerada puesto a que los diferentes tipos de tecnologías de incineración no presentan diferencias significativas en sus factores de emisión.

Se registra un aumento del 150% del 2013 al 2050, sin embargo las emisiones totales al final del período siguen representando una porción muy pequeña de la emisiones totales del sector residuos.

Figura 4-13 Emisiones de la incineración de residuos hospitalarios

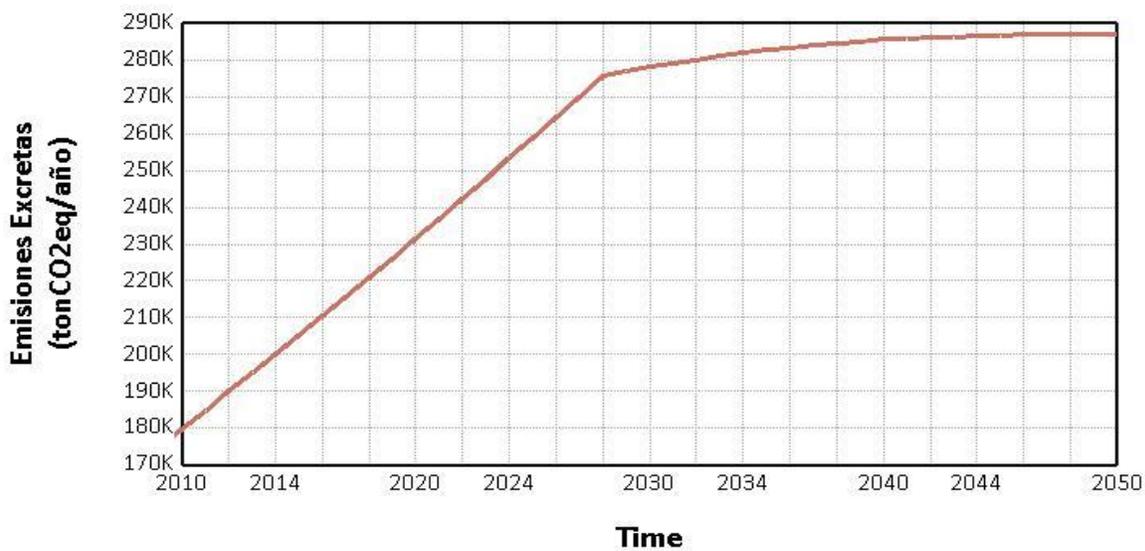


Fuente: Elaboración Propia

4.7 Excretas Humanas.

Las emisiones de óxido nitroso provenientes de las excretas humanas están indexadas al consumo de proteínas de la población y al crecimiento de la población. Se registra un aumento del 41% hasta 2028 y en luego de sólo un 4% desde 2028 hasta 2050 alcanzando un valor máximo de 287 mil toneladas.

Figura 4-14: Emisiones en las excretas humanas.



Fuente: Elaboración Propia

5. Medidas de Mitigación

5.1 Identificación de Medidas

Para la selección de medidas se hizo una revisión de ejemplos internacionales y de una lista preliminar de medidas entregadas por la contraparte técnica. A partir de esa revisión, y considerando los ámbitos en que hay mayor potencial de reducción de emisiones, se elaboró una lista de medidas. En reuniones con el Grupo de Construcción de Escenarios (GCE) y Grupos Técnicos de Trabajo (GTT) proyecto MAPS se revisó estas opciones y se realizaron los ajustes correspondientes.

Las medidas definidas finalmente, se encuentran en forma de fichas que se presentan más adelante.

Cabe destacar que no todas las medidas se pueden implementar de manera complementaria. Varias de ellas por su naturaleza son sustitutas unas de otras (ya que usan el mismo recurso) o implican inversiones de distinto tipo. Estos elementos fueron considerados al momento de analizar los escenarios de mitigación que se explican más adelante.

5.2 Implementación de Medidas

La implementación de las medidas puede tomar diversas formas según su tipo y alcance, sumado al impacto conjunto dado por la combinación de ellas. En las fichas se ha establecido de manera preliminar algunas opciones para la implementación efectiva de las medidas. Los criterios generales de aplicación de estos instrumentos se describen a continuación.

Existen diversos tipos de instrumentos que pueden ser usados para implementar las medidas

- Instrumentos Económicos
 - Subsidios directos: apoyo directo a actividad privada (en inversión, operación o financiamiento)
 - Fondos: apoyo a inversión privada por medio de concursos
 - Garantías: reducción de riesgo
 - Incentivos tributarios: reducción/incremento de impuestos
 - Inversión directa: inversión pública
- Instrumentos de Comando
 - Normas operativas directas: exigencias a la actividad misma
 - Normas indirectas: exigencias ambientales, territoriales, etc.
 - Normas técnicas y estándares: normas específicas a las tecnologías
- Instrumentos Educativos: campañas de información y educación

Estos instrumentos pueden servir para apoyar directamente a las iniciativas o para reducir las barreras que enfrentan las iniciativas, aunque en general se trata de que las eventuales barreras existentes se reduzcan cuando sea necesario previo a cualquier intervención en los mercados pertinentes. Cabe notar que las fuentes de financiamiento de estos instrumentos pueden ser de distinto tipo: público, privado o incluso incluir financiamiento internacional. Asimismo, se debe destacar que los instrumentos pueden ser usados en combinación. .

En términos generales, se reconoce que no se debe generar subsidios ni apoyos cuando se trata de medidas que tienen beneficios económicos netos. En dichos casos, se trata de establecer exigencias regulatorias y reducir los riesgos o los costos de transacción (barreras).

Las campañas de educación son básicas cuando se requiere ajustes en los comportamientos de agentes individuales.

La elección entre inversión privada e inversión pública dependerá de las condiciones de mercado y del potencial beneficio público que exista. Se puede pensar en esquemas de coordinación público privada en la medida que se distinga claramente los roles de los actores privados en el objetivo público y que se asigne los costos y los riesgos debidamente.ccc

Los esquemas de apoyo también serán distintos en la medida que se articulen medidas individuales o medidas agregadas, ya que existen potenciales sinergias pero también aspectos organizacionales que pueden ser más complejos si se articula medidas que afectan diversos tipos de sectores (por ejemplo, reciclaje).

5.3 Evaluación de las Medidas

Para los aspectos económicos de las medidas se utilizó valores de costos de Inversión y Operación descritos en las fichas; como los datos eran de años anteriores al 2013 se actualizó estos valores a dólares del año 2013. Se consideró que los costos de inversión (CAPEX) corresponden a costos internacionales y que los costos de operación y mantenimiento (OPEX) son nacionales, por lo que se utilizó la inflación mundial y la de Chile, respectivamente, para actualizar estos valores a USD del 2013.

Para calcular los CAPEX, OPEX y VAN se utilizó tres tasas de descuento: 1%, 3% y 12%. Las dos primeras corresponden a tasas sociales entregadas por el equipo de MAPS mientras que la tercera fue escogida por el equipo consultor como una tasa privada. Se escogió esta tasa porque suele ser la más utilizada por la industria para evaluar proyectos. La consideración de una tasa de descuento privada, se justifica desde la perspectiva que en los proyectos evaluados (rellenos sanitarios, plantas de valorización de residuos, reciclaje, etc.) pueden participar diversos tipos de actores (empresas privadas, fundaciones, municipalidades, entre otros posibles), y por lo tanto

no se puede considerar un solo actor clave. La tasa privada del 12% es la que se ocupa para evaluar individualmente las medidas y completar las tablas de las fichas.

La siguiente tabla resume el conjunto de medidas de mitigación evaluadas individualmente (aunque en ocasiones con diversos niveles de implementación) así sus principales resultados. Las medidas modeladas con distintos niveles de implementación, se diferenciarán por un sufijo numérico “-n” a continuación de su nombre. Los detalles de cada medida y sus niveles se encuentran en las fichas. La tabla contiene la siguiente información:

Descripción general de la medida

1. Número correlativo de la medida.
2. Nombre abreviado, el nombre real se presentará a continuación en cada ficha específica.
3. Año inicio (se comienza a implementar la medida, de forma parcial o completa).
4. Año término (se termina de aplicar la medida). En todas, el fin del período (2050).

Impacto global de la medida

5. Reducción Anual (MM tCO₂/año), valor representativo de la medida que muestra la cantidad de emisiones que se reducen de GEI al año (en general al año 2025, ya que en aquel año casi todas las medidas ya están 100% implementadas según la modelación).
6. Reducción total (MM tCO₂), reducciones totales de GEI en el período evaluado.

Inversión valor presente (MM CLP\$)

Costo de inversión actualizado a 2013 (para el período evaluado completo).

7. Calculado con tasa de descuento social del 1%.
8. Calculado con tasa de descuento social del 3%.
9. Calculado con tasa de descuento privada del 12%.

Costo OYM valor presente (MM CLP\$)

Costo de operación y mantenimiento (incluyendo ingresos y ahorros) actualizado a 2013, necesario para desarrollar la medida en todo el período evaluado.

10. Calculado con tasa de descuento social del 1%.
11. Calculado con tasa de descuento social del 3%.
12. Calculado con tasa de descuento privada del 12%.

Costo Abatimiento (USD/Ton)

VAN por tonelada abatida

13. Calculado con tasa de descuento social del 1%.
14. Calculado con tasa de descuento social del 3%.
15. Calculado con tasa de descuento privada del 12%.

5.4 Resumen de medidas evaluadas

#	Nombre abreviado	Año inicio	Año término	Reducción Anual (MM tCO ₂ /año) 2030	Reducción total (MM tCO ₂)	Inversión valor presente (MM CLP\$) crec. medio			Costo OYM valor presente (MM CLP\$) crec. medio			Costo Abatimiento (USD/Ton) crec. medio		
						1%	3%	12%	1%	3%	12%	1%	3%	12%
1	Compostaje Domiciliario-1	2014	2050	0,006	0,206	5.053	3.693	1.553	-10.994	-7.459	-2.251	-60,09	-38,09	-7,06
2	Compostaje Domiciliario-2	2014	2050	0,012	0,412	10.107	7.386	3.106	-21.989	-14.918	-4.503	-60,09	-38,09	-7,06
3	Compostaje Domiciliario-3	2014	2050	0,024	0,824	20.213	14.771	6.213	-43.977	-29.836	-9.006	-60,09	-38,09	-7,06
4	REP-1	2014	2050	0,098	3,793	218.154	144.416	36.164	477.103	315.892	79.157	382,05	252,94	63,37
5	REP-2	2014	2050	0,195	7,580	436.472	288.896	72.274	953.932	631.542	158.158	382,29	253,08	63,36
6	Compostaje en Planta-1	2016	2050	0,057	2,562	16.414	12.053	4.921	462	3.532	4.220	13,73	12,68	7,44
7	Compostaje en Planta-2	2016	2050	0,163	7,560	25.831	19.168	7.948	-73.557	-39.300	-463	-13,16	-5,55	2,06
8	Compostaje en Planta-3	2016	2050	0,325	15,119	35.446	26.005	10.505	-	-	-9.475	-21,67	-11,52	0,14
9	Compostaje Ferias-1	2015	2050	0,031	1,003	6.388	5.083	2.733	-928	-345	196	11,34	9,84	6,09
10	Compostaje Ferias-2	2015	2050	0,062	2,006	9.519	7.503	3.902	-16.233	-10.888	-3.080	-6,97	-3,52	0,85
11	Compostaje Ferias-3	2015	2050	0,112	3,611	10.608	8.608	4.859	-54.575	-36.763	-10.393	-25,38	-16,25	-3,19
12	Biodigestión de RSU-1	2017	2050	0,092	3,130	62.081	48.443	23.136	-22.497	-12.789	-1.162	26,35	23,74	14,63
13	Biodigestión de RSU-2	2017	2050	0,184	6,261	76.384	59.285	27.875	-63.826	-38.444	-5.900	4,18	6,94	7,32
14	Biodigestión de RSU-3	2017	2050	0,276	9,391	90.419	70.332	33.173	-	-	-9.992	-2,50	1,92	5,14
15	Captura y quema-1	2014	2050	1,220	46,260	75.717	60.768	34.163	208.806	138.167	36.768	12,55	8,80	3,17
16	Captura y quema-2	2014	2050	2,381	90,709	203.970	163.930	92.555	558.590	373.159	103.908	17,52	12,34	4,51
17	Inyección a GN	2018	2050	0,099	3,125	56.044	42.909	18.878	-91.585	-61.448	-15.802	-23,71	-12,37	2,05
18	Gen EE en RRSS	2017	2050	0,144	7,739	36.638	25.035	7.769	-53.447	-34.377	-7.899	-4,53	-2,52	-0,04
19	Aprovechamient. térmico	2017	2050	0,144	3,989	12.029	8.549	2.957	13.289	9.214	2.578	13,23	9,28	2,89
20	TMB	2016	2050	2,091	76,693	53.063	42.001	21.432	388.625	273.170	86.811	12,05	8,59	2,94

5.5 Resultados de los Escenarios de Mitigación.

Las medidas fueron evaluadas individualmente, según se describió y luego en “escenarios de mitigación”. Estos escenarios corresponden a la implementación simultánea de varias medidas.

Los escenarios de mitigación fueron definidos por el Grupo de Construcción de Escenarios (GCE) del proyecto. El estudio de MAPS contempla 10 escenarios distintos, sin embargo las medidas del sector residuos no se aplican sobre todos los escenarios, o dicho de otra forma hay escenarios que no tienen medidas del sector. La siguiente tabla resume los escenarios evaluados en el equipo de MAPS:

Escenario	¿Evaluado en sector residuos?
Escenario de esfuerzo base	SI
Escenario de esfuerzo medio	Si
Escenario de esfuerzo alto	Si
Escenario Eficiencia Energética	No
Escenario Energías Renovables No Convencionales	Si
Escenario Energías Renovables	Si
Escenario Nuclear	No
Escenario 80/20	Si
Impuesto al carbono	No

En consecuencia, para el sector se evaluó 5 escenarios: *Esfuerzo Base*, *Esfuerzo Medio*, *Esfuerzo Alto*, *ERNC* y *ER* (incluían las mismas medidas) y *80/20*. Las medidas de cada escenario son:

Tabla 5-1 : Descripción de Medidas por Escenario

Escenario: Esfuerzo Base		
Medidas	Nivel	Descripción
Compostaje domiciliario	Nivel 1	0,5% de viviendas realizan compostaje
Compostaje ferias	Nivel 1	25% de ferias envían sus residuos orgánicos a compostaje
Compostaje en Planta	Nivel 1	5% de residuos orgánicos se envían a compostaje
Reciclaje	Nivel 1	Al año 2016 y 2020 se recicla el 20% y 23% de papel y cartón.
Captura y quema ¹⁵	Nivel 1	Se captura y quema el 50% del metano generado.
Generación EE en RRSS		Se implementa sobre los rellenos capaces de generar más de 1 MW. Entran 6 rellenos entre 2014 y 2037.

¹⁵ Originalmente este escenario incluía el Nivel 2 (70% de captura de metano). Sin embargo, esto fue corregido de acuerdo a los comentarios recibidos en el GCE7.

Escenario: Esfuerzo Medio		
Medidas	Nivel	Descripción
Compostaje domiciliario	Nivel 3	2% de viviendas realizan compostaje
Compostaje ferias	Nivel 2	50% de ferias envían sus residuos a compostaje
Compostaje en planta	Nivel 3	30% de residuos orgánicos se envían a compostaje
Reciclaje	Nivel 2	Al año 2016 y 2020 se recicla el 21% y 27% de papel y cartón.
Captura y quema	Nivel 2	Se captura y quema el 50% del metano generado.
Generación EE en RRSS		Se implementa sobre los rellenos capaces de generar más de 1 MW. Entran 5 rellenos entre 2017 y 2047.

Escenario: Esfuerzo Alto¹⁶		
Medidas	Nivel	Descripción
Compostaje domiciliario	Nivel 3	2% de viviendas realizan compostaje
Compostaje ferias	Nivel 3	90% de ferias envían sus residuos orgánicos a compostaje
Compostaje en planta	Nivel 3	30% de residuos orgánicos se envían a compostaje
Reciclaje	Nivel 2	Al año 2016 y 2020 se recicla el 21% y 27% de papel y cartón.
Biodigestión de RSM	Nivel 3	12% de residuos orgánicos se envían a plantas de biodigestión
Tratamiento Mecánico Biológico (TMB)		30% de los residuos generados son procesados en plantas TMB.
Captura y quema	Nivel 2	Se captura y quema el 50% del metano generado
Generación EE en RRSS		Se implementa sobre los rellenos capaces de generar más de 1 MW. Se aplica sobre 2 rellenos en 2017 y 2018.
Aprovechamiento térmico biogás		Se aplica sobre los rellenos nuevos capaz de generar entre 100 y 1000 MW. Se logra aplicar en 7 rellenos.

Escenario: ERNC y ER		
Medidas	Nivel	Descripción
Biodigestión de RSM	Nivel 3	12% de residuos orgánicos se envían a plantas de biodigestión
Generación EE en RRSS		Se implementa sobre los rellenos capaces de generar más de 1 MW. Entran 5 rellenos entre 2017 y 2047. Entran 5 rellenos entre 2017 y 2036

Escenario: 80/20		
Medidas	Nivel	Descripción
Captura y quema	Nivel 2	Se captura y quema el 50% del metano generado

Fuente: Elaboración Propia

¹⁶ Originalmente este escenario incluía la medida “waste to energy”, sin embargo, finalmente esta medida no fue incluida en este escenario de acuerdo a los comentarios del GCE7.

5.5.1 Orden de implementación de las medidas.

Al momento de implementar paquetes de medidas, los residuos disponibles para cada medida no son los mismos que al evaluar la medida sola. Por ejemplo, si se le da un tratamiento a un residuo (por ejemplo, compostaje) ya no generará metano para su aprovechamiento energético. Mientras la cantidad de residuos depositada en un relleno sanitario disminuye, disminuye la cantidad de metano generado y en consecuencia la efectividad de las medidas que capturan el metano. Por ello, se estableció una jerarquización de las medidas ordenadas por costo efectividad y competitividad, considerando las más costo-efectivas primero.

La jerarquización propuesta es la siguiente:

7. Compostaje domiciliario y REP
8. Compostaje en Ferias
9. Compostaje en Plantas
10. Tratamiento Mecánico Biológico
11. Biodigestión
12. Incineración

Por ejemplo si el compostaje domiciliario se aplica sobre el 2% de las viviendas el compostaje en ferias se aplicará sobre el 98% de los residuos restantes. Si el compostaje en ferias se aplica sobre el 90% de las ferias, el compostaje en plantas se aplicará sobre el remanente. El siguiente esquema muestra un ejemplo cuando se aplica el escenario alto:

Figura 5-1 : Ejemplo orden de medidas



Fuente: Elaboración Propia

De las medidas que capturan metano, se aplica primero la Generación Eléctrica, Inyección de Gas Natural y Aprovechamiento Térmico que actúan en paralelo, mientras que la medida captura y quema se aplica sobre el metano remanente.

5.5.2 Resultados.

La siguiente tabla resume los resultados para los escenarios (con tasa de descuento de 3%).

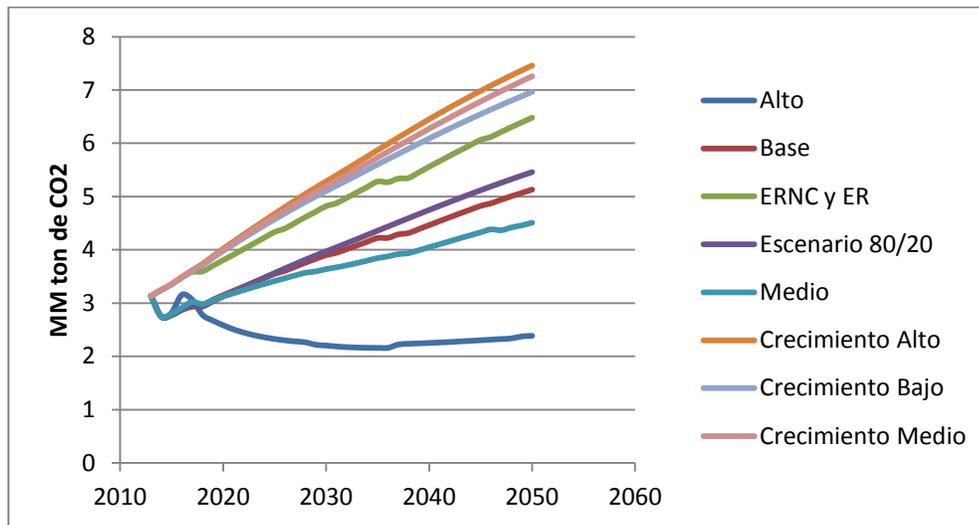
Tabla 5-2 : Resultados Escenarios de Mitigación

	Reducción Total (MM ton)	VP CAPEX (MM CLP)	VP OPEX (MM CLP)	VP COSTOS (MM CLP)	Costo Efectividad (USD/ton)
Base	51,32	\$237.661	\$373.803	\$611.464	\$24,83
Medio	61,45	\$392.097	\$542.865	\$934.962	\$31,71
Alto	109,93	\$460.897	\$625.444	\$1.086.341	\$20,60
Escenario 80/20	46,26	\$72.754	\$129.457	\$202.211	\$9,11
ERNC y ER	61,45	\$392.097	\$542.865	\$934.962	\$31,71

Fuente: Elaboración Propia

El escenario más costo efectivo es el ERNC que contiene las medidas *biodigestión y generación eléctrica*. A este le sigue el escenario 80/20 que sólo contiene la medida captura y quema de biogás. Todos los demás escenario contienen reciclaje en donde la tonelada de carbono reducida tiene un alto precio, encareciéndolos. Como era de esperar, el escenario que más reduce emisiones, es el escenario alto (contiene todas las medidas aplicadas en su nivel más alto, salvo *incineración* que fue eliminada por ser demasiado cara y poco probable su instalación).

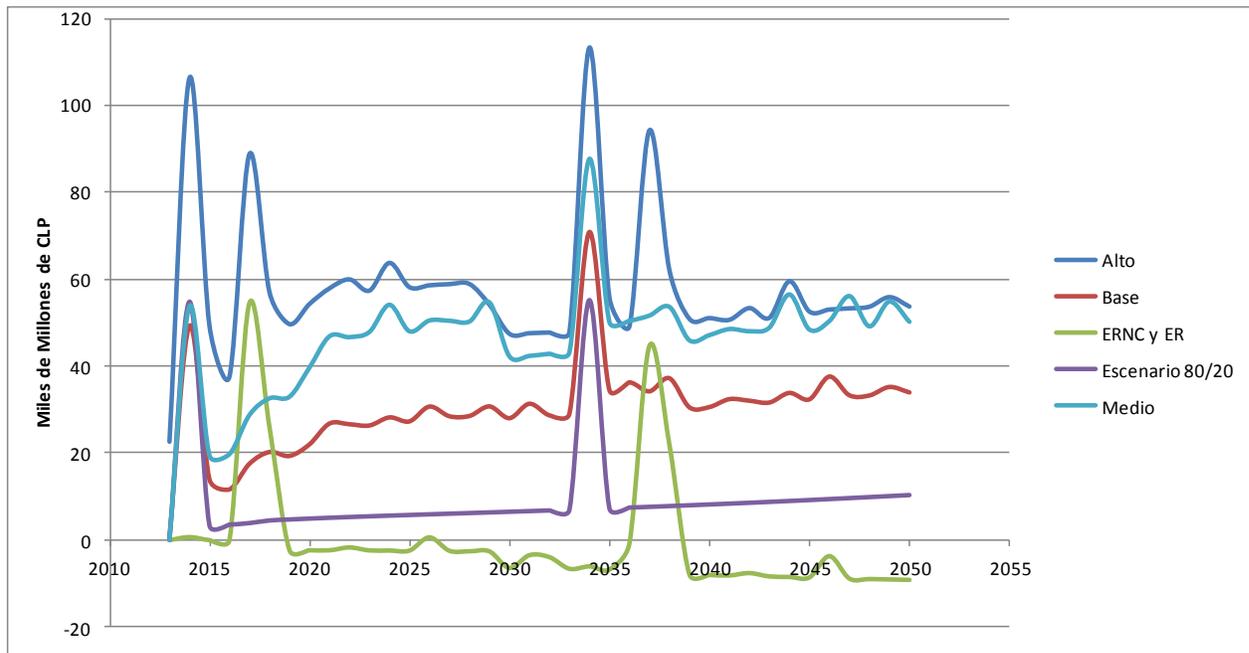
Figura 5-2 : Emisiones Totales por Escenario



Fuente: Elaboración Propia

El escenario que tienen mayores costos a lo largo de todo el periodo es el escenario alto, seguido del medio el bajo y el 80/20. El escenario ERNC y ER por su parte tiene costos negativos en gran parte del período (debido a los ingresos que genera la venta de electricidad).

Figura 5-3 : Costos de inversión y operación por escenario



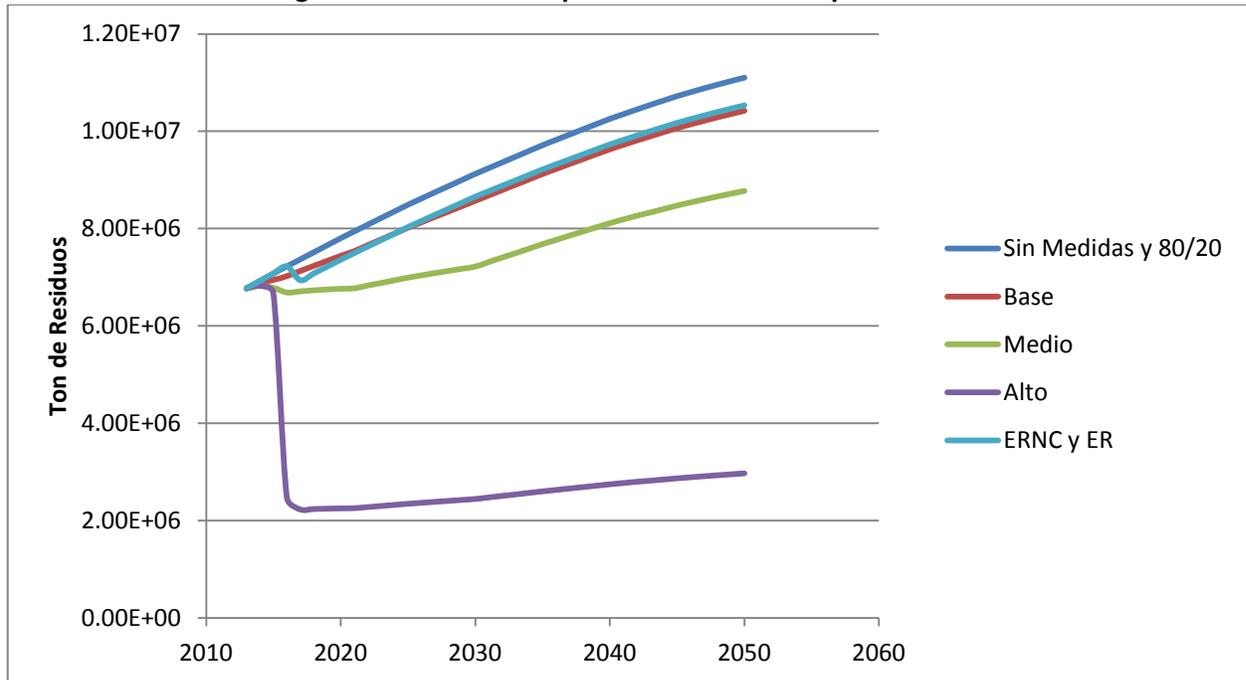
Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte si analizamos los residuos depositados se observa que en el escenario alto se disminuye de forma importante en relación a los otros escenarios. Esta diferencia importante con los otros escenarios se debe a que se aplica el tratamiento mecánico biológico sobre el 30% de los residuos, biodigestión sobre el 12% de estos, reciclaje, compostaje domiciliario, compostaje en ferias y en plantas disminuyendo en 68% el total de residuos depositados en promedio.

Dos escenarios un poco más factibles son el ERNC y el escenario Medio, ambos reducen en promedio un 18% las toneladas de residuos depositados.

El escenario 80/20 por su parte no reduce la cantidad de toneladas depositadas, ya que solo considera la captura y quema del metano, por lo que es importante considerar que pese a ser una medida muy costo efectiva no tiene ningún beneficio asociado a la disminución del depósito de basura en los sitios de disposición final.

Figura 5-4 : Residuos depositados en los SEDS por escenario



5.6 Fichas de las Medidas

5.6.1 Compostaje domiciliario

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Compostaje domiciliario
Descripción	<p>Esta medida evalúa la utilización de composteras domiciliarias para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios, evitando que vayan a parar a SEDS. El compost es un residuo estabilizado que se puede utilizar como un reparador de suelos o como medio de cultivo para plantas, que se obtiene a partir de la degradación biológica de los residuos orgánicos. Las emisiones producto de este tratamiento son significativamente menores a aquellas emitidas en los sitios de disposición final convencionales.</p> <p>Se considera la entrega de composteras y capacitación en compostaje domiciliario a cierto porcentaje de las viviendas nacionales de más de 4 habitantes, de manera de abarcar más residuos. Por ejemplo, para un escenario que abarque un 1% de las viviendas -todas con 4 de más habitantes- en 2014 implica la entrega aproximada de 48.500 composteras con el que se trata cerca del 1% de los residuos orgánicos.</p> <p>En la actualidad, en Chile, el compostaje domiciliario se desarrolla bajo iniciativas particulares de pequeña escala o en forma programas municipales menores como el impulsado por la Municipalidad de la Reina (Municipalidad de la Reina, n.d.).</p> <p>Año Inicio: 2014. Año de término: 2050.</p> <p>Vida útil: 10 años. Al término se da inicio a un nuevo ciclo, apuntando al x% de las viviendas abarcadas con la presente medida.</p>
 Compostera domiciliaria tipo	
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sector: Residuos
Nivel de implementación	<p>Se considera 3 niveles de aplicación: apuntando al 0,5% de las viviendas, al 1% y al 2%.</p> <p>En 2014 se entregan composteras y capacitación a la fracción de viviendas correspondiente a nivel nacional, exigiendo que sean viviendas donde residan más de 4 personas. 10 años después se vuelve a implementar la entrega de composteras y capacitación al porcentaje de viviendas. En principio se excluye el norte grande ya que en esa zona la medida tendría menos impactos en términos de</p>

	emisiones debido a la baja tasa de generación de biogás de los SEDS por su condición climática.												
Supuestos	<p>Se considerarán distintos niveles de penetración -en porcentaje de viviendas- y que aquel porcentaje corresponde solo a viviendas de más de 4 habitantes. También se asume la correcta adopción de las prácticas y procedimientos para desarrollar el compostaje por parte de las viviendas participantes.</p> <p>En la evaluación no se considera la comercialización del compost ya que cada vivienda produce poca cantidad de compost, la calidad puede ser distinta y su agrupación resulta poco factible.</p>												
Información de reducción de emisiones	<p>Diversos estudios científicos (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008; Andersen, Boldrin, Christensen, & Scheutz, 2010; Boldrin, Andersen, Møller, Christensen, & Favoino, 2009; Colón et al., 2010) estiman las emisiones asociadas al tratamiento de los residuos orgánicos por medio composteras caseras. El rango reportado para las emisiones equivalentes de CO₂ por ton de materia orgánica fresca y húmeda (FMww, por sus siglas en inglés) varía entre 40-240 kgCO₂eq/tonFMww.</p> <p>Dentro de la literatura consultada, una compostera de características dadas que permite tratar los residuos orgánicos de una familia de 4 o 5 integrantes, emite cerca de 160 kgCO₂eq/tonFMww (Andersen et al., 2010) al tratar sus residuos orgánicos. Por su parte, las directrices del IPCC consideran un factor de emisión de 177 kgCO₂eq/tonFMww (IPCC, 2006).</p> <p>Luego, según las emisiones asignadas a la degradación de la misma FMww en la línea de base, se podrá ver la reducción en emisiones directas asociadas a la aplicación de la medida de mitigación de compostaje domiciliario.</p> <table border="1" data-bbox="548 1453 1429 1705"> <thead> <tr> <th>Ítem (M1-2, crec. medio)</th> <th>Anual 2014 (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>3,252</td> <td>200,895</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>3,247</td> <td>201,307</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>0,005</td> <td>0,412</td> </tr> </tbody> </table>	Ítem (M1-2, crec. medio)	Anual 2014 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e/año)	Emisiones medida	3,252	200,895	Emisiones LB	3,247	201,307	Reducción medida	0,005	0,412
Ítem (M1-2, crec. medio)	Anual 2014 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e/año)											
Emisiones medida	3,252	200,895											
Emisiones LB	3,247	201,307											
Reducción medida	0,005	0,412											
Información de Costos	<p>Inversión: Según el estudio (Schwarz & Bonhotal, 2011), del <i>Cornell Waste</i></p>												

	<p><i>Management Institute</i>, los costos asociados a la entrega de sistemas de compostaje casero varían según el tamaño y tipo de compostera. Para abarcar una vivienda como la modelada, el costo puede bordear los USD 80 (Homecenter Sodimac, n.d). Esto es concordante con cotizaciones que se le hicieron a la Municipalidad de Quinta Normal para implementar un programa de compostaje domiciliario. Además se considera una capacitación por un costo de 20 USD/vivienda. Dando de esta forma una inversión estimada de 100 USD/vivienda, considerando compostera y capacitación.</p> <p>Ahorros: Como se menciona anteriormente, con esta medida se evita disponer dichos residuos en rellenos sanitarios, con el consiguiente ahorro, evaluado en \$8.000 CLP/ton (Consejo de Alcaldes, 2008).</p> <p>Con estos valores y considerando la cantidad de material tratado (evaluación con tasa privada del 12%, M1-2, crecimiento medio), se obtiene la siguiente tabla:</p> <table border="1" data-bbox="584 982 1393 1528"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inversión</td> <td>2.565</td> <td>MM CLP</td> <td>2014 Una vez cada 10 años</td> </tr> <tr> <td>OyM (anual)</td> <td>-565</td> <td>MM CLP/año</td> <td>2014 Evita ir relleno</td> </tr> <tr> <td>CAPEX</td> <td>3.106</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OPEX</td> <td>-4.575</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VAN Total</td> <td>1.396</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo abatimiento</td> <td>-7,06</td> <td>USD/tCO₂e</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Valor	Unidad	Comentario	Inversión	2.565	MM CLP	2014 Una vez cada 10 años	OyM (anual)	-565	MM CLP/año	2014 Evita ir relleno	CAPEX	3.106	MM CLP		OPEX	-4.575	MM CLP		VAN Total	1.396	MM CLP		Costo abatimiento	-7,06	USD/tCO ₂ e	
Ítem	Valor	Unidad	Comentario																										
Inversión	2.565	MM CLP	2014 Una vez cada 10 años																										
OyM (anual)	-565	MM CLP/año	2014 Evita ir relleno																										
CAPEX	3.106	MM CLP																											
OPEX	-4.575	MM CLP																											
VAN Total	1.396	MM CLP																											
Costo abatimiento	-7,06	USD/tCO ₂ e																											
Co beneficios	(1) Minimización de residuos desde el origen, lo cual genera ahorros económicos y reducción de emisiones en torno a la recolección, traslado y tratamiento de los RSM. (2) Compromete, sensibiliza, llama a la acción y genera cultura de respeto hacia el medio ambiente.																												
Barreras a la implementación de la	Desinterés de la población a participar. Correcta aplicación del tratamiento a lo largo del tiempo y																												

medida de mitigación	mantención dentro del programa.
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<p>Enmarcar la medida dentro de un plan de Estado hacia el cumplimiento del compromiso internacional de reducción de emisiones nacionales y generar un lineamiento a largo plazo en torno a la administración de los residuos en el país.</p> <p>Se debe enfatizar la capacitación de los hogares de manera de fomentar la participación y buen uso de las composteras.</p> <p>Formación de monitores ambientales entre los vecinos con los cuales poder tener mayor cobertura de la medida.</p>
Interrelación con otros sectores	No se detecta interrelación con otros sectores.
Estado del Arte Internacional	Canadá. El Consejo de Compost de Canadá es una organización nacional sin fines de lucro, que promueve el reciclaje y el uso de compost (The Compost Council of Canada, n.d.).
Co beneficios	Inglaterra. The Composting People son los principales especialistas del Reino Unido dedicados al compostaje de jardín y de residuos alimentarios, que persiguen beneficios para la sociedad y el medio ambiente (The Composting People, n.d.).
Información Bibliográfica	<p>Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. <i>Waste Management & Research</i>, 26(1), 47–60. doi:10.1177/0734242X07088432</p> <p>Andersen, J. K., Boldrin, a, Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2010). Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. <i>Waste management (New York, N.Y.)</i>, 30(12), 2475–82. doi:10.1016/j.wasman.2010.07.004</p> <p>Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. <i>Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA</i>, 27(8), 800–12. doi:10.1177/0734242X09345275</p> <p>Colón, J., Martínez-Blanco, J., Gabarrell, X., Artola, A., Sánchez, A., Rieradevall, J., & Font, X. (2010). Environmental assessment of home composting. <i>Resources, Conservation and Recycling</i>, 54(11), 893–904. doi:10.1016/j.resconrec.2010.01.008</p> <p>Consejo de Alcaldes, C. de R. (2008). Sobre el contrato con KDM SA - Tratamiento intermedio y disposición final de residuos sólidos</p>

	<p>municipales (RSM). Santiago, Chile. Retrieved from http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/informe-contrato-kdm-consejo-de-alcaldes-cerros-de-renca.pdf</p> <p>Homecenter Sodimac. (n.d.). Gardenviews Compostera Mega 650 litros. Retrieved July 9, 2013, from http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/1468723/Compostera-Mega-650-litros?passedNavAction=push</p> <p>Municipalidad de la Reina. (n.d.). Medio Ambiente. Residuos Orgánicos Vegetales. Programa Compostaje Domiciliario. Retrieved July 9, 2013, from http://www.lareina.cl/medio_ambiente/reciclaje.php</p> <p>Schwarz, M., & Bonhotal, J. (2011). Composting at Home - The Green and Brown Alternative. Cornell Waste Management Institute / Department of Crop and Soil Sciences, 12.</p> <p>The Compost Council of Canada. (n.d.). Composting Community. Retrieved from http://www.compost.org/English/composting_community.htm</p> <p>The Composting People. (n.d.). About Us. Retrieved July 15, 2013, from http://www.compost.org/English/composting_community.htm</p>
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	<p>Se contará con estimaciones de generación de residuos orgánicos, población y habitantes/vivienda, que permiten hacer una proyección del impacto de la medida.</p>
Supuestos de modelación	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de habitantes promedio por vivienda, por región y en el tiempo. Valores entregados por contraparte técnica de MAPS. • Generación de residuos domiciliarios, en base a generación per cápita. • Regiones y componentes de aplicación. Solo se compostan residuos de alimentos en domicilios. • Niveles de penetración. • Año de inicio de la medida, 2014. <p>Outputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversión y ahorros (operación). • Residuos tratados y desviados de SEDS (reducción de emisiones).
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)	<p>Establecer sistema de monitoreo y reporte aleatorio de muestras de composición de la basura de distintos sectores donde se haya implementado la medida. De esta forma se podrá ver si la ciudadanía está participando del programa de compostaje.</p>

5.6.2 Aumento de reciclaje

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Aumento de reciclaje
Descripción	<p>En esta medida se evalúa un aumento en la tasa de reciclaje impulsado por la aprobación de la ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP). Se supone que aumenta la cantidad de envases y embalajes de distintos tipos de materiales recuperados para su reciclaje (papel y cartón, vidrio, plástico, metal y multicomponentes). Actualmente la ley se encuentra en discusión en el congreso. En esta evaluación se considera que las emisiones directas de CO₂ solo se reducen producto del aumento de la recuperación de papel y cartón, que evita su degradación en SEDS. Para los otros materiales no se supone una disminución en emisiones directas, ya que se degradan muy lentamente.</p> <p>Año de inicio: 2014. Año de término: 2050.</p> <p>Vida útil: período completo de evaluación. Se asumen costos anuales de inversión y operación basados en estudio de (EcoIng, 2012).</p>
	 <p>Fuente: Chile desarrollo sustentable (2013)</p>
Contexto	Ley en congreso
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sector: Residuos
Nivel de implementación	<p>Se consideran 2 niveles de implementación con cumplimiento al completo al año 2021:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1. Se alcanza gradualmente el 20,17% y 7,13% de recuperación de papel/cartón (PyC) y otros, respectivamente. • Nivel 2. Se alcanza gradualmente el 27% y 11,45% de recuperación de papel/cartón (PyC) y otros, respectivamente. <p>Los valores se basan en los objetivos de recuperación de la REP (EcoIng, 2012) con los consiguientes costos de inversión y operación que ello significa. Se considera solo la fracción recuperada desde los RSM.</p> <p>Se aplica a nivel nacional desde 2014. Si bien la infraestructura de reciclaje de los materiales está principalmente en la zona central, se asume recuperación en todas las regiones y el traslado al punto de</p>

	<p>reciclaje. Los materiales cubiertos serán (dentro de envases y envoltorios): PyC, Multicomponentes, Plásticos (PET y bolsas), Vidrio y Metales (aluminio y hojalata). Para cumplir los objetivos propuestos, deben instalarse centros de acopio (CA), puntos limpios (PL) y puntos verdes (PV).</p>												
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Se asume que el 2021 se alcanzan los niveles de reciclaje por material. Lo cual es el objetivo real de la REP (Ecolng, 2012). • Se asume una evolución lineal desde los niveles de LB2013 (aproximadamente un 13% reciclaje de EyE de PyC de RSM) hasta los niveles objetivo (aproximadamente 27% reciclaje de EyE de PyC de RSM al año 2021). • Después de 2021, las tasas de reciclaje se mantienen constantes. • Se consideran distintos niveles de recuperación de materiales. • Precios de transporte definidos para las distintas regiones constantes en el tiempo. 												
Información de reducción de emisiones	<p>La reducción de emisiones se produce por la parte de PyC que se evita que vayan a los SEDS.</p> <table border="1" data-bbox="581 1075 1398 1356"> <thead> <tr> <th>Ítem M2-2, creci. medio</th> <th>Anual 2021 (MM ton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MM ton CO₂e/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td align="center">4,067</td> <td align="center">193,72</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td align="center">4,126</td> <td align="center">201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td align="center">0,059</td> <td align="center">7,59</td> </tr> </tbody> </table>	Ítem M2-2, creci. medio	Anual 2021 (MM ton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MM ton CO ₂ e/año)	Emisiones medida	4,067	193,72	Emisiones LB	4,126	201,31	Reducción medida	0,059	7,59
Ítem M2-2, creci. medio	Anual 2021 (MM ton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MM ton CO ₂ e/año)											
Emisiones medida	4,067	193,72											
Emisiones LB	4,126	201,31											
Reducción medida	0,059	7,59											
Información de Costos	<p>A continuación se muestran los costos de recuperación por cada material. En (Ecolng, 2012) se muestran los costos de inversión anualizados y de operación para cada material. Se asumen los costos de inversión como un 16% del total. Lo anterior se basa en información bibliográfica de España (Ecolng, 2012). Además se asume la venta del material recuperado en el proceso de reciclaje. Se utilizaron los precios referenciados en el estudio previo. La siguiente tabla muestra la información de costos utilizados para cada nada material. En estricto rigor, los costos de operación dependen por zona, pero acá se muestran costos representativos para la RM.</p>												

Material	Inversión anualizada CLP/ton	Costos Operación CLP/ton	Precio venta CLP/ton
PyC	21.618	113.493	55.000
Vidrio	22.846	119.944	30.000
Plástico	36.800	193.200	220.000
Metales	37.160	195.092	220.000
Multicomponente	36.250	190.313	50.000

- El costo de inversión está asociado a las plantas de reciclaje (CA, PL y PV) que se deben instalar para recuperar las distintas fracciones de los RSM.
- Los costos de operación y mantenimiento están asociados al transporte y recuperación de las distintas fracciones de los RSM.
- El precio de venta se refiere a los ingresos generados por la venta de los materiales recuperados en el reciclaje.
- Para regiones se considera un aumento de los costos de OyM asociado al traslado de material reciclado hacia los destinos de valorización. Estudio de EcoIng (2012) propone que la distancia entre CA y centro de traslado marítimo sea menor a 500 km.

Además se asume que se deja de pagar por enviar dicho material a los sitios de disposición actuales a un precio de \$8.000/ton (Consejo de Alcaldes, 2008).

Con estos valores y considerando la cantidad de material recuperado (evaluación con tasa privada del 12%, M2-2, crecimiento medio), se obtiene la siguiente tabla:

Ítem	Valor	Unidad	Comentario
Inversión anualizada	14.010	MM CLP/año	2021
OyM (anual)	29.555	MM CLP/año	2021 Operación, venta y evita ir relleno
CAPEX	72.270	MM CLP	
OPEX	161.370	MM CLP	
VAN Total	-230.431	MM CLP	
Costo	63,36	USD/tCO ₂ e	

	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">abatimiento</td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> </table> <p>A pesar de que esta medida es muy costosa, se destaca el hecho de que ella no responde a una lógica de disminución de emisiones de GEI. La aplicación del reciclaje responde a otras necesidades del desarrollo sustentable, como la disminución del uso de nuevos materiales no biodegradables y consumo de energía en la industria.</p>	abatimiento			
abatimiento					
Co beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de materias primas en el sector industrial. • Mueve a la acción a las empresas. • Reducción de emisiones indirectas por transporte de RSM a RRSS. 				
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones principales fuera del sector residuos, incluso posiblemente fuera del país. • Desinterés de las empresas a participar, tal vez prefieran pagar multas asociadas. 				
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Medida enmarcada en una iniciativa internacional integradora. Comprometida con la reducción de emisiones a escala global. • Marketing negativo, además de las multas económicas, se podría tener un listado público con las empresas que menos cumplimiento de la REP han alcanzado año a año. 				
Interrelación con otros sectores	<p>Fuerte relación con el sector industrial, ya que le entrega un input de materia prima con baja huella de carbono.</p> <p>Las empresas deberán tomar acciones concretas para cumplir metas de la REP, lo cual les podría significar costos o beneficios a evaluar y considerar.</p>				
Estado del Arte Internacional	<p>Alemania: Primer país con REP, entra en vigencia en 1991 (EcoIng, 2012).</p> <p>En general toda la comunidad europea tiene implementado el sistema de REP (PRO EUROPE, n.d.).</p> <p>Canadá: Único país no europeo perteneciente a la red <i>PACKAGING RECOVERY ORGANISATION EUROPE</i> (PRO EUROPE).</p> <p>Japón: es el pionero en la zona asiática (2001) en concretar iniciativas que minimicen la generación de residuos y a la aplicación de la REP como concepto de soporte (EcoIng, 2012).</p>				
Información Bibliográfica	<p>Consejo de Alcaldes, C. de R. (2008). Sobre el contrato con KDM SA - Tratamiento intermedio y disposición final de residuos sólidos municipales (RSM). Santiago, Chile. Retrieved from http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/informe-contrato-kdm-consejo-de-alcaldes-cerros-de-renca.pdf</p> <p>EcoIng. (2012). Evaluación de impactos económicos, ambientales y</p>				

	<p>sociales de la implementación de la REP en Chile. Santiago, Chile.</p> <p>IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.</p> <p>PRO EUROPE. (n.d.). About PRO EUROPE. Retrieved September 30, 2013, from http://pro-e.org/About.html</p>
<p>Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida</p>	<p>De la información utilizada para la modelación de la medida se puede mencionar que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ley sobre REP en definición y tramitación. • Del estudio de (Ecolng, 2012) se puede obtener el objetivo de la REP y la cantidad a considerar en la LB, como % de recuperación. • A nivel internacional existe mucha información en torno a esta medida, sobre todo asociado a la red (PRO EUROPE, n.d.).
<p>Supuestos de modelación</p>	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se asume que en 2021 se llega a los niveles definitivos de recuperación pronosticados para cada material (dependiendo del escenario). Entre 2014 y 2021 se hace una interpolación. Después de 2021, la proporción recuperada sobre la generación se mantiene constante. • Porcentajes de reciclaje en LB2013, calculados según cantidades recicladas en la actualidad. • Porcentajes de reciclaje a los que se desea llegar en 2021, según ley de REP (Ecolng, 2012). • La diferencia interpolada entre ambos porcentajes da el aumento anual de reciclaje. • Cantidad de RSM generados y divididos en las distintas fracciones valorizables. • Niveles de penetración. • Año de inicio de la medida, 2014. <p>Output:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, ahorros por disposición en SEDS e ingresos por venta de materiales recuperados. • Cantidades de materiales recuperados al año. • Kms extras recorridos por realizar recolección diferenciada en el reciclaje, a modo de emisiones indirectas y quema de combustibles fósiles. • Factores y emisiones asociadas solo a la fracción de PyC según (IPCC, 2006).

<p>Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)</p>	<p>Las mediciones importantes para obtener indicadores de rendimiento y operación son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tara de camiones recolectores luego de retiro diferenciado en el origen, ya sean domicilios, PL o PV. • Tara de camiones con material recuperado y compactado luego de CA, producto a vender. • Kilómetros recorridos por camiones recolectores y traslado de material recuperado.
---	--

5.6.3 Compostaje en planta

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Compostaje en planta
<p>Descripción</p>  <p>Maquinaria de la empresa Backhus que incorpora tecnología de cobertura de pilas de compostaje.</p>	<p>Considera el compostaje en planta de parte de la materia orgánica de los RSM.</p> <p>El compost es un residuo estabilizado que se puede utilizar como una reparador de suelos o como medio de cultivo para plantas, que se obtiene a partir de la degradación biológica de los residuos orgánicos. Las emisiones producto de este tratamiento son significativamente menores a aquellas emitidas en los sitios de disposición final convencionales.</p> <p>Para el correcto funcionamiento de esta medida es necesario contar con programas de recolección diferenciada, de manera que el material que llegue a las plantas de compostaje (PC) sea en su mayoría materia orgánica compostable.</p> <p>Se consideran dos tamaños de plantas dependiendo de la población cubierta. Las plantas de mayor envergadura consideran mayor infraestructura tecnológica.</p> <p>Año de inicio: 2016. Año de término: 2050.</p> <p>Vida útil: 20 años. Después de este período se debe volver a invertir en los equipos que desarrollan este tratamiento.</p>
Contexto	Existen algunos municipios (por ejemplo La Pintana) que actualmente tienen implementado el compostaje de parte de los residuos orgánicos de su comuna.
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sector: Residuos
Nivel de implementación	Se consideran tres niveles de penetración: 5%, 15% y 30% de los residuos orgánicos generados se destinan a compostaje, es decir, no

	<p>llegan a RRSS. Además estos niveles consideran el desvío de parte de los papeles y cartones, los cuales se destinarán también a compostaje (2,5%, 7,5% y 15% respectivamente).</p>						
<p>Supuestos</p>	<p>Al tratar los RSM por medio de PC, se estará evitando enviar a SEDS una importante fracción de los residuos del país. Esta consideración tendrá impactos directos sobre las emisiones desplazadas y los ingresos (ahorros) generados.</p> <p>Para los porcentajes objetivo, se asume que se alcanzarán en el año 2030, por lo que del 2016 hasta dicho año, el incremento porcentual de tratamiento de residuos provendrá de una interpolación lineal partiendo de 0% de tratamiento.</p> <p>Los distintos porcentajes asignados a los niveles de implementación determinarán la entrada en operación de distinto número de plantas de compostaje en el tiempo. Se consideran dos niveles de PC: plantas pequeñas, para atender entre 2.000 y 50.000 personas; plantas grandes, para atender entre 50.001 y 300.000 personas. En caso de que el volumen sea mayor para alguna región, se considera la construcción de varias plantas.</p> <p>El costo incurrido por transporte diferenciado sólo aplica hasta el 2029, ya que del 2030 en adelante, esto ya no sería un costo para el sistema por adopción de tecnología e implementación de la recolección diferenciada a nivel nacional.</p> <p>Escalamiento de la tecnología en base a la población cubierta con la medida (GESCAM, 2012).</p> <p>Venta de un 50% del compost producido con la medida, 50% a granel y 50% ensacado (GESCAM, 2012).</p>						
<p>Información de reducción de emisiones</p>	<p>De acuerdo a estudios científicos (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) el rango reportado para las emisiones equivalentes de CO₂e por ton de materia orgánica fresca y húmeda (FMww, por sus siglas en inglés) varía entre 17,8-200 kgCO₂e/tonFMww. Para este caso se utilizará un valor cercano al reportado por el IPCC -equivalente a 177 kgCO₂e/tonRSM tratado (IPCC, 2006)- que dependerá de factores climáticos regionales para la determinación final de su valor.</p> <p>Al existir recolección diferenciada, hay un aumento de emisiones indirecto producto de mayor transporte. Consultando a aquellos municipios con algún tipo de recolección diferenciada (La Pintana, Vitacura, Ñuñoa), se estimó que la cantidad de viajes aumentan en un 30%. Esto tiene asociado un aumento en las emisiones.</p> <table border="1" data-bbox="597 1766 1406 1845"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual 2030 (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M3-2, crec. medio</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Anual 2030 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación	M3-2, crec. medio		
Ítem	Anual 2030 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación					
M3-2, crec. medio							

			(MMton CO2e)
	Emisiones medida	5,029	193,74
	Emisiones LB	5,191	201,31
	Reducción medida	0,162	8,43

Información de Costos	<p>La implementación de esta medida considera las siguientes componentes de costos: costos por separación en el origen, costos por transporte diferenciado, inversión en plantas de compostaje, costos de operación y mantenimiento de planta, ahorro por residuos no enviados a disposición.</p> <p>Costos por separación en el origen: Se consideran como posibles, pero para este análisis, se asumió que no se entregará infraestructura o recursos adicionales (p. ej. contenedores diferenciadores), por lo que no habrá un costo adicional. Esto es consistente con la situación de comunas como la Pintana y Ñuñoa, donde se hace recolección diferenciada, pero no se entregan contenedores especiales a las familias.</p> <p>Costos por recolección y transporte diferenciado: Se debe de considerar el aumento en costos, producto del mayor transporte de la recolección diferenciada. Sacando un promedio de varios contratos de la RM, se determinó este costo en \$13.500/ton. Este valor se obtuvo en base a la revisión de contratos de recolección de Colina, Estación Central, La Florida, La Pintana, Maipú, Paine, Peñalolén, Quinta Normal, El Bosque, Quilicura, La Granja y Renca. Las cantidades generadas por comuna se calcularon en base a "Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile" (CONAMA, UDT, & UDC, 2010). Se incurre en este costo solo hasta el 2029, ya que se asume que para el 2030 este costo ya estará interiorizado en el sistema de recolección base.</p> <p>Costo de inversión y operación y mantención (OyM) en plantas de compostaje: En (GESCAM, 2012) se reportan distintas evaluaciones económicas para plantas de compostaje, para cubrir la producción de residuos de poblaciones de tamaño variable y en zonas geográficas de Chile diferentes. Se consideraron las diferentes zonas geográficas, pero solo se consideraron 2 tamaños de PC, pequeña (2.000 < p < 50.000 habitantes) y grande (50.000 < g < 300.000 habitantes). Si bien en el estudio de GESCAM (2012), las PC consideran tromeles en sus costos, los cuales son equipos que permiten diferenciar y</p>
------------------------------	--

	<p>segregar los residuos, en la presente medida los residuos ya llegan segregados. Pero a pesar de lo anterior, se considera que las PC podrían necesitar equipos que procesen los residuos al inicio del tratamiento (apertura y separación de bolsas, triturado de residuos, secado, etc.), por lo que se asume que el costo de algunas de estas etapas de pre-tratamiento podrían ser equivalentes a los tromeles incluidos por GESCAM.</p> <p>Ahorros: Hay que considerar además que se deja de disponer en otros SEDS, valorizado en \$8.000/ton (Consejo de Alcaldes, 2008).</p> <p>De esta forma, ocupando los valores de costos de Inversión y OyM del estudio antes mencionado (evaluación con tasa privada del 12%, M3-2, crecimiento medio), se obtuvieron los siguientes resultados:</p> <table border="1" data-bbox="613 793 1390 1440"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inversión</td> <td>997</td> <td>MM CLP</td> <td>Promedio (2016 a 2029) + Una vez cada 20 años</td> </tr> <tr> <td>OyM (anual)</td> <td>1.010</td> <td>MM CLP/año</td> <td>Promedio (2016 a 2029) + Evita ir relleno + compost.</td> </tr> <tr> <td>VP Inversión</td> <td>9.047</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VP OyM</td> <td>1.455</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VAN Total</td> <td>-10.501</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo abatimiento</td> <td>2,90</td> <td>USD/tCO₂e</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Valor	Unidad	Comentario	Inversión	997	MM CLP	Promedio (2016 a 2029) + Una vez cada 20 años	OyM (anual)	1.010	MM CLP/año	Promedio (2016 a 2029) + Evita ir relleno + compost.	VP Inversión	9.047	MM CLP		VP OyM	1.455	MM CLP		VAN Total	-10.501	MM CLP		Costo abatimiento	2,90	USD/tCO ₂ e	
Ítem	Valor	Unidad	Comentario																										
Inversión	997	MM CLP	Promedio (2016 a 2029) + Una vez cada 20 años																										
OyM (anual)	1.010	MM CLP/año	Promedio (2016 a 2029) + Evita ir relleno + compost.																										
VP Inversión	9.047	MM CLP																											
VP OyM	1.455	MM CLP																											
VAN Total	-10.501	MM CLP																											
Costo abatimiento	2,90	USD/tCO ₂ e																											
Co beneficios	<p>(1) Reducción del volumen de residuos depositados en rellenos sanitarios o vertederos controlados. (2) Disminuye emisiones de otros sectores, por ejemplo: industrial (desplaza fertilizantes artificiales), cambio de uso de suelo (reduce de manera indirecta procesos de erosión y deforestación, más fijación de carbono al suelo) y en torno al recurso hídrico (características del compost que permiten retener mayor porcentaje de humedad, lo cual conlleva a una reducción en el riego empleado).</p>																												

Barreras a la implementación de la medida de mitigación	<p>Contratos actuales entre municipios y empresas administradoras de SEDS pueden exigir el envío de los residuos a sus rellenos, sin la posibilidad de que exista otro tratamiento.</p> <p>Falta de información por parte de privados o municipalidades para instalar o gestionar apropiadamente las plantas de compostaje. Falta de motivación por parte de las empresas para postular al subsidio.</p> <p>Compite con uso de suelo agrícola o industrial dado el amplio terreno que deben cubrir las pilas de compostaje.</p>
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<p>Enmarcar la medida dentro de un plan de Estado hacia el cumplimiento del compromiso internacional de reducción de emisiones nacionales y generar un lineamiento a largo plazo en torno a la administración de los residuos en el país.</p> <p>Creación de equipos de trabajo y mesas de diálogo entre el sector público y privado para ejecución de estos proyectos.</p> <p>Diseño de edificios de compostaje que controlen condiciones ambientales, recuperen gases y optimicen el uso de suelo, entre otras ventajas posibles.</p>
Interrelación con otros sectores	<p>(1) Podría presentar una interrelación con el sector Energía, dado que existe un desvío de MO que originalmente iba a SEDS y después iría a PC. (2) Con el sector industrial se podría relacionar por medio del compost producido. Compite con fertilizantes y enmiendas de suelo artificiales. (3) Directa aplicación del producto sobre el sector silvoagropecuario.</p>
Estado del Arte Internacional	<p>El compostaje de los RSM es una práctica común en gran parte del mundo. De acuerdo a la base de datos estadística de la OCDE (OECD, 2013), sus países reportan compostaje de hasta un 34% de sus residuos,</p>
Información Bibliográfica	<p>Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. <i>Waste Management & Research</i>, 26(1), 47–60. doi:10.1177/0734242X07088432</p> <p>Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. <i>Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA</i>, 27(8), 800–12. doi:10.1177/0734242X09345275</p> <p>CONAMA, UDT, & UDC. (2010). Primer Reporte sobre Manejo de Residuos Sólidos en Chile.</p> <p>Consejo de Alcaldes, C. de R. (2008). Sobre el contrato con KDM SA - Tratamiento intermedio y disposición final de residuos sólidos</p>

	<p>municipales (RSM). Santiago, Chile. Retrieved from http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/informe-contrato-kdm-consejo-de-alcaldes-cerros-de-renca.pdf</p> <p>GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169).</p> <p>IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.</p> <p>MMA. (2012). Bases de datos en torno a la disposición y tratamiento de RSM histórico en Chile. Información entregada por Tania Vischara.</p>
<p>Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida</p>	<p>La información relativa a las emisiones tiene alta variabilidad debido a la naturaleza del proceso, que depende de múltiples factores que cambian de muestra a muestra.</p> <p>De la información utilizada para la modelación de la medida se puede mencionar que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se recopiló información sobre plantas de compostaje que operan actualmente y la fracción de RSM que actualmente tratan (MMA, 2012). • Capacidad de procesamiento, costos de Inversión y OyM en base al estudio realizados por GESCAM (2012).
<p>Supuestos de modelación</p>	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Poblaciones regionales. • Generación de RSM totales y sus fracciones valorizables. • Regiones y componentes de aplicación. Se compostan residuos de alimentos y PyC. • Niveles de penetración. Incremento porcentual, lineal y anual que se estabiliza al alcanzar el año objetivo (2030). • Año de inicio de la medida, 2016. <p>Outputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, costos por transporte adicional por recolección diferenciada, ahorros por disposición en SEDS e ingresos por venta de compost. • Residuos tratados y desviados de SEDS (reducción de emisiones). • Cantidad de compost producido. • Cantidad y tipo de plantas instaladas en el período evaluado.
<p>Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)</p>	<p>Se debiera controlar y reportar al MMA la cantidad ingresada a las plantas y la cantidad de compost generado de las misma.</p>

5.6.4 Compostaje de RSM provenientes de ferias libres

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Compostaje de RSM provenientes de ferias libres
Descripción	<p>Esta medida considera el desvío de los RSM -con destino SEDS y provenientes de ferias libres (FL) y podas municipales- hacia plantas especializadas donde se realice compostaje por medio de pilas de volteo automatizadas.</p> <p>Año de inicio: 2015, dado un plazo de organización de los feriantes, proyecto de ingeniería, diseño, construcción e instalación de las PC. Año de término: 2050</p> <p>Vida útil: 20 años. Al término se da inicio a un nuevo ciclo, por lo que hay que volver a realizar la inversión asociada.</p>
 Feria libre en Santiago, Chile	
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sector: Residuos
Nivel de implementación	<p>Los niveles de penetración contemplados, se asocian a la cantidad de residuos provenientes de FL a nivel nacional (indirectamente del número de FL, actualmente existen #952, principalmente concentradas en la zona centro del país). Para esta medida se evaluará la cobertura del 25, 50 y 90% de las FL de Chile.</p> <p>Para el escenario de 50% de penetración se contempla la construcción potencial y secuencial de 15 plantas (tanto grandes como pequeñas), una por región.</p> <p>20 años después de la instalación de cada PC, se debe volver a invertir en los equipos que desarrollan este tratamiento, asumiendo la completa reinversión de capital.</p>
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> Se considerarán distintos niveles de penetración. Variables como: FE del tratamiento compostaje (IPCC, 2006), porcentaje de RSM que corresponde a FL (Aseo, Ornato y Gestión Ambiental, 2011). Al tratar los RSM por medio de PC, se estará evitando enviar a SEDS una importante fracción de los residuos del país. Esta consideración tendrá impactos directos sobre las emisiones desplazadas y los ingresos (ahorros) generados. Escalamiento de la tecnología en base a la población cubierta con

	<p>la medida (GESCAM, 2012), PFS pequeñas ($2.000 < p < 20.000$ habitantes) y grandes ($20.000 < g < 100.000$ habitantes).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Venta de un 75% del compost producido con la medida, 50% a granel y 50% ensacado (GESCAM, 2012). El precio de venta se mantiene constante. 												
Información de reducción de emisiones	<p>Algunos estudios científicos (Amlinger, Peyr, & Cuhls, 2008) estiman las emisiones asociadas al tratamiento de los residuos orgánicos por medio compostaje. El rango reportado para las emisiones equivalentes de CO₂e por ton de materia orgánica fresca y húmeda (FMww, por sus siglas en inglés) varía entre 17,8-200 kgCO₂e/tonFMww. Para este caso se utilizará el valor reportado por el IPCC equivalente a 177 kgCO₂e/tonRSM tratado (IPCC, 2006).</p> <p>La siguiente tabla muestra los resultados de modelación potencial de emisiones:</p> <table border="1" data-bbox="599 871 1406 1157"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual 2015 (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>3,354</td> <td>199,30</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>3,378</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>0,024</td> <td>2,01</td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Anual 2015 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)	Emisiones medida	3,354	199,30	Emisiones LB	3,378	201,31	Reducción medida	0,024	2,01
Ítem	Anual 2015 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)											
Emisiones medida	3,354	199,30											
Emisiones LB	3,378	201,31											
Reducción medida	0,024	2,01											
Información de Costos	<p>La implementación de esta medida considera las siguientes componentes de costos: inversión en plantas de compostaje, costos de operación y mantenimiento de planta, ingresos por venta de compost y ahorro por residuos no enviados a SEDS.</p> <p>Costo de inversión y operación y mantención (OyM) en plantas de compostaje: En (GESCAM, 2012) se reportan distintas evaluaciones económicas para plantas de compostaje, para cubrir la producción de residuos de poblaciones de tamaño variable y en zonas geográficas de Chile diferentes. Se consideraron las diferentes zonas geográficas, pero solo se consideraron 2 tamaños de PC, pequeña ($2.000 < p < 20.000$ habitantes) y grande ($20.000 < g < 100.000$ habitantes). Si bien en el estudio de GESCAM (2012), las PC consideran tromeles en sus costos, los cuales son equipos que permiten diferenciar y segregar los residuos, en la presente medida los residuos ya llegan segregados. Pero a pesar de lo anterior, se considera que las PC</p>												

	<p>podrían necesitar equipos que procesen los residuos al inicio del tratamiento (apertura y separación de bolsas, triturado de residuos, secado, etc.), por lo que se asume que el costo de algunas de estas etapas de pre-tratamiento podrían ser equivalentes a los tromeles incluidos por GESCAM.</p> <p>Ingresos: Venta de un 75% del compost producido con la medida, 50% a granel (41,11 USD/ton) y 50% ensacado (82,23 USD/ton) (GESCAM, 2012).</p> <p>Ahorros: Hay que considerar además que se deja de disponer en otros SEDS, valorizado en \$8.000/ton (Consejo de Alcaldes, 2008).</p> <p>De esta forma (evaluación con tasa privada del 12%, M4-2, crecimiento medio), se obtuvieron los siguientes resultados:</p> <table border="1" data-bbox="597 787 1404 1411"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inversión</td> <td>4.662</td> <td>MM CLP</td> <td>2015 Una vez cada 20 años</td> </tr> <tr> <td>OyM (anual)</td> <td>-414</td> <td>MM CLP/año</td> <td>2015 + Evita ir relleno + compost.</td> </tr> <tr> <td>VP Inversión</td> <td>3.902</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VP OyM</td> <td>-3.080</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VAN Total</td> <td>-822</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo abatimiento</td> <td>0,85</td> <td>USD/ton CO2e</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Valor	Unidad	Comentario	Inversión	4.662	MM CLP	2015 Una vez cada 20 años	OyM (anual)	-414	MM CLP/año	2015 + Evita ir relleno + compost.	VP Inversión	3.902	MM CLP		VP OyM	-3.080	MM CLP		VAN Total	-822	MM CLP		Costo abatimiento	0,85	USD/ton CO2e	
Ítem	Valor	Unidad	Comentario																										
Inversión	4.662	MM CLP	2015 Una vez cada 20 años																										
OyM (anual)	-414	MM CLP/año	2015 + Evita ir relleno + compost.																										
VP Inversión	3.902	MM CLP																											
VP OyM	-3.080	MM CLP																											
VAN Total	-822	MM CLP																											
Costo abatimiento	0,85	USD/ton CO2e																											
Co beneficios	<p>(1) Reducción del volumen de residuos depositados en rellenos sanitarios o vertederos controlados. (2) Disminuye emisiones de otros sectores, por ejemplo: industrial (desplaza fertilizantes artificiales), cambio de uso de suelo (reduce de manera indirecta procesos de erosión y deforestación, más fijación de carbono al suelo) y en torno al recurso hídrico (características del compost que permiten retener mayor porcentaje de humedad, lo cual conlleva a una reducción en el riego empleado). (3) Mueve a la acción y sensibiliza en torno a temas ambientales a la población que participa de las FL.</p>																												

Barreras a la implementación de la medida de mitigación	Contratos actuales entre municipios y empresas administradoras de SEDS pueden exigir el envío de los residuos a sus rellenos, sin la posibilidad de que exista otro tratamiento. Compite con uso de suelo agrícola o industrial dado el amplio terreno que deben cubrir las pilas de compostaje. Puede ser que no todas las municipalidades tengan dónde compostar.
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	Enmarcar la medida dentro de un plan de Estado hacia el cumplimiento del compromiso internacional de reducción de emisiones nacionales y generar un lineamiento a largo plazo en torno a la administración de los residuos en el país. Diseño de edificios de compostaje que controlen condiciones ambientales, recuperen gases y optimicen el uso de suelo, entre otras ventajas posibles.
Interrelación con otros sectores	(1) Con el sector industrial se podría relacionar por medio del compost producido. Compite con fertilizantes y enmiendas de suelo artificiales. (2) Directa aplicación del producto sobre el sector silvoagropecuario.
Estado del Arte Internacional	El compostaje es una práctica común a nivel internacional. Ya se ha abordado en otras medidas de mitigación.
Información Bibliográfica	<p>Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. <i>Waste Management & Research</i>, 26(1), 47–60. doi:10.1177/0734242X07088432</p> <p>Aseo, Ornato y Gestión Ambiental, D. De. (2011). SERVICIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS Y ASIMILABLES , COMUNA DE MAIPÚ BASES TÉCNICAS (p. 12). Santiago, Chile.</p> <p>Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. <i>Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA</i>, 27(8), 800–12. doi:10.1177/0734242X09345275</p> <p>GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169).</p> <p>IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.</p>
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar	De la información utilizada para la modelación de la medida se puede mencionar que: <ul style="list-style-type: none"> • Se recopiló información sobre plantas de compostaje que operan

medida	<p>actualmente y la fracción de RSM que actualmente tratan (MMA, 2012).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de procesamiento, costos de Inversión y OyM en base al estudio realizados por GESCAM (2012).
Supuestos de modelación	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Poblaciones regionales. • Generación de RSM totales y sus fracciones valorizables. • Regiones y componentes de aplicación. Se compostan solo residuos de alimentos. • Niveles de penetración. Cobertura sobre la cantidad regional de residuos provenientes de FL. • La fracción de residuos a tratar -o potencial de acción- será estimada a partir del supuesto que un 4,61% de los RSM nacionales equivalen a residuos de FL (Aseo, Ornato y Gestión Ambiental, 2011). • Año de inicio de la medida, 2016. <p>Outputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, costos por transporte adicional por recolección diferenciada, ahorros por disposición en SEDS e ingresos por venta de compost. • Residuos tratados y desviados de SEDS (reducción de emisiones). • Cantidad de compost producido. • Cantidad y tipo de plantas instaladas en el período evaluado.
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)	<p>Se deberá controlar y reportar al MMA la cantidad ingresada a las plantas y la cantidad de compost generado de las misma.</p>

5.6.5 Planta de digestión anaerobia de RSM orgánicos

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Planta de digestión anaerobia en base a RSM
Descripción	<p>Esta medida consiste en la instalación de biodigestores para el tratamiento anaerobio de la materia orgánica (MO) a alta escala para desarrollar una biodigestión que produzca biogás capaz de generar energía eléctrica. Debido a la composición de los residuos sólidos municipales (RSM) y de la MO contenida en ellos (humedad considerada 50% wt), se recomienda la aplicación de Plantas de Fermentación Seca (PFS) para producir biogás (GESCAM, 2012).</p> <p>En el proceso de digestión anaerobia la MO se degrada anaeróbicamente, por lo que se disminuiría la cantidad de residuos con destino a rellenos sanitarios, y en consecuencia, las respectivas emisiones de metano fugitivas.</p> <p>El biogás se puede utilizar como (a) quema controlada, (b) fuente de energía de industrias aledañas, (c) generador de energía eléctrica para la planta o red, (d) fuente de calor o combustible, o (e) suministro a la red de gas natural. La presente medida evalúa la alternativa de generación eléctrica, ya que también origina una disminución de emisiones por concepto de desplazamiento de energía eléctrica de la red nacional, por ser el biogás una fuente de energía renovable no convencional (ERNC).</p> <p>Inicio: 2017, debido al diseño e ingeniería que requieren las plantas industriales de este tipo. Además se requerirían podrían llegar requerir 5 años para implementar esta medida a nivel nacional. Año de término: 2050.</p> <p>Vida útil: 20 años. Al término se da inicio a un nuevo ciclo, por lo que hay que volver a realizar la inversión asociada.</p>
	
	Planta de biogás Australia.
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sectores: Residuos Relacionado a Generación Eléctrica
Nivel de implementación	Los niveles de penetración evaluados en la medida serán los siguientes: 4, 8 y 12% de la fracción orgánica de los RSM. Esta medida requiere ser evaluada con segregación en el origen (al igual que la medida 3, compostaje en planta), y además contempla la construcción potencial de 18 plantas (4 MW totales instalados).
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Fracción recuperada de MO proveniente de segregación en origen. • Al tratar los RSM por medio de PFS, se estará evitando enviar a

	<p>SEDS una importante fracción de los residuos del país. Esta consideración tendrá impactos directos sobre las emisiones desplazadas y los ingresos (ahorros) generados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Escalamiento de la tecnología en base a la población cubierta con la medida (GESCAM, 2012). • Tamaño de plantas dependiente del número de población cubierta con la medida, PFS pequeñas ($2.000 < p < 20.000$ habitantes) y grandes ($20.000 < g < 100.000$ habitantes). • Costos por recolección y transporte diferenciado: Se debe de considerar el aumento en costos, producto del mayor transporte de la recolección diferenciada. Sacando un promedio de varios contratos de la RM, se determinó este costo en \$13.500/ton. Este valor se obtuvo en base a la revisión de contratos de recolección de Colina, Estación Central, La Florida, La Pintana, Maipú, Paine, Peñalolén, Quinta Normal, El Bosque, Quilicura, La Granja y Renca. Las cantidades generadas por comuna se calcularon en base a "Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile" (CONAMA, UDT, & UDC, 2010). Se incurre en este costo solo hasta el 2029, ya que se asume que para el 2030 este costo ya estará interiorizado en el sistema de recolección base. 												
Información de reducción de emisiones	<p>En la literatura consultada, se informa que de la degradación de la MO fresca y húmeda se generan entre 60-200 m³ biogás/ton RSM orgánico tratado, de los cuales entre un 50-60% corresponde a metano y un 50-40% a CO₂, aproximadamente (GESCAM, 2012)</p> <p>Las reducciones vienen dadas por la captura eficiente y utilización del metano que en la LB sería liberado a la atmosfera. Los resultados del total potencial son los siguientes:</p> <table border="1" data-bbox="570 1381 1435 1606"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual 2023 (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>4,258</td> <td>195,05</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>4,379</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>0,121</td> <td>6,26</td> </tr> </tbody> </table> <p>Es necesario mostrar la reducción de emisiones el año 2023 y no el 2017 que es cuando se realiza la inversión, debido a que los residuos depositados en SEDS en la LB demorarán un par de años en degradarse y producir biogás. Así se puede mostrar una reducción significativa del período evaluado.</p>	Ítem	Anual 2023 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)	Emisiones medida	4,258	195,05	Emisiones LB	4,379	201,31	Reducción medida	0,121	6,26
Ítem	Anual 2023 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)											
Emisiones medida	4,258	195,05											
Emisiones LB	4,379	201,31											
Reducción medida	0,121	6,26											

Información de Costos

En el estudio de (GESCAM, 2012) se reportan distintas evaluaciones técnico económicas de PFS, para cubrir la producción de residuos de poblaciones de tamaño variable y en diferentes zonas geográficas de Chile.

Basándose en el estudio mencionado con anterioridad, los resultados de la evaluación económica potencial son los siguientes (tasa privada del 12%, M5-2, crecimiento medio):

Ítem	Valor	Unidad	Comentario
Inversión	44.579	MM CLP	2017 Una vez cada 20 años
OyM (anual)	-439	MM CLP/año	2017 + Evita ir relleno + MO estabilizada.
VP Inversión	27.880	MM CLP	
VP OyM	-5.900	MM CLP	
VAN Total	-21.980	MM CLP	
Costo abatimiento	7,32	USD/tCO ₂ e	

Los costos considerados incluyen:

- CAPEX:
 - Inversión en una PFS para la producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los RSM (incluyendo biodigestores, correas transportadores, sistema cañerías, etc). Se consideraron las diferentes zonas geográficas, pero solo se consideraron 2 tamaños de PC, pequeña ($2.000 < p < 20.000$ habitantes) y grande ($20.000 < g < 100.000$ habitantes).
 - Inversión en central generadora de energía eléctrica (EE).
 - Inversión para transmisión y conexión a la red eléctrica, que bordean los 285.000,00 USD/km (GESCAM, 2012).
- OPEX:
 - OyM de infraestructura y equipos presentes en la PFS.
 - Costos asociados al transporte por recolección diferenciada válidos hasta el año 2029. Mencionados en la parte de supuestos.
 - Ingresos asociados a la venta de EE.

	<ul style="list-style-type: none"> – OPEX (LB): <ul style="list-style-type: none"> ○ Ahorro por disminuir la cantidad de RSM que van a SEDS.
Co beneficios	(1) Reducción del volumen de residuos depositados en rellenos sanitarios o vertederos controlados. (2) La generación de energía eléctrica con combustión de biogás (ERNC) genera ingresos y reducción de emisiones indirectas (FE red eléctrica Chile 0,39 tonCO ₂ e/MWh).
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Alta inversión. • Los esfuerzos nacionales van por la construcción de rellenos sanitarios. Esta medida desvía gran parte de sus residuos valorizables.
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Buscar alternativas de financiamiento a tasas crediticias preferenciales. • Demostrar eficiencia de los PFS sobre tecnología convencional de rellenos sanitarios.
Interrelación con otros sectores	<p>Posee una interrelación con el sector Energía, ya que la aplicación de esta medida aumentaría la generación de energía eléctrica proveniente de ERNC. La producción de biogás es más eficiente en un biodigestor que en un relleno sanitario, por lo que la oferta del sector Energía se vería beneficiada.</p> <p>También podría considerarse la generación de calor o bien la producción de combustible vehicular para los mismos camiones operados por la empresa sanitaria.</p>
Estado del Arte Internacional	<p>China ha implementado una planta piloto que efectúa este tratamiento (Yoshida, Gable, & Park, 2012).</p> <p>EEUU. BIOFerm™, planta piloto en la Universidad de Wisconsin, Oshkosh (Bioferm Energy Systems, n.d.).</p>
Información Bibliográfica	<p>Bioferm Energy Systems. (n.d.). Company Profile. Retrieved July 10, 2013, from http://www.biofermenergy.com/company-profile/GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169).</p> <p>Liu, X., Gao, X., Wang, W., Zheng, L., Zhou, Y., & Sun, Y. (2012). Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste: Focusing on biogas production and GHG reduction. <i>Renewable Energy</i>, 44, 463–468. doi:10.1016/j.renene.2012.01.092</p> <p>Yoshida, H., Gable, J. J., & Park, J. K. (2012). Evaluation of organic waste diversion alternatives for greenhouse gas reduction.</p>

	Resources, Conservation and Recycling, 60, 1–9. doi:10.1016/j.resconrec.2011.11.011
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	<p>La información relativa a las emisiones tiene alta variabilidad debido a la naturaleza del proceso, que depende de múltiples factores que cambian de muestra a muestra.</p> <p>De la información utilizada para la modelación de la medida se puede mencionar que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la actualidad no existen plantas industriales de tratamiento de RSM de este tipo en Chile. • Capacidad de procesamiento, costos de Inversión y OyM en base al estudio realizados por GESCAM (2012) para las distintas macrozonas del país.
Supuestos de modelación	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Poblaciones regionales. • Generación de RSM totales y sus fracciones valorizables. • Regiones y componentes de aplicación. Se fermentan residuos de alimentos (100%) y PyC (30%). • Niveles de penetración constantes en el tiempo desde que se aplica la medida, cubriendo el 8% de los RSM valorizables al año. • Año de inicio de la medida, 2017. • Eficiencias y características de los procesos propios de las PFS de alta escala. • Generación de biogás superior a la de los RRSS, 100 m³/ton RSM biodegradable tratado. • Generación de EE por medio de biogás equivalente a 2 kWh/m³ biogás combustionado. • Factor de planta a biogás = 95%. • Mercado eléctrico (para venta de energía). Se asume que se firma un contrato que asegura la venta de EE a \$100,00 USD/MWh. <p>Outputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, costos por transporte adicional por recolección diferenciada, ahorros por disposición en SEDS e ingresos por venta de energía eléctrica (EE). • Residuos tratados y desviados de SEDS (reducción de emisiones). • Cantidad de EE producida en GWh/año. • Cantidad y tipo de PFS instaladas en el período evaluado.
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y	Se deberá monitorear y reportar al MMA las cantidades de residuos tratados por esta vía.

verificación)	
---------------	--

5.6.6 Captura y quema controlada de biogás con antorchas

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Aumento de captura y quema de biogás con antorchas
Descripción	<p>La presente medida de mitigación propone mejorar la eficiencia o aumentar la cobertura de captura y quema de biogás con antorchas tradicionales empleadas en RRSS en rellenos sanitarios nuevos -o sin generación eléctrica, ni adjudicación de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)- mediante la aplicación de nuevas leyes o modificación de la normativa vigente.</p> <p>Se considera aumentar el porcentaje mínimo de captura y quema en los RRSS a nivel nacional. Específicamente se considera pasar de un 6% -considerado en LB- a un 50 o 70% -como máximo teórico- de captura de biogás en RRSS, destacando que por recomendaciones de expertos en los GCE, el 70% puede ser un poco optimista, por lo que el 50% pareciera ser un valor más conservador. Esta medida se podría aplicar entre los años 2014-2020.</p> <p>Año de inicio: 2014. Además se podrían llegar a requerir 6 años para implementar esta medida a nivel nacional, considerando plan de nuevos RRSS de la SUBDERE. Año de término: 2050.</p> <p>Vida útil: 20 años. Al término se da inicio a un nuevo ciclo, por lo que hay que volver a realizar la inversión asociada.</p>
Contexto	<p>Los rellenos sanitarios están regulados bajo la legislación chilena a través del DS189 (Congreso de Chile & Ministerio de Salud y Subsecretaría de Salud Pública, 2008), el cual no define un porcentaje de quema del biogás, sino que menciona (artículo 16) que se debe asegurar la máxima recuperación y extracción posible. Además se menciona que al biogás se le debe dar un uso o recibir tratamiento por medidas de seguridad (explosividad) al interior y exterior del relleno sanitario.</p> <p>Bajo esta perspectiva, se estima que la línea de base (LB) contempla solamente un 6% de captura y quema del biogás generado en rellenos sanitarios nuevos, esto revisando diferentes proyectos con MDLs, donde se informa un valor “conservador” de quema mínima en LB (CDM Project, n.d.).</p> <p>Así, se propone un programa específico articulado por el Ministerio</p>

	<p>de Medio Ambiente (MMA), Ministerio de Salud (MinSal), SUBDERE y CORFO que fomente la maximización de la captura y quema de biogás generado en rellenos sanitarios nuevos -o estudiar el catastro de los rellenos sanitarios reportados a la fecha y evaluar el potencial de reducción de emisiones por concepto de incremento de eficiencia- a través de leyes concretas avocadas a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).</p> <p>El programa además requiere estudios de carácter público sobre la prefactibilidad técnica-económica de los distintos proyectos a considerar. Según los resultados de estos estudios se entregarán créditos a las entidades solicitantes que apliquen sobre el beneficio.</p>
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sector: Residuos
Nivel de implementación	<p>Los niveles de implementación contemplados, se asocian al porcentaje de captura en los RRSS. Para esta medida se evaluará la captura del 50 y 70% del biogás producido en los RRSS.</p> <p>Esta medida apunta a aumentar el porcentaje de captura de biogás, tanto en RRSS nuevos como antiguos.</p> <p>Con respecto a los antiguos, ocurre que algunos ya tienen optimizada su captura de biogás al postular a proyectos MDL en el pasado. Por lo que esta medida solo apunta a aquellos RRSS antiguos que no tengan proyectos MDL.</p> <p>Por otra parte, con respecto a los RRSS nuevos, esta medida se aplica sobre todos. Ya que al no seguir vigente el incentivo MDL (a partir de 2012, por no revalidación del tratado de Kyoto), los nuevos RRSS que se construyan, es probable que solo aseguren la captura y quema mínima (6%) -posiblemente por un tema de costos-. Es necesario que los subsidios internacionales o nacionales compensen la presencia de los MDL y permitan la correcta ejecución y operación de los proyectos.</p> <p>Además debe apuntarse a regiones, ya que en Santiago no quedaría mucho margen de acción para reducir emisiones con RRSS antiguos. La empresa de rellenos KDM tiene generación eléctrica (Lomas Los Colorados, Norte de Santiago), por lo que se asume eficiencia máxima, y el relleno Santa Marta quema cerca de un 80% del biogás producido según la metodología MDL (Consortio Santa Marta, n.d.).</p>
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento completo o parcial del plan de conversión hacia RRSS de la SUBDERE entre 2014 y 2020. • Se descuenta biogás capturado en LB por RRSS, según información del MMA (2012). Fracción restante de biogás -a nivel

	<p>nacional- determina el potencial de acción.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toda la inversión necesaria se realiza en 2014, pero la reducción de emisiones asociada, se irá generando paulatinamente en los años posteriores. Esto dado la naturaleza de la degradación de los RSM. 															
<p>Información de reducción de emisiones</p>	<p>Dependerá del porcentaje de reducción de las emisiones fugitivas de metano logradas con la implementación de la medida. Debido a que el potencial de calentamiento global del metano es 21 veces el del CO₂, siempre va a ser conveniente quemar el biogás antes que dejarlo escapar a la atmósfera.</p> <p>La reducción de emisiones de esta medida se determina restando las emisiones de la LB con las emisiones asociadas a la aplicación de la normativa propuesta.</p> <p>Supuestos LB: Se requiere información sobre la cantidad de CO₂e tratado en relleno sanitario en LB a partir de la cantidad de m³ de biogás generado por tonelada de residuos (m³biogás/TonRSM). Este valor se puede estimar conociendo los flujos de RSM llevados a disposición final por regiones, multiplicado por un FE_{RSM} (CO₂eq/TonRSM), que depende de las condiciones ambientales y de operación del RRSS (CDM Project, n.d.; IPCC, 2006).</p> <p>Supuestos para medida: Se requiere conocer el aumento de captura para quema controlada del biogás con antorchas (CDM Project, n.d.; Consorcio Santa Marta, n.d.). Debido a lo que se deja de emitir metano a la atmósfera.</p> <p>Los resultados de una evaluación potencial son los siguientes:</p> <table border="1" data-bbox="565 1339 1442 1633"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual 2020 (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M6-1, crec. medio</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>3,125</td> <td>155,05</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>3,998</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>0,863</td> <td>46,26</td> </tr> </tbody> </table> <p>Es necesario mostrar la reducción de emisiones el año 2020 y no el 2014 que es cuando se realiza la inversión, debido a que los residuos depositados en SEDS en la LB demorarán un par de años en degradarse y producir biogás. Así se puede mostrar una reducción</p>	Ítem	Anual 2020 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)	M6-1, crec. medio			Emisiones medida	3,125	155,05	Emisiones LB	3,998	201,31	Reducción medida	0,863	46,26
Ítem	Anual 2020 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)														
M6-1, crec. medio																
Emisiones medida	3,125	155,05														
Emisiones LB	3,998	201,31														
Reducción medida	0,863	46,26														

	significativa del período evaluado. Cabe destacar que esta es la medida del sector que más emisiones puede llegar a reducir.																
Información de Costos	<p>Los costos de esta medida -para cada proyecto- se calculan como la diferencia entre el costo de ejecutar el proyecto con captura y quema máxima teórica y la implementación de la LB.</p> <p>Medida (proyecto): El valor actual de costos (VAC) -inversión, operación y mantención- se estima a partir de un estudio previo a nivel nacional realizado por GESCAM (2012). Estos costos se encuentran en un rango entre los 1-8 MM USD dependiendo el tamaño de población cubierta (5.000-500.000 habitantes) y zona geográfica considerada (GESCAM, 2012). Para poder homologar la información -presentada en el estudio antes mencionado- con la propia del modelo y LB2013, se presenta el Anexo III donde se explica brevemente el análisis realizado para definir los costos de esta medida de mitigación.</p> <p>De todas maneras, los valores encontrados se expresan como inversión o costo de OyM por tonelada de metano extra capturada (al igual que MDL). Costo de inversión cercano a los \$1200 USD/tCH₄ e.cap, y costo de OyM cercano a los \$240 USD/(año·tCH₄ e.cap). Considerando que se invierte en función de la cantidad máxima de metano capturado en la vida útil del RRSS (20 años), la cual se estima a priori según la cantidad de residuos que se tratarán en dicho RRSS.</p> <p>Los resultados de una evaluación potencial son los siguientes (tasa privada del 12%, M6-1, crecimiento medio):</p> <table border="1" data-bbox="591 1396 1414 1837"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inversión</td> <td>37.875</td> <td>MM CLP</td> <td>2014 M6-1 Captura 50% Una vez cada 20 años</td> </tr> <tr> <td>OyM (anual)</td> <td>4.947</td> <td>MM CLP/año</td> <td>2020 M6-1 Captura 50%</td> </tr> <tr> <td>VP Inversión</td> <td>34.163</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Valor	Unidad	Comentario	Inversión	37.875	MM CLP	2014 M6-1 Captura 50% Una vez cada 20 años	OyM (anual)	4.947	MM CLP/año	2020 M6-1 Captura 50%	VP Inversión	34.163	MM CLP	
Ítem	Valor	Unidad	Comentario														
Inversión	37.875	MM CLP	2014 M6-1 Captura 50% Una vez cada 20 años														
OyM (anual)	4.947	MM CLP/año	2020 M6-1 Captura 50%														
VP Inversión	34.163	MM CLP															

	<table border="1"> <tr> <td>VP OyM</td> <td>36.126</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VAN Total</td> <td>- 70.289</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo abatimiento</td> <td>3,17</td> <td>USD/tCO₂e</td> <td></td> </tr> </table>	VP OyM	36.126	MM CLP		VAN Total	- 70.289	MM CLP		Costo abatimiento	3,17	USD/tCO ₂ e	
VP OyM	36.126	MM CLP											
VAN Total	- 70.289	MM CLP											
Costo abatimiento	3,17	USD/tCO ₂ e											
Co beneficios	<p>(1) Disminución de riesgos de explosión, incendios, olores y vectores biológicos de contaminación, producto de emisiones fugitivas de biogás. (2) Experiencia ganada con captura y tratamiento de biogás, da pie para iniciar más proyectos de generación eléctrica de ERNC.</p>												
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	<p>“Sin embargo, es importante destacar que desde el año 2006 no hay mayor avance en el mejoramiento de la disposición final en rellenos sanitarios.” (Ministerio de Medio Ambiente, 2011). Por lo que se reconoce que actualmente son bajos incentivos para disminuir la emisión de GEI.</p> <p>Empresas o administradores de rellenos en estudio para mejorar eficiencia de captura y quema, pueden mostrarse reticentes a adoptar medidas de operación externas en torno a la administración de sus instalaciones y recursos.</p>												
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<p>Puesta en marcha y ejecución del plan de la SUBDERE para regularizar los vertederos del país.</p> <p>Mesas de trabajo entre organismos públicos articuladores de la mediad y privados administradores de los proyectos.</p>												
Interrelación con otros sectores	<p>No se reconoce interrelación con otros sectores.</p>												
Estado del Arte Internacional	<p>EEUU. US EPA. Tiene un programa que busca disminuir las emisiones de metano generado en rellenos sanitarios a nivel nacional. Por lo que a través de su página web, homogeneiza información relevante e informa a inversores y comunidades sobre los beneficios de la captura y aprovechamiento del biogás generado en rellenos sanitarios. Sobre todo como aprovechamiento energético (US EPA, n.d.).</p>												
Información Bibliográfica	<p>CDM Project. (n.d.). Proyectos CDM asociados al manejo y tratamiento de biogás producido en rellenos sanitarios y vertederos en Chile. Retrieved from http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html</p> <p>Congreso de Chile, B. del C. N. de C., & Ministerio de Salud y Subsecretaria de Salud Pública. Decreto Supremo N°189. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios (2008). Retrieved</p>												

	<p>from http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=268137</p> <p>Consortio Santa Marta. (n.d.). Planta quemado biogás. Retrieved July 09, 2013, from http://www.csmarta.cl/relleno-sanitario/planta-quemado-biogas/</p> <p>GESCAM. (2012). <i>Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema</i> (p. 169).</p> <p>IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. <i>Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.</i></p> <p>Ministerio de Medio Ambiente. (2011). Informe del Estado del Medio Ambiente - Capitulo 3. Residuos. Retrieved from http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_3.pdf</p> <p>US EPA. (n.d.). Landfill Methane Outreach Program. Retrieved July 10, 2013, from http://www.epa.gov/lmop/index.html</p> <p>US EPA. (2010). Landfill Methane Outreach Program. Publications / Tools. Project Development Handbook. Retrieved July 10, 2013, from http://www.epa.gov/lmop/publications-tools/handbook.html</p> <p>US EPA. (2012). Landfill Gas Energy - A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs (pp. 1–34). Retrieved from https://www.google.cl/search?q=acre&oq=acre&aqs=chrome.0.57j65l2j60j0l2.773j0&sourceid=chrome&ie=UTF-8</p>
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	<p>La información necesaria para la modelación de la medida corresponde a los porcentajes de recuperación de biogás con respecto al total producido en todos los rellenos sanitarios de Chile. Esta información fue entregada por el MMA.</p> <p>También se consultaron los MDLs asociados al sector residuos en Chile, ya sean proyectos en carpeta o en ejecución.</p>
Supuestos de modelación	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • SEDS regionales según catastro entregado por el MMA. • Plan de SUBDERE. • Generación de RSM totales y sus fracciones valorizables. • Niveles de penetración constante en el tiempo desde que se aplica la medida, cubriendo el 50 o 70% de captura de biogás en SEDS. • Año de inicio de la medida, 2014. • Eficiencias y características de los procesos propios de las antorchas y sistemas de captura de biogás de alta escala. • 70% de captura y quema máxima teórica con aplicación intensiva

	de la medida (en base a revisión de proyectos MDL). <ul style="list-style-type: none"> • 50% de CH₄ en biogás, 0,7 kg/m³ CH₄ y GWP_{CH₄} = 21 tCO₂e/tCH₄. • Generación de biogás en RRSS varía regionalmente -según el modelo propuesto- bajo parámetros ambientales que determinan la descomposición de los RSM. Outputs: <ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión y de operación y mantenimiento. • Cantidad de metano capturado y combustionado a través de la medida de mitigación.
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)	Establecer sistema de monitoreo y reporte de información de los flujos de entrada de residuos, y los flujos de salida: material estabilizado, biogás y emisiones a nivel nacional.

5.6.7 Inyección de biogás a la red de gas natural

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Inyección de biogás a la red de gas natural
Descripción  <p>NGVA. Planta de biogás conectada a la red de gas natural en Didcot, UK.</p>	<p>La medida consiste en recuperar el biogás generado en rellenos sanitarios, purificarlo de manera que la composición sea homologable a la del gas natural (GN) e inyectarlo a la red para su distribución comercial para uso en hogares o vehículos (no es gas de ciudad). Considera la construcción de una planta a escala industrial que permita desarrollar lo mencionado con anterioridad. De esta forma, se desplazarían emisiones por evitar fugas de biogás en RRSS y por desplazamiento de GN (combustible fósil).</p> <p>El biogás proveniente de la descomposición anaeróbica de los residuos sólidos urbanos (RSM) depositados en rellenos sanitarios contiene entre un 40% y un 65% de CH₄. El biogás debe ser tratado de manera de cumplir con la norma NCh 2264 Of. 2009 que establece la composición del gas natural para Chile.</p> <p>Esta medida solo será evaluada para ciudades que cuenten con red de gas natural construida (Santiago, Valparaíso, Concepción y Punta Arenas). Además, no se considerarán para el potencial de aplicación aquellos rellenos que actualmente cuenten con otro tipo de aprovechamiento energético del biogás.</p> <p>En Chile no existen proyectos en ejecución o evaluación de estas características, incluso se reconoce que a nivel mundial esta es una</p>

	<p>alternativa poco explorada.</p> <p>Inicio: 2018. Además se podrían llegar a requerir cerca de 5 años posteriores para implementar esta medida a nivel nacional. Año de término: 2050</p> <p>Vida útil: 20 años. Al término se da inicio a un nuevo ciclo, por lo que hay que volver a realizar la inversión asociada.</p>
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sector Residuos Sector Energía
Nivel de implementación	<p>Se considera el diseño, ingeniería y construcción de 4 plantas al 2014.</p> <p>En esta medida no se consideran niveles de penetración, ya que son solo 4 ciudades a nivel nacional donde se puede aplicar esta medida - por tener red de GN-.</p>
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento completo o parcial del plan de conversión hacia RRSS de la SUBDERE entre 2014 y 2020. • Medida no aplica sobre regiones sin red de GN. No se considera la construcción de nuevas redes para otras regiones distintas a las que en la actualidad cuentan con red de GN. • Medida se puede aplicar sobre los RRSS existentes y nuevos, 4 proyectos en total a nivel nacional. • Cada proyecto determinará un tamaño de población cubierta según cantidad de residuos tratados. • Descontar biogás capturado en LB por RRSS, según información del MMA (2012).
Información de reducción de emisiones	<p>La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se produce en dos frentes.</p> <p>En primer lugar se evita la emanación de metano en el relleno sanitario, ya que se captura e inyecta a la red de gas natural. Al momento de la combustión, emana CO₂, cuyo potencial de calentamiento global es 21 veces menor al CH₄.</p> <p>Por otra parte, también existen reducciones de emisiones indirectas respecto al caso base, ya que se desplaza GN de origen fósil al utilizar el GN generado en RRSS de forma sustentable. Faltaría analizar el ciclo de vida completo, considerando el proceso de purificación del</p>

	<p>biogás, para ver si se consigue una reducción de emisiones efectiva. Resultados de modelación potencial de emisiones:</p> <table border="1" data-bbox="576 367 1429 640"> <thead> <tr> <th>Ítem M7, crec. medio</th> <th>Anual 2025 (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>4,518</td> <td>198,18</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>4,623</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>0,105</td> <td>3,13</td> </tr> </tbody> </table> <p>Es necesario mostrar la reducción de emisiones del año 2025 y no del 2018 -que es cuando se realiza la inversión-, debido a que los residuos depositados en SEDS en la LB demorarán un par de años en degradarse y producir biogás. Así se puede mostrar una reducción significativa del período evaluado.</p>	Ítem M7, crec. medio	Anual 2025 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e/año)	Emisiones medida	4,518	198,18	Emisiones LB	4,623	201,31	Reducción medida	0,105	3,13								
Ítem M7, crec. medio	Anual 2025 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e/año)																			
Emisiones medida	4,518	198,18																			
Emisiones LB	4,623	201,31																			
Reducción medida	0,105	3,13																			
Información de Costos	<p>Los costos de inversión y operación y mantención (OyM) de purificación el biogás para dejarlo con calidad de gas natural varían de acuerdo al tamaño de la planta, ya que existen economías de escalas en el proceso.</p> <p>La siguiente tabla muestra los costos para distintos tamaños de plantas (Warren, 2012):</p> <table border="1" data-bbox="617 1176 1388 1386"> <thead> <tr> <th>Biogás procesado (Nm³/h)</th> <th>Costos de inversión (MM USD)</th> <th>OyM (MM USD/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>500</td> <td>1,83</td> <td>0,25</td> </tr> <tr> <td>1.000</td> <td>2,36</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>2.000</td> <td>3,80</td> <td>0,89</td> </tr> </tbody> </table> <p>Esto no considera los costos de conexión a la red, pero si el asociado a aumentar la captura de biogás en RRSS donde se aplica la medida de mitigación, costos obtenidos de GESCAM (2012).</p> <p>Resultados de modelación potencial económica (tasa privada del 12%, M7-1, 2 ó 3, crecimiento medio):</p> <table border="1" data-bbox="576 1690 1421 1816"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Biogás procesado (Nm ³ /h)	Costos de inversión (MM USD)	OyM (MM USD/año)	500	1,83	0,25	1.000	2,36	0,46	2.000	3,80	0,89	Ítem	Valor	Unidad	Comentario				
Biogás procesado (Nm ³ /h)	Costos de inversión (MM USD)	OyM (MM USD/año)																			
500	1,83	0,25																			
1.000	2,36	0,46																			
2.000	3,80	0,89																			
Ítem	Valor	Unidad	Comentario																		

	Inversión	34.043	MM CLP	2018 Una vez cada 20 años
	OyM (anual)	-3.494	MM CLP/año	2018 M7-1, 2 o 3
	VP Inversión	18.878	MM CLP	
	VP OyM	-15.802	MM CLP	
	VAN Total	-3.077	MM CLP	
	Costo abatimiento	2,05	USD/tCO ₂ e	
Co beneficios	Aumenta la seguridad energética del país, ya que disminuye la dependencia de GN procedente del extranjero. Desplazamiento de fuentes fósiles de energía por otra sustentable.			
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	La coordinación entre grandes actores (como lo son las distribuidoras de gas natural y los rellenos) puede resultar complicada. Alta inversión en tecnológica (Warren, 2012) respecto a la línea base. Negocio poco significativo para el propietario de los RRSS.			
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	Fomentar la coordinación de los actores instaurando mesas de cooperación. Entrega de créditos a tasa preferencial. Entrega de otros incentivos que motiven a privados a desarrollar medidas de mitigación como esta.			
Interrelación con otros sectores	Tiene impacto en el sector de energía, ya que se genera gas natural de una fuente distinta al petróleo.			
Estado del Arte Internacional	Existe evidencia de rellenos sanitarios con distintas producciones de biogás, purificación e impulsión a la red de gas natural. A continuación algunos ejemplos (IEA, Petersson, & Wellinger, 2009): Reykjavik, Islandia. 700 Nm ³ /h biogás. Nuenen, Holanda. 1500 Nm ³ /h biogás. Pittsburg - Valley (PA), EEUU. 5600 Nm ³ /h biogás.			
Información Bibliográfica	IEA, Petersson, A., & Wellinger, A. (2009). Biogas upgrading technologies – developments and innovations. GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169). Warren, K. (2012). A techno-economic comparison of biogas upgrading technologies in Europe.			

Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	La información corresponde a estudios internacionales, estudios realizados en Chile donde se explora el tema para la realidad local e información de actores de la industria.
Supuestos de modelación	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inyección: Estimación del volumen potencial de biogás (CH₄) que puede ser aprovechado para purificación hacia GN en regiones con red de distribución instalada. • Año de inicio de la medida, 2018. • Eficiencia del proceso de purificación de biogás a GN, 80% (aprovechamiento). • 95% CH₄ a alcanzar en GN. • FE GN = 63,1 tCO₂e/TJ • Costo de instalación de gaseoducto, 45,8 USD/(m·pulg), ancho de tubería, 12 pulgadas, y distancia de proyecto a interconexión con la red de distribución de GN, 20 km. • Generación de biogás en RRSS varía regionalmente -según el modelo propuesto- bajo parámetros ambientales que determinan la descomposición de los RSM. <p>Outputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión (sistema de captura de biogás, planta de purificación y gaseoducto a interconexión) y de operación y mantenimiento, sumado a ingresos por venta de GN. • Cantidad de metano recuperado y que evita liberación a la atmósfera.
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)	Establecer sistema de monitoreo y reporte de información de los flujos de entrada de residuos, y los flujos de salida: material estabilizado, biogás, GN producido y emisiones a nivel nacional.

5.6.8 Generación eléctrica con biogás en rellenos sanitarios

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Generación eléctrica con biogás en rellenos sanitarios

<p>Descripción</p>  <p>Generadores eléctricos de ENER-G en relleno sanitario de México</p>	<p>La presente medida de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) propone que en rellenos sanitarios nuevos -o sin generación eléctrica (GE), ni adjudicación de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)- se incremente el porcentaje de captura de biogás y se instalen centrales de GE.</p> <p>Potencialmente existen 6 proyectos de RRSS a nivel nacional -para las regiones I (Arica), II (Antofagasta), RM (Stgo. Poniente), IX (Araucanía) y X (2 proyectos; Osorno y Llanquihue)- que podrían generar más de 1 MW de energía eléctrica cada uno (tamaño mínimo según criterio experto).</p> <p>De esta forma la reducción de emisiones se podría generar en dos frentes: (1) reducción directa por cambio de emisión de metano a CO₂ proveniente de la combustión del biogás, y (2) reducción indirecta por desplazamiento de electricidad de la red chilena (con un cierto FE asociado).</p> <p>Inicio: 2017.</p> <p>Ejecución: Esta medida se podría implementar en paralelo con el plan de RRSS de la SUBDERE (2014-2019), pero las plantas de generación se estima que comenzarían a operar en 2017, hasta alcanzar la totalidad de los proyectos en 2033.</p> <p>A pesar de necesitar un diseño de ingeniería y técnico avanzado, ya existen de estos proyectos en Chile, por lo que los plazos propuestos parecieran ser adecuados.</p> <p>Vida útil: 20 años. Al término se da inicio a un nuevo ciclo, por lo que hay que volver a realizar la inversión asociada.</p>
<p>Universo</p>	<p>Sectorial</p>
<p>Sectores y subsectores</p>	<p>Sector: Residuos Energía</p>
<p>Nivel de implementación</p>	<p>Esta medida se debe aplicar sobre los RRSS nuevos propuestos por el plan de la SUBDERE -salvo Stgo Poniente en la RM-.</p> <p>Al no seguir vigente el incentivo CDM (a partir de 2012), este tipo de proyectos asegurarán la captura y quema mínima posible -probablemente por tema de costos-, por lo que se deberá buscar nuevos incentivos que promuevan la generación y conexión a la red. El posible subsidio sobre la transmisión, debiera compensar la presencia de los CDM y permitir la correcta ejecución y operación del proyecto.</p> <p>Para la presente medida no se consideran niveles de penetración, sino que una entrada paulatina de nuevos proyectos a medida que los RRSS son construidos y cumplen la condición de potencia instalada mínima de 1 MW. Los RRSS con potencialidad de</p>

	<p>generación eléctrica se ubican en Iquique, Antofagasta, Santiago, Araucanía, Osorno y Llanquihue (según la presente evaluación).</p>												
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento completo o parcial del plan de conversión hacia RRSS de la SUBDERE entre 2014 y 2020. • Medida se puede aplicar sobre los RRSS existentes y nuevos, 6 proyectos en total a nivel nacional. • Descontar biogás capturado en LB por RRSS, según información del MMA (2012) y plan de la SUBDERE. 												
Información de reducción de emisiones	<p>La reducción de emisiones se determina restando las emisiones de la LB con las emisiones asociadas a la ejecución del proyecto.</p> <p>LB: Emisiones fugitivas llevadas a CO₂e en RRSS, 94% del biogás generado.</p> <p>Medida (proyecto): Emisiones fugitivas llevadas a CO₂e en RRSS con aplicación de la medida, 50% del biogás generado.</p> <p>Existirá una reducción de emisiones indirecta, asociada al desplazamiento de energía eléctrica de la red nacional (p. ej. El año 2012 el factor de emisión (FE) del SIC fue 0,39 tonCO₂/MWh; Ministerio de Energía (2012)).</p> <p>Los resultados de modelación potencial de emisiones son los siguientes:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ítem M8, crec. medio</th> <th>Anual 2039 (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>5,783</td> <td>193,57</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>6,166</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>0,383</td> <td>7,74</td> </tr> </tbody> </table> <p>Es necesario mostrar la reducción de emisiones del año 2039 y no del 2014 -que es cuando se realiza la primera inversión-, debido a que los residuos depositados en SEDS demorarán un par de años en degradarse y producir biogás. Además, como la entrada de los RRSS con GE es paulatina, informar la reducción de emisiones antes podría estar obviando el efecto de alguno de los proyectos. De esta forma se pretende mostrar una reducción significativa del período evaluado.</p>	Ítem M8, crec. medio	Anual 2039 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)	Emisiones medida	5,783	193,57	Emisiones LB	6,166	201,31	Reducción medida	0,383	7,74
Ítem M8, crec. medio	Anual 2039 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)											
Emisiones medida	5,783	193,57											
Emisiones LB	6,166	201,31											
Reducción medida	0,383	7,74											

Información de Costos

Los costos de esta medida -para cada proyecto- se calculan como la diferencia entre el costo de ejecutar el proyecto con captura y quema máxima teórica y la implementación de la LB.

Proyecto:

El valor actual de costos (VAC) -inversión, operación y mantención- se estima a partir de un estudio previo a nivel nacional realizado por GESCAM (2012). Estos costos se encuentran en un rango entre los 1-8 MM USD dependiendo el tamaño de población cubierta (5.000-500.000 habitantes) y zona geográfica considerada (GESCAM, 2012). Para poder homologar la información -presentada en el estudio antes mencionado- con la propia del modelo y LB2013, se presenta el Anexo III donde se explica brevemente el análisis realizado para definir los costos de esta medida de mitigación.

De todas maneras, los valores encontrados se expresan como inversión o costo de OyM por tonelada de metano extra capturada (al igual que MDL). Costo de inversión cercano a los \$1200 USD/tCH₄ e.cap, y costo de OyM cercano a los \$240 USD/(año·tCH₄ e.cap).

Con respecto a la GE, las tecnologías más comunes para la conversión de biogás a electricidad incluyen los motores de combustión interna (MCI), turbinas de gas, microturbinas y motores pequeños. La generación típica en estos proyecto son del orden de unidades de MW, por lo que las tecnologías más adecuadas serían los MCI (US EPA, 2012). Además conviene mencionar que se asume una eficiencia de conversión eléctrica del 38% (CDM Project, n.d.), lo que equivale a 2 kWh/m³ de biogás combustionado (GESCAM, 2012).

Tecnología	Tamaño proyecto	Inversión	OyM anual
Tipo	>= kW	USD/kW	USD/kW
Nada	599	-	-
Microturbina	600	5.500	380
Pequeño motor de CI	800	2.300	210
Motor de CI	1000	1.700	180
Turbina de gas	3000	1.400	130

Fuente: (US EPA, 2010)

Los costos de inversión para transmisión y conexión a la red bordean los 285.000,00 USD/km (GESCAM, 2012). Se supone una línea de

conexión promedio de 20 km para todos los proyectos. Valores confirmados con el equipo consultor del sector de generación de energía de MAPS.

LB:

El costo asociado a la instalación y operación de un sistema de captura y quema que cubra el 6% de la producción de biogás en RRSS, se estima bajo los mismos valores mencionados anteriormente que se rescatan del estudio de GESCAM (2012). La diferencia es que se debe considerar un paso de un 0% a un 6% de captura de biogás en los RRSS.

* Ingresos

A pesar de los elevados costos, este proyecto debe considerar los ingresos asociados a la venta a la red del excedente eléctrico generado. Para determinar este valor, será necesario cuantificar el consumo eléctrico de la planta, revisar la normativa de venta y distribución a la red, y asumir un precio de venta del MWh. Para la evaluación de la presente medida, se asume la firma de un contrato que asegura la venta de EE a \$100,00 USD/MWh (validado por equipo consultor de GE y GCE).

Resultados de modelación potencial económica (tasa privada del 12%, M8-1, 2 ó 3, crecimiento medio):

Ítem	Valor	Unidad	Comentario
Inversión	3.178	MM CLP	Promedio inv. realizada (algunos años) Una vez cada 20 años
OyM (anual)	-2.546	MM CLP/año	2039 + Ingresos EE
VP Inversión	7.769	MM CLP	
VP OyM	-7.899	MM CLP	
VAN Total	130	MM CLP	
Costo abatimiento	-0,035	USD/tCO ₂ e	

Co beneficios	<p>(1) Aumenta participación de las ERNC a nivel nacional, (2) máximo aprovechamiento de los recursos existentes, (3) posible co beneficio a comunidades aledañas al proyecto, ya sea por disminución de olores (fugas) o por entrega de una fracción de la energía generada.</p>
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	<p>Inversión elevada y proyectos que necesitan detallados estudios de ingeniería. Superar barreras propias del sector eléctrico, como por ejemplo la ya mencionada conexión a la red (proyectos aislados). Negocio poco significativo y desconocido para los privados administradores de RRSS.</p>
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<p>Facilidades de crédito para el financiamiento. Subsidios y potenciar un lineamiento nacional en torno a las ERNC y la transmisión de electricidad. Capacitación y formación de profesionales avanzados que puedan articular este tipo de proyectos. Incentivos extra económicos para proyectos de este tipo.</p>
Interrelación con otros sectores	<p>Fuerte interrelación con el sector Energía, debido al tema de generación, venta y distribución eléctrica a partir de la combustión del biogás. Participación de la bioenergía en la matriz nacional aumentaría, así como también lo haría el % de ERNC.</p>
Estado del Arte Internacional	<p>EEUU. Muy avanzado en este tema, la US EPA tiene un programa completo destinado al aprovechamiento máximo de biogás (LFG) con generación eléctrica incluida. Lista de proyectos activos y candidatos a nivel nacional (US EPA, 2010). Canadá. Empresas como BFI administran rellenos sanitarios con generación eléctrica en 5 localidades diferentes, entre ellas Quebec (BFI, n.d.; Canada Government, n.d.). Además trabaja en conjunto a México y otros países (incluido Chile) para asesorarlos ingenierilmente.</p>
Información Bibliográfica	<p>BFI. (n.d.). Canadian Services. Integrated Services. Retrieved July 11, 2013, from http://www.bficanada.com/English/CanadianServices/Services/IntegratedServices/default.aspx Canada Government. (n.d.). Canada's Action on Climate Change. Landfills. Retrieved July 11, 2013, from http://www.climatechange.gc.ca/default.asp?lang=En&n=60CB860C-1 CDM Project. (n.d.). Proyectos CDM asociados al manejo y tratamiento de biogás producido en rellenos sanitarios y vertederos en Chile. Retrieved from</p>

	<p>http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html</p> <p>Congreso de Chile, B. del C. N. de C., & Ministerio de Salud y Subsecretaria de Salud Pública. Decreto Supremo N°189. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios (2008). Retrieved from http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=268137</p> <p>Consorcio Santa Marta. (n.d.). Planta quemado biogás. Retrieved July 09, 2013, from http://www.csmarta.cl/relleno-sanitario/planta-quemado-biogas/</p> <p>GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169).</p> <p>Maldonado, D. (2012, June). Biogás en Chile. Sustenta Bit. Retrieved from http://biblioteca.cchc.cl/DataFiles/26799-2.pdf</p> <p>Ministerio de Medio Ambiente. (2011). Informe del Estado del Medio Ambiente - Capitulo 3. Residuos. Retrieved from http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_3.pdf</p> <p>US EPA. (2010). Landfill Methane Outreach Program. Publications / Tools. Project Development Handbook. Retrieved July 10, 2013, from http://www.epa.gov/lmop/publications-tools/handbook.html</p> <p>US EPA. (2012). Landfill Gas Energy - A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs (pp. 1–34). Retrieved from https://www.google.cl/search?q=acre&oq=acre&aqs=chrome.0.57j65l2j60j0l2.773j0&sourceid=chrome&ie=UTF-8</p>
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	<p>La información levantada durante la modelación de esta medida es relevante y efectiva a la realidad chilena. Se ocuparon tanto estudios nacionales como internacionales para evaluar proyectos de distinta envergadura de GE a partir de biogás de RRSS.</p> <p>Tanto la EPA como GESCAM, aportan información técnica y económica que ayuda a la modelación.</p> <p>Además esta no es una alternativa de valorización de RSM tan ajena a Chile, de hecho empresas como KDM y Consorcio Santa Marta tienen proyectos que consideran la GE.</p>
Supuestos de modelación	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan de construcción de nuevos RRSS de la SUBDERE. • Captura mínima de biogás (metano) necesaria para tener 1 MW de potencia instalada, 2.283 tCH₄/año. • Año de inicio de la medida, 2014 con Stgo Poniente.

	<ul style="list-style-type: none"> • 50% de CH₄ en biogás, 0,7 kg/m³ CH₄ y GWP_{CH₄} = 21 tCO₂e/tCH₄. • Generación de biogás en RRSS varía regionalmente -según el modelo propuesto- bajo parámetros ambientales que determinan la descomposición de los RSM. • GE equivalente a 2 kWh/m³ de biogás combustionado. • Factor de planta 95% (Maldonado, 2012). • Inversión para transmisión y conexión a la red bordean los 285.000,00 USD/km. • Distancia estimada del RRSS a red eléctrica, 5 km. • Mercado eléctrico (para venta de energía). Se asume que se firma un contrato que asegura la venta de EE a \$100,00 USD/MWh. <p>Outputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión (sistema de captura de biogás, central de GE y línea de transmisión para interconexión a la red eléctrica) y de operación y mantenimiento (captura y generación), sumado a ingresos por venta de GN. • Cantidad de metano recuperado y que evita liberación a la atmósfera.
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)	Establecer sistema de monitoreo y reporte de información de los flujos de entrada de residuos, y los flujos de salida: material estabilizado, biogás y energía eléctrica a nivel nacional.

5.6.9 Aprovechamiento térmico del biogás

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Aprovechamiento térmico del biogás
<p>Descripción</p>  <p>Proyecto en <i>Veolia Cranberry Creek Landfill</i> que entrega calor de biogás a la empresa <i>Ocean Spray</i> (EPA et al., 2006)</p>	<p>La presente medida de mitigación considera un aumento de captura de biogás en RRSS y posterior venta de calor (generado con calderas a biogás) a pequeños proyectos regionales (válido para proyectos con potencial de generación eléctrica (GE) menor a 1MW y superior a 0,1 MW. Esta medida es complementaria a la medida “Generación eléctrica con biogás en rellenos sanitarios”). Algunos ejemplos o posibles aplicaciones son: industrias que requieran calor de procesos, invernaderos, secado de leña, calefacción domiciliaria, etc.</p> <p>Se contempla la instalación potencial máxima de 8 proyectos a nivel nacional, complementarios a los proyectos de GE.</p> <p>En la actualidad, en Chile no se conocen proyectos como los propuestos con esta medida de mitigación. Solo se encontró un estudio de evaluación de proyecto situado al sur de Santiago, comuna El Bosque, que en teoría alimentaría a una planta cementera de Cementos BSA (GENERA4 & UTEC, 2012).</p> <p>Inicio: 2017.</p> <p>Ejecución: Esta medida se podría implementar en paralelo con el plan de RRSS de la SUBDERE (2014-2019), pero el aprovechamiento del biogás debiera comenzar cerca del 2017, o 3 años después de la instalación del respectivo relleno sanitario, por temas de volumen de biogás generado. Plazo estimado de inicio completo: 2017-2020.</p> <p>Año de término: 2050.</p> <p>Vida útil: 20 años. Al término se da inicio a un nuevo ciclo, por lo que hay que volver a realizar la inversión asociada.</p>
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sector: Residuos Energía
Nivel de implementación	<p>Esta medida se podría implementar en RRSS donde no sea factible instalar plantas de GE (proyectos con capacidad de generación menor a 1 MW, pero también cumpliendo un cierto requerimiento energético mínimo, 0,1 MW de potencia eléctrica instalada). Lo anterior abarca las regiones I, II, III, IV, VIII, IX, XIV y X, según plan de la SUBDERE.</p> <p>Para esta evaluación no se consideran distintos niveles de</p>

	<p>penetración para esta medida. Pero si se considera la entrada paulatina de plantas de generación de energía calórica a medida que los RRSS van cumpliendo el requerimiento de generación.</p>															
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Medida solo se aplica sobre los RRSS nuevos según plan de la SUBDERE. • Descontar biogás capturado en LB por RRSS, según información del MMA (2012). • Proyectos a los que se les entregará la EC deben estar -aproximadamente- en un radio de 2 km al RRSS. • La potencial energía generada por proyecto debe ser menor a su equivalencia en energía eléctrica (EE) de 1 MW y superior a 0,1 MW. • Se venderá un 70% de la EC generada (factor de planta). 															
Información de reducción de emisiones	<p>La reducción potencial de emisiones se estima restando las emisiones generadas en la LB, con las propias de la medida o proyecto.</p> <p>LB:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existen fugas de biogás en los RRSS, estimadas en un 94% del total generado (revisión proyectos MDL). <p>Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la captura (succión activa en RRSS) a un 50% del total generado, por lo que las fugas disminuyen a un 50% (revisión proyectos MDL). • Existirá una reducción de emisiones indirecta, asociada al desplazamiento de GN (u otra fuente de energía fósil, empleada originalmente para suplir la demanda de EC; p. ej. FE GN = 1,93 kgCO₂e/m³ combustionado). <p>Resultados de modelación potencial de emisiones:</p> <table border="1" data-bbox="565 1430 1442 1698"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual 2027 (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M9, crec. medio</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>4,488</td> <td>197,32</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>4,623</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>0,135</td> <td>3,99</td> </tr> </tbody> </table> <p>Es necesario mostrar la reducción de emisiones del año 2027 y no del año de la construcción misma los nuevos RRSS -que es cuando se</p>	Ítem	Anual 2027 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)	M9, crec. medio			Emisiones medida	4,488	197,32	Emisiones LB	4,623	201,31	Reducción medida	0,135	3,99
Ítem	Anual 2027 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)														
M9, crec. medio																
Emisiones medida	4,488	197,32														
Emisiones LB	4,623	201,31														
Reducción medida	0,135	3,99														

	<p>realiza la inversión-, debido a que los residuos depositados en SEDS demorarán un par de años en degradarse y producir biogás. Además, como la entrada de los RRSS con utilización de EC es paulatina, informar la reducción de emisiones antes podría estar obviando el efecto de alguno de los proyectos. De esta forma se pretende mostrar una reducción significativa del período evaluado.</p>
<p>Información de Costos</p>	<p>Costos proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se consideran los costos de inversión y operación asociados a la captura del 50% de biogás generado en RRSS (Inversión + OyM). Estos costos se basan en los datos de estudio previo realizado por (GESCAM, 2012), encontrándose en un rango entre 1-8 MM USD dependiendo el tamaño de población cubierta (5.000-500.000 habitantes) y zona geográfica considerada (GESCAM, 2012). Para poder homologar la información -presentada en el estudio antes mencionado- con la propia del modelo y LB2013, se presenta el Anexo III donde se explica brevemente el análisis realizado para definir los costos de esta medida de mitigación. De todas maneras, los valores encontrados se expresan como inversión o costo de OyM por tonelada de metano extra capturada (al igual que MDL). Costo de inversión cercano a los \$1200 USD/tCH₄ e.cap, y costo de OyM cercano a los \$240 USD/(año-tCH₄ e.cap). Costos por distribución y venta de EC, según tamaño de proyecto (EPA, Hanson, & Strube, 2006; GENERA4 & UTEC, 2012). Se está considerando un costo promedio aproximado de 0,6 MM USD/km de gaseoducto (sistema de compresión, monitoreo y aprovechamiento del biogás). Se asume un gasoducto de largo promedio 2-3 km (industrias aledañas a los RRSS). <p>Costos LB (ahorro):</p> <ul style="list-style-type: none"> Para la línea base se considera un costo de inversión y operación para la captura del 6% de biogás en RRSS (Inversión + OyM), y se estima bajo los mismos valores mencionados anteriormente que se rescatan del estudio de GESCAM (2012). La diferencia es que se debe considerar un paso de un 0% a un 6% de captura de biogás en los RRSS. <p>Ingresos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ingresos por venta de EC, considerando para la evaluación de la presente medida, la firma de un contrato que asegura la venta de EC al 40% del precio de la EE, \$100,00 USD/MWh.

	<p>Resultados de modelación potencial económica (tasa privada del 12%, M9-1, 2 ó 3, crecimiento medio):</p> <table border="1" data-bbox="597 407 1406 907"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inversión</td> <td>4.804</td> <td>MM CLP</td> <td>2018 Una vez cada 20 años</td> </tr> <tr> <td>OyM (anual)</td> <td>564</td> <td>MM CLP/año</td> <td>2027 + Venta de EC</td> </tr> <tr> <td>VP Inversión</td> <td>2.956</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VP OyM</td> <td>2.578</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VAN Total</td> <td>-5.535</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo abatimiento</td> <td>2,89</td> <td>USD/ton CO2e</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Valor	Unidad	Comentario	Inversión	4.804	MM CLP	2018 Una vez cada 20 años	OyM (anual)	564	MM CLP/año	2027 + Venta de EC	VP Inversión	2.956	MM CLP		VP OyM	2.578	MM CLP		VAN Total	-5.535	MM CLP		Costo abatimiento	2,89	USD/ton CO2e	
Ítem	Valor	Unidad	Comentario																										
Inversión	4.804	MM CLP	2018 Una vez cada 20 años																										
OyM (anual)	564	MM CLP/año	2027 + Venta de EC																										
VP Inversión	2.956	MM CLP																											
VP OyM	2.578	MM CLP																											
VAN Total	-5.535	MM CLP																											
Costo abatimiento	2,89	USD/ton CO2e																											
Co beneficios	<p>(1) Aumenta participación de las ERNC a nivel nacional, (2) máximo aprovechamiento de los recursos existentes, (3) posible co beneficio a comunidades aledañas al proyecto, ya sea por disminución de olores (fugas) o por entrega de una fracción de la energía generada para proyectos comunitarios.</p>																												
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	<p>Dificultad a la hora de encontrar proyectos privados industriales que demanden calor de procesos cerca del radio de ~2 km al relleno. Negocio poco significativo y desconocido para los privados administradores de RRSS.</p>																												
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<p>Formar alianzas estratégicas con empresas específicas (como p.ej. cementeras, industrias de alimentos o forestales, etc.). Capacitación y formación de profesionales avanzados que puedan articular este tipo de proyectos. Incentivos extra económicos para proyectos de este tipo.</p>																												
Interrelación con otros sectores	<p>Fuerte interrelación con el sector Energía, debido al tema de generación, venta y distribución de EC. Participación de la bioenergía en la matriz nacional aumentaría, así como también lo haría el % de ERNC.</p>																												
Estado del Arte Internacional	<p>En general los proyecto similares están asociados a empresas privadas aledañas a los RRSS que requieren de calor. La USEPA en 2001, publica un artículo que expone los cambios que han experimentado las calderas para poder operar con biogás de RRSS. Ya en esa fecha, mencionan que cerca de 70 empresas en EEUU han</p>																												

	<p>adoptado esta tecnología (EPA, 2001).</p> <p>De forma más específica, se consultó una presentación sobre un proyecto desarrollado en <i>Veolia Cranberry Creek Landfill</i> (RRSS en <i>Wisconsin Rapids, WI</i>, EEUU), que entrega calor de biogás a la empresa <i>Ocean Spray Cranberry Inc</i> (EPA et al., 2006).</p>
<p>Información Bibliográfica</p>	<p>EPA, Hanson, E., & Strube, R. H. (2006). LFG utilization in steam boilers. Veolia Environmental Services. Recuperado el 10/10/2013, de http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/conf/10th/strube.pdf</p> <p>EPA. (2001). Adapting boilers to utilize landfill gas: Feasible and cost-effective (p. 2). Recuperado el 10/10/2013, de http://nepis.epa.gov/</p> <p>GENERA4, E. R., & UTEC, I. für E. und A. umweltfreundlicher. (2012). Conceptual Engineering Final Report Treatment and transportation of LFG from landfill to pozzolana drying plant. Recuperado el 10/10/2013, de http://seia.sea.gob.cl/archivos/Informe_Final_Genera4.pdf</p> <p>GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169).</p>
<p>Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida</p>	<p>La información recolectada para modelar esta medida de mitigación ha sido extraída de diversas fuentes, algunas nacionales y otra internacionales. El problema es que en Chile no existen proyectos similares operantes, y en el extranjero, no se reconoce que sea una práctica muy común.</p> <p>Puede ser que los costos tengan un sesgo a la hora de aplicar el escalamiento proporcional hacia los proyectos específicos regionales evaluados.</p> <p>Finalmente, el otro punto que se debiera tener en consideración es el mercado de la EC. No es un mercado tan regulado y definido como el de la EE, por lo que para este caso se tuvo que recurrir a un supuesto fuerte.</p>
<p>Supuestos de modelación</p>	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan de construcción de nuevos RRSS de la SUBDERE. • Captura mínima de biogás (metano) necesaria para tener 1 MW de potencia instalada, 2.283 tCH₄/año. • Año de inicio de la medida, 2018. • 50% de CH₄ en biogás, 0,7 kg/m³ CH₄ y GWP_{CH₄} = 21 tCO₂e/tCH₄. • Generación de biogás en RRSS varía regionalmente -según el

	<p>modelo propuesto- bajo parámetros ambientales que determinan la descomposición de los RSM.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversión para distribución del biogás a su destino final bordean los 0,6 MM USD/km. • Distancia estimada del RRSS a red eléctrica, 2-3 km. • PCI biogás, 4,5 kWh/m³. • Eficiencia térmica de las calderas, 70%. • Precio de venta de la EC, 40% del precio pactado de venta de EE (100 USD/MWh) (GESCAM, 2012). • Mercado eléctrico (para venta de energía). Se asume que se firma un contrato que asegura la venta de EE a \$100,00 USD/MWh. <p>Outputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión (sistema de captura de biogás y sistema de distribución) y de operación y mantenimiento (captura y venta), sumado a ingresos por venta de la EC. • Cantidad de metano recuperado y que evita liberación a la atmósfera.
<p>Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)</p>	<p>Establecer sistema de monitoreo y reporte de información de los flujos de entrada de residuos, y los flujos de salida: material estabilizado, biogás y EC a nivel nacional.</p>

5.6.10 Pelletización de RSM

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Pelletización de RSM
<p>Descripción</p>  <p style="text-align: center;">Pellets de RSM</p>	<p>Considera el aprovechamiento de los RSM nacionales (descontando regiones XIII, IX y XI por problemas ambientales en su calidad del aire) para formar pellets de RSM que serán vendidos como fuente de energía (p. ej. para plantas de generación eléctrica (GE) similares a WTE). Principalmente, las fracciones aprovechables desde un punto de vista energético serán: materia orgánica (MO), papeles y cartones (PyC), plástico, maderas, textiles y cueros (TyC). La medida pretende abarcar un tratamiento entre 0,5-1,5% de los RSM nacionales, considerando por ejemplo que EEUU cubre mediante WTE un 7% de la disposición final de sus RSM.</p> <p>Se abordará de esta forma -centralizando la GE-, debido a que la venta a particulares del pellet puede presentar problemas y barreras en torno a: i) el poder calorífico variable que se puede obtener en los pellets; ii) posibles emisiones locales de contaminantes presentes en los RSM; y iii) en torno a la factibilidad de contratos que permitan un transporte efectivo de los pellets.</p> <p>En la actualidad no existen proyectos similares en Chile.</p> <p>Inicio: 2018.</p> <p>Ejecución: Al igual que la medida 11 (WTE), para poder tener GE con pellets de RSM, deben aprobarse proyectos bajo los requisitos del SEA, superarse algunas barreras tecnológicas, económicas y de logística, además de conseguir la conexión a la red de distribución de energía eléctrica (EE). Por estas razones, se propone un inicio paulatino de esta medida, comenzando con 2 proyectos piloto en la V y VI región, para luego expandir al resto del país entre los años 2021-2024.</p> <p>Año de término: 2050.</p> <p>Vida útil: 20 años. Al término se da inicio a un nuevo ciclo, por lo que hay que volver a realizar la inversión asociada.</p>
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sector: Residuos Energía
Nivel de implementación	Esta medida se podría implementar en regiones y ciudades donde no existan problemas de calidad del aire, por lo que se descartarán la XIII, IX y XI, por problemas en Santiago, Temuco y Coyhaique, respectivamente.

	<p>Potencialmente se podrían instalar cerca de 12 plantas a lo largo del país, con una generación total estimada de 11,14 MW. La siguiente tabla resume la implementación potencial:</p> <table border="1" data-bbox="691 407 1317 1010"> <thead> <tr> <th>Región</th> <th>Año de entrada en operación</th> <th>Cantidad de máquinas pelletizadoras</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>XV</td><td>2024</td><td>5</td></tr> <tr><td>I</td><td>2024</td><td>3</td></tr> <tr><td>II</td><td>2024</td><td>6</td></tr> <tr><td>III</td><td>2021</td><td>3</td></tr> <tr><td>IV</td><td>2021</td><td>7</td></tr> <tr><td>V</td><td>2018</td><td>17</td></tr> <tr><td>VI</td><td>2018</td><td>8</td></tr> <tr><td>VII</td><td>2021</td><td>8</td></tr> <tr><td>VIII</td><td>2021</td><td>17</td></tr> <tr><td>XIV</td><td>2024</td><td>4</td></tr> <tr><td>X</td><td>2024</td><td>6</td></tr> <tr><td>XII</td><td>2024</td><td>5</td></tr> </tbody> </table> <p>Los niveles de penetración a considerar serán según la cobertura, esto quiere decir que se tratará un 0,5 o 1,5% de los RSM con esta tecnología.</p>	Región	Año de entrada en operación	Cantidad de máquinas pelletizadoras	XV	2024	5	I	2024	3	II	2024	6	III	2021	3	IV	2021	7	V	2018	17	VI	2018	8	VII	2021	8	VIII	2021	17	XIV	2024	4	X	2024	6	XII	2024	5
Región	Año de entrada en operación	Cantidad de máquinas pelletizadoras																																						
XV	2024	5																																						
I	2024	3																																						
II	2024	6																																						
III	2021	3																																						
IV	2021	7																																						
V	2018	17																																						
VI	2018	8																																						
VII	2021	8																																						
VIII	2021	17																																						
XIV	2024	4																																						
X	2024	6																																						
XII	2024	5																																						
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Medida cubriría el tratamiento del 3,5% de los RSM del país (en base al 7% de EEUU en WTE). • Porcentajes de la composición de los RSM constantes para todas las regiones. • Contrato constante que fija el precio de venta de la EE. • Pelletizadoras de RSM similares a máquinas pelletizadoras de maderas y restos vegetales. • Es necesario secar los RSM para que puedan ser pelletizados. 																																							
Información de reducción de emisiones	<p>La reducción potencial de emisiones se estima restando las emisiones generadas en la LB, con las propias de la medida o proyecto.</p> <p>LB (CDM Project, n.d.):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existen fugas de biogás en los RRSS, estimadas en un 94% del total generado (revisión proyectos MDL). Solo para la fracción de MO y PyC. <p>Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emisiones asociadas a la producción y quema de pellets (FE = 																																							

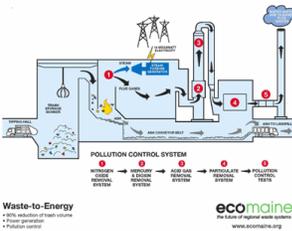
	<p>0,5 tonCO₂e/tonRSM) (Martínez-Blanco et al., 2010).</p> <ul style="list-style-type: none"> Existirá una reducción de emisiones indirecta, asociada al desplazamiento de combustibles fósiles. <p>Resultados de modelación potencial de emisiones:</p> <table border="1" data-bbox="609 485 1398 770"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>4,433</td> <td>201,20</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>4,435</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>0,002</td> <td>0,11</td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Anual (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)	Emisiones medida	4,433	201,20	Emisiones LB	4,435	201,31	Reducción medida	0,002	0,11									
Ítem	Anual (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)																				
Emisiones medida	4,433	201,20																				
Emisiones LB	4,435	201,31																				
Reducción medida	0,002	0,11																				
Información de Costos	<p>Costos proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> Inversión en planta tipo WTE + Inversión en máquinas pelletizadoras (en base a información levantada en: estudios internacionales sobre WTE y evaluación de proyectos PUC, respectivamente). P. ej. tabla de costos internacionales en WTE (Murphy & McKeogh, 2004): <table border="1" data-bbox="699 1125 1308 1413"> <thead> <tr> <th>País</th> <th>Tamaño</th> <th>Inversión</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>k tpa</th> <th>€/tpa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G. Bretaña, Irlanda y N. América</td> <td>120</td> <td>560</td> </tr> <tr> <td></td> <td>420</td> <td>430</td> </tr> <tr> <td>Dinamarca</td> <td>40</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td></td> <td>230</td> <td>560</td> </tr> <tr> <td>Alemania</td> <td>450</td> <td>1030</td> </tr> </tbody> </table> Costos de OyM asociados a la producción de pellets (en base a información levantada en evaluación de proyectos PUC). <p>Costos LB (ahorro):</p> <ul style="list-style-type: none"> Costos por disposición de los RSM en SEDS (\$8.000/ton RSM llevado a SEDS). <p>Ingresos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ingresos por venta de pellets. <p>Resultados de modelación potencial económica:</p>	País	Tamaño	Inversión	Nombre	k tpa	€/tpa	G. Bretaña, Irlanda y N. América	120	560		420	430	Dinamarca	40	650		230	560	Alemania	450	1030
País	Tamaño	Inversión																				
Nombre	k tpa	€/tpa																				
G. Bretaña, Irlanda y N. América	120	560																				
	420	430																				
Dinamarca	40	650																				
	230	560																				
Alemania	450	1030																				

	Ítem	Valor	Unidad	Comentario
	Inversión	\$ 100.710	MM CLP	Una vez cada 20 años
	OyM (anual)	-\$ 4.751	MM CLP/año	+ Evita ir relleno + EE
	VP Inversión	\$ 78.197	MM CLP	
	VP OyM	-\$ 41.275	MM CLP	
	VAN Total	-\$ 36.922	MM CLP	
	Costo abatimiento	\$ 209,22	USD/ton CO2e	
	Resulta ser la medida más costosa al estar vinculada a los costos de WTE.			
Co beneficios	Reducción del volumen de RSM que van a parar a SEDS. Los países europeos están teniendo problemas con las superficies de terreno que cubren los SEDS, por lo que alternativas como WTE o pelletización para ellos resultan más ventajosas. Desplazamiento de EE generada con combustibles fósiles.			
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	Emisiones de contaminantes locales a partir de la combustión de RSM. Humedad con que llegan los RSM podría hacer más costosa aún la medida de mitigación.			
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	Tecnologías de filtrado y captura del material particulado fino emitido por las centrales GE a partir de pellets de RSM. Acotar más aún la medida, a zonas del país donde la humedad y precipitaciones anuales promedio no afecte la rentabilidad de la medida.			
Interrelación con otros sectores	Fuerte interrelación con el sector Energía, debido a la venta y distribución de un producto combustible.			
Estado del Arte Internacional	Un caso de producción de pellets a partir de RSM es la planta de la empresa Lakeside Energy conocida como <i>Dongara Pellet Plant</i> en Toronto, Ontario, Canadá. Con una inversión de USD 43.000,0 MM y un contrato por 20 años, es capaz de tratar 200.000 tonRSM/año de la región de York (Energy, n.d.).			
Información Bibliográfica	CDM Project. (n.d.). Proyectos CDM asociados al manejo y tratamiento de biogás producido en rellenos sanitarios y vertederos en Chile. Retrieved from http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html Energy, L. (n.d.). Dongara Pellet Plant. Lakeside Energy. Retrieved			

	<p>from http://www.lakesideenergy.com/investments/dongara-pellet-lp</p> <p>Martínez-Blanco, J., Colón, J., Gabarrell, X., Font, X., Sánchez, A., Artola, A., & Rieradevall, J. (2010). The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. <i>Waste management (New York, N.Y.)</i>, 30(6), 983–94. doi:10.1016/j.wasman.2010.02.023</p> <p>Murphy, J. D., & McKeogh, E. (2004). Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. <i>Renewable Energy</i>, 29(7), 1043–1057. doi:10.1016/j.renene.2003.12.002</p> <p>Poletto, J. A., & Silva, L. (2009). Influencia de la Separación de Residuos Sólidos Urbanos para Reciclaje en el Proceso de Incineración con Generación de Energía Influence of the Separation of Municipal Solid Wastes to Recycling in the Incineration Process with Energy Generation, 20(2), 105–112. doi:10.1612/inf.tecnol.4062it.08</p>												
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	<p>Con respecto a la presente medida, se reconoce que la información consultada proviene de diversas fuentes internacionales y de otro producto (pellets de madera), por lo que probablemente los resultados de esta medida no sea tan representativos de la realidad. Se tuvo que hacer de esta forma, ya que la pelletización no es una alternativa de valorización de RSM madura en Chile. Pero a pesar de lo anterior, los resultados sirven para tener una idea del potencial de mitigación y de las consideraciones a tomar si se quisiera abordar un proyecto de pelletización de RSM en el país.</p>												
Supuestos de modelación	<ul style="list-style-type: none"> Considerar los siguientes poderes caloríficos inferiores (PCI) (Poletto & Silva, 2009): <table border="1" data-bbox="841 1339 1170 1629"> <thead> <tr> <th>Fracción</th> <th>PCI kcal/kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MO</td> <td>700</td> </tr> <tr> <td>PyC</td> <td>2500</td> </tr> <tr> <td>Plástico</td> <td>5000</td> </tr> <tr> <td>TyC</td> <td>3400</td> </tr> <tr> <td>Madera</td> <td>4300</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> Eficiencia de conversión a EE con pellets de RSM, $\eta = 30\%$. 6% de captura y quema mínima asumida para la LB en rellenos sanitarios. 50% de CH₄ en biogás, 0,7 kg/m³ CH₄ y GWPC_{H4} = 21 tCO₂e/tCH₄. 	Fracción	PCI kcal/kg	MO	700	PyC	2500	Plástico	5000	TyC	3400	Madera	4300
Fracción	PCI kcal/kg												
MO	700												
PyC	2500												
Plástico	5000												
TyC	3400												
Madera	4300												

	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de biogás en RRSS, 80 m³/tonRSM tratado. • Costos por disposición de los RSM en SEDS (\$8.000/ton RSM llevado a SEDS). • Precio de venta del pellet de RSM, \$20 CLP/kg, en base a evaluación de proyecto de pellets de madera. Comparando PCIs y recepción del producto por parte de la ciudadanía.
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)	Monitoreo y registro de: a) los flujos de RSM que entran a las plantas de procesamiento; b) los flujos de salida de cenizas con destino final SEDS; c) GE y eficiencias de planta; d) emisiones de gases contaminantes locales; entre otras variables.

5.6.11 Incineración de RSM

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Incineración de RSM
<p>Descripción</p>  <p>Fuente: Ecomaine, "Waste-To-Energy Plant"</p>	<p>Considera el aprovechamiento de los RSM nacionales (descontando regiones XIII, IX y XI por problemas ambientales en su calidad del aire) en plantas incineradoras con generación eléctrica (GE). Principalmente, las fracciones aprovechables desde un punto de vista energético serán: materia orgánica (MO), papeles y cartones (PyC), plástico, maderas, textiles y cueros (TyC). La medida pretende abarcar un tratamiento del 7% de los RSM nacionales, emulando la fracción que se trata en EEUU por medio de incineración (Haaren, Themelis, Goldstein, & Mountain, 2010). En la actualidad no existen proyectos similares en Chile.</p> <p>Inicio: 2018.</p> <p>Ejecución: Para poder tener GE a partir de RSM, deben aprobarse proyectos bajo los requisitos del Sistema de Evaluación Ambiental (SEA), superarse algunas barreras tecnológicas, económicas y de logística, además de conseguir la conexión a la red de distribución de energía eléctrica (EE). Por estas razones, se propone un inicio paulatino de esta medida, comenzando con 2 proyectos piloto en el año 2018 en la V y VI región, para luego expandir al resto del país entre los años 2021-2024.</p> <p>Año de término: 2050.</p> <p>Vida útil: 20 años. Al término se da inicio a un nuevo ciclo, por lo que hay que volver a realizar la inversión asociada.</p>

Contexto	Según reunión establecida con funcionarios del Ministerio de Medio Ambiente (MMA), el equipo consultor se entera de que el MMA había recibido proyectos e interesados (nacionales e internaciones) para desarrollar tecnologías de incineración de RSM en Chile. Pero luego todas estas iniciativas fueron descartadas por un tema de costos. Según recomendación del MMA, esta es una tecnología muy costosa según los precios de disposición actuales en Chile.																																							
Universo	Sectorial																																							
Sectores y subsectores	Sector: Residuos Energía																																							
Nivel de implementación	<p>Esta medida se podría implementar en regiones y ciudades donde no existan problemas de calidad del aire, por lo que se descartarán la XIII, IX y XI, por problemas en Santiago, Temuco y Coyhaique, respectivamente.</p> <p>Potencialmente se podrían instalar cerca de 12 plantas a lo largo del país, con una generación total estimada de 20 MW. La siguiente tabla resume la implementación potencial:</p> <table border="1" data-bbox="750 951 1256 1568"> <thead> <tr> <th>Región</th> <th>Año de entrada en operación</th> <th>Capacidad instalada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>XV</td><td>2024</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>I</td><td>2024</td><td>0,65</td></tr> <tr><td>II</td><td>2024</td><td>1,29</td></tr> <tr><td>III</td><td>2021</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>IV</td><td>2021</td><td>1,49</td></tr> <tr><td>V</td><td>2018</td><td>4,02</td></tr> <tr><td>VI</td><td>2018</td><td>1,85</td></tr> <tr><td>VII</td><td>2021</td><td>1,73</td></tr> <tr><td>VIII</td><td>2021</td><td>3,97</td></tr> <tr><td>XIV</td><td>2024</td><td>0,83</td></tr> <tr><td>X</td><td>2024</td><td>1,38</td></tr> <tr><td>XII</td><td>2024</td><td>1,21</td></tr> </tbody> </table> <p>Los niveles de penetración contemplados, se asocian al porcentaje de RSM tratados mediante esta medida. Particularmente, se modelará el aprovechamiento de un 5, 10 y 15% de los RSM que aún se encuentran sin valorización a nivel nacional.</p>	Región	Año de entrada en operación	Capacidad instalada	XV	2024	1,00	I	2024	0,65	II	2024	1,29	III	2021	0,62	IV	2021	1,49	V	2018	4,02	VI	2018	1,85	VII	2021	1,73	VIII	2021	3,97	XIV	2024	0,83	X	2024	1,38	XII	2024	1,21
Región	Año de entrada en operación	Capacidad instalada																																						
XV	2024	1,00																																						
I	2024	0,65																																						
II	2024	1,29																																						
III	2021	0,62																																						
IV	2021	1,49																																						
V	2018	4,02																																						
VI	2018	1,85																																						
VII	2021	1,73																																						
VIII	2021	3,97																																						
XIV	2024	0,83																																						
X	2024	1,38																																						
XII	2024	1,21																																						
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> Medida cubriría el tratamiento del 7% de los RSM del país (en base al 7% de cobertura por medio de incineración en EEUU) 																																							

	<p>(Haaren et al., 2010).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contrato constante que fija el precio de venta de la EE. • En este tipo de plantas es muy importante tratar de inertizar los gases emitidos a la atmósfera. Se asume que todas las plantas tendrán las etapas y equipos necesarios para el efectivo tratamiento de los gases provenientes de la combustión de los RSM. 												
Información de reducción de emisiones	<p>La reducción potencial de emisiones se estima restando las emisiones generadas en la LB, con las propias de la medida o proyecto.</p> <p>LB (CDM Project, n.d.):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existen fugas de biogás en los RRSS, estimadas en un 94% del total generado (revisión proyectos MDL). Solo para la fracción de MO y PyC. <p>Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emisiones asociadas a la incineración de RSM (FE = 0,5 tonCO₂e/tonRSM)(Obermoser, Fellner, & Rechberger, 2009). • Existirá una reducción de emisiones indirecta, asociada al desplazamiento de EE de la red nacional (FE SIC = 0,39 tonCO₂e/MWh) (Ministerio de Energía, 2012). <p>Resultados de modelación potencial de emisiones:</p> <table border="1" data-bbox="599 1150 1406 1398"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>4,165</td> <td>187,26</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>4,435</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>0,270</td> <td>14,05</td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Anual (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)	Emisiones medida	4,165	187,26	Emisiones LB	4,435	201,31	Reducción medida	0,270	14,05
Ítem	Anual (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)											
Emisiones medida	4,165	187,26											
Emisiones LB	4,435	201,31											
Reducción medida	0,270	14,05											
Información de Costos	<p>Costos proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversión y OyM en planta de incineración de RSM (en base a información levantada en estudios internacionales) (Murphy & McKeogh, 2004): <table border="1" data-bbox="596 1673 1409 1833"> <thead> <tr> <th>País</th> <th>Tamaño</th> <th>Inversión</th> <th>OyM</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>Miles de ton/año</th> <th>€/((ton/año)</th> <th>€/((ton/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G. Bretaña, Irlanda</td> <td>120</td> <td>560</td> <td>42</td> </tr> </tbody> </table>	País	Tamaño	Inversión	OyM	Nombre	Miles de ton/año	€/((ton/año)	€/((ton/año)	G. Bretaña, Irlanda	120	560	42
País	Tamaño	Inversión	OyM										
Nombre	Miles de ton/año	€/((ton/año)	€/((ton/año)										
G. Bretaña, Irlanda	120	560	42										

y N. América	420	430	28
Dinamarca	40	650	48,8
	230	560	36,5
Alemania	450	1030	67

- Los costos de inversión para transmisión y conexión a la red bordean los 285.000,00 USD/km (GESCAM, 2012). Se supone una línea de conexión promedio de 20 km para todos los proyectos. Valores confirmados con el equipo consultor del sector de generación de energía de MAPS.

Costos LB (ahorro):

- Costos por disposición de los RSM en SEDS (\$8.000/ton RSM llevado a SEDS) (Consejo de Alcaldes, 2008).

Ingresos:

- Ingresos por venta de EE, en base a supuestos de modelación (GESCAM, 2012).

Resultados de modelación potencial económica (tasa privada del 12%, M11-1, 2 ó 3, crecimiento medio):

Ítem	Valor	Unidad	Comentario
Inversión	405.100	MM CLP	M11-2 Una vez cada 20 años
OyM (anual)	1.696	MM CLP/año	2025 M11-2 + Evita ir relleno + EE.
VP Inversión	210.935	MM CLP	
VP OyM	8.488	MM CLP	
VAN Total	-219.423	MM CLP	
Costo abatimiento	32,54	USD/ton CO ₂ e	

Como se puede apreciar, el costo de abatimiento de la incineración es uno de los más altos dentro de las medidas de mitigación

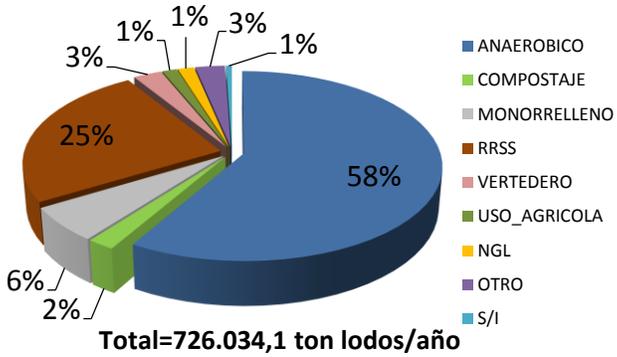
	abordadas en este informe.
Co beneficios	Reducción del volumen de RSM que van a parar a SEDS. Los países europeos están teniendo problemas con las superficies de terreno que cubren los SEDS, por lo que alternativas como incineración o pelletización para ellos resultan más ventajosas. Desplazamiento de EE generada con combustibles fósiles.
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	Emisiones de contaminantes locales a partir de la combustión de RSM. Humedad con que llegan los RSM podría hacer más costosa aún la medida de mitigación.
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	Tecnologías de filtrado y captura del material particulado fino emitido por las centrales GE incineración. Acotar más aún la medida, a zonas del país donde la humedad y precipitaciones anuales promedio no afecte la rentabilidad de la medida.
Interrelación con otros sectores	Fuerte interrelación con el sector Energía, debido al tema de generación, venta y distribución eléctrica a partir de la combustión de los RSM.
Estado del Arte Internacional	EEUU. Es la 3era alternativa de valorización de los RSM a nivel nacional (7,4% equivalente a 26,3 MM ton RSM/año), cubriendo a una población que bordea los 30 MM de habitantes, con 88 plantas con GE (Haaren et al., 2010; Psomopoulos, Bourka, & Themelis, 2009).
Información Bibliográfica	CDM Project. (n.d.). Proyectos CDM asociados al manejo y tratamiento de biogás producido en rellenos sanitarios y vertederos en Chile. Retrieved from http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html Consejo de Alcaldes, C. de R. (2008). Sobre el contrato con KDM SA - Tratamiento intermedio y disposición final de residuos sólidos municipales (RSM). Santiago, Chile. Retrieved from http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/informe-contrato-kdm-consejo-de-alcaldes-cerros-de-renca.pdf GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169). Haaren, R. Van, Themelis, N., Goldstein, N., & Mountain, R. (2010). The state of garbage in america. BIOCYCLE, 17th. Retrieved from http://www.biocycle.net/images/art/1010/bc101016_s.pdf Ministerio de Energía. (2012). Factores de emisión SIC y SING.

	<p>Ministerio de Energía. Retrieved October 14, 2013, from http://huelladecarbono.minenergia.cl/</p> <p>Murphy, J. D., & McKeogh, E. (2004). Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. <i>Renewable Energy</i>, 29(7), 1043–1057. doi:10.1016/j.renene.2003.12.002</p> <p>Obermoser, M., Fellner, J., & Rechberger, H. (2009). Determination of reliable CO2 emission factors for waste-to-energy plants. <i>Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA</i>, 27(9), 907–13. doi:10.1177/0734242X09349763</p> <p>Poletto, J. A., & Silva, L. (2009). Influencia de la Separación de Residuos Sólidos Urbanos para Reciclaje en el Proceso de Incineración con Generación de Energía Influence of the Separation of Municipal Solid Wastes to Recycling in the Incineration Process with Energy Generation, 20(2), 105–112. doi:10.1612/inf.tecnol.4062it.08</p> <p>Psomopoulos, C. S., Bourka, a, & Themelis, N. J. (2009). Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. <i>Waste management (New York, N.Y.)</i>, 29(5), 1718–24. doi:10.1016/j.wasman.2008.11.020</p>													
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	<p>Con respecto a la presente medida, se reconoce que la información consultada proviene de diversas fuentes internacionales, por lo que probablemente los resultados de esta medida no sean tan representativos de la realidad chilena. Se tuvo que hacer de esta forma, ya que la incineración no es una alternativa madura -en la actualidad- de valorización de RSM.</p> <p>Pero a pesar de lo anterior, los resultados sirven para tener una idea del potencial de mitigación y de las consideraciones a tomar si se quisiera abordar un proyecto de incineración de RSM en el país.</p>													
Supuestos de modelación	<ul style="list-style-type: none"> Considerar los siguientes poderes caloríficos inferiores (PCI) (Poletto & Silva, 2009): <table border="1" data-bbox="841 1495 1169 1780"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Fracción</th> <th>PCI</th> </tr> <tr> <th>kcal/kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MO</td> <td>700</td> </tr> <tr> <td>PyC</td> <td>2500</td> </tr> <tr> <td>Plástico</td> <td>5000</td> </tr> <tr> <td>TyC</td> <td>3400</td> </tr> <tr> <td>Madera</td> <td>4300</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> Eficiencia de conversión a EE con RSM, $\eta = 27\%$. 	Fracción	PCI	kcal/kg	MO	700	PyC	2500	Plástico	5000	TyC	3400	Madera	4300
Fracción	PCI													
	kcal/kg													
MO	700													
PyC	2500													
Plástico	5000													
TyC	3400													
Madera	4300													

	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de planta, 75%, similar a centrales a carbón. • Mercado eléctrico (para venta de energía). Se asume que se firma un contrato que asegura la venta de EE a \$100,00 USD/MWh (GESCAM, 2012). • 6% de captura y quema mínima asumida para la LB en rellenos sanitarios (en base a revisión de proyectos MDL) (CDM Project, n.d.). • 50% de CH₄ en biogás, 0,7 kg/m³ CH₄ y GWPC_{H4} = 21 tCO₂e/tCH₄. • Generación de biogás en RRSS varía regionalmente -según el modelo propuesto- bajo parámetros ambientales que determinan la descomposición de los RSM.
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)	Monitoreo y registro de: a) los flujos de RSM que entran a las plantas de procesamiento; b) los flujos de salida de cenizas con destino final SEDS; c) GE y eficiencias de planta; d) emisiones de gases contaminantes locales; entre otras variables.

5.6.12 Compostaje de lodos domiciliarios

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Compostaje Aeróbico de Lodos de PTAS
<p>Descripción</p>  <p>Ejemplo de compostaje de lodos en pilas a pequeña escala.</p>	<p>Esta medida considera el aprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) a nivel nacional que en la actualidad no reciben tratamiento de estabilización (aerobio o anaerobio) antes de ser llevados a RRSS. Se propone enviar los lodos generados a compost. Los lodos deben mezclarse con un agente abultante para poder producir el compost, que tendría como destino final su uso directo sobre suelos de distinta índole.</p> <p>El compost que se obtiene de este proceso puede ser utilizado como fertilizante o enmienda de suelos, desplazando así el uso de fertilizantes convencionales (Huerta, 2004). Esta medida contribuiría a disminuir el volumen de residuos que llegan a SEDS y las emisiones indirectas producidas por el uso de fertilizantes convencionales sobre el suelo.</p> <p>Otra alternativa de implementación es utilizar los lodos en otras plantas de compostaje existentes, resguardando los aspectos sanitarios.</p>

	<p>Año de inicio: Se propone implementar esta medida a partir del año 2023, dados los plazos de ingeniería, diseño, construcción e instalación de las PC, modificación de normas y legislación en torno al empleo de lodos sobre suelos, preparación y aprobación de documentos necesarios del SEA.</p> <p>Se propone que la medida completa sea implementada entre los años 2023-2029.</p> <p>Año de término: 2050.</p>																				
	<p>Vida útil: 20 años. Después de este período se debe volver a invertir en los equipos que desarrollan este tratamiento.</p>																				
Contexto	<p>En la actualidad, el mayor porcentaje de los lodos provenientes de PTAS es tratado mediante digestión anaerobia.</p> <p>La siguiente práctica más común a nivel nacional es disponer los lodos -sin tratamiento biológico de estabilización- en RRSS o mono-rellenos, donde los lodos son encalados y no debieran generar emisiones de GEI (ver gráfico a continuación).</p> <div data-bbox="690 882 1307 1239" data-label="Figure">  <table border="1"> <caption>Distribución de lodos por método de tratamiento</caption> <thead> <tr> <th>Método de Tratamiento</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ANAEROBICO</td> <td>58%</td> </tr> <tr> <td>COMPOSTAJE</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>MONORRELLENO</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>RRSS</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>VERTEDERO</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>USO_AGRICOLA</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>NGL</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>OTRO</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>S/I</td> <td>1%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Total=726.034,1 ton lodos/año</p> <p>Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2012)</p> <p>Por lo tanto, si se descuentan las fracciones tratadas mediante digestión anaerobia y compostaje, para la presente medida queda un potencial de valorización de 287.320,5 ton lodos/año.</p> </div>	Método de Tratamiento	Porcentaje	ANAEROBICO	58%	COMPOSTAJE	6%	MONORRELLENO	3%	RRSS	25%	VERTEDERO	3%	USO_AGRICOLA	2%	NGL	1%	OTRO	1%	S/I	1%
Método de Tratamiento	Porcentaje																				
ANAEROBICO	58%																				
COMPOSTAJE	6%																				
MONORRELLENO	3%																				
RRSS	25%																				
VERTEDERO	3%																				
USO_AGRICOLA	2%																				
NGL	1%																				
OTRO	1%																				
S/I	1%																				
Universo	Sectorial																				
Sectores y subsectores	Sector Residuos Agrícola																				
Nivel de implementación	<p>En preferencia se deberá implementar esta medida en áreas rurales donde exista buena disponibilidad de residuos agrícolas que podrían servir como agente abultante.</p> <p>Además se calculará el potencial de lodos a tratar con la medida y se considerará la instalación de una planta de compostaje por región. La siguiente tabla resume los años de inicio y los volúmenes de procesamiento de cada PC:</p>																				

	Región	Año de entrada de operación	Capacidad de tratamiento (ton lodo bh/año)	Compost producido (ton/año)
	XV	2023	588,9	98,1
	I	2023	1.152,6	192,1
	II	2025	9.494,1	1.582,4
	III	2025	13.849,5	2.308,3
	IV	2027	6.865,6	1.144,3
	V	2027	21.124,1	3.520,7
	XIII	2029	16.179,1	2.696,5
	VI	2029	37.940,5	6.323,4
	VII	2029	78.659,7	13.110,0
	VIII	2027	49.519,9	8.253,3
	IX	2027	13.458,5	2.243,1
	XIV	2025	9.922,5	1.653,7
	X	2025	18.209,3	3.034,9
	XI	2023	4.691,3	781,9
	XII	2023	5.664,9	944,1
	total	2023-2029	287.320,5	47.886,7

Esta medida no contempla niveles de implementación.

Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Dado que para realizar compostaje se necesita mezclar los lodos con otro tipo de materia orgánica (agente abultante), se supone que esta medida se implementará en las cercanías a industrias de celulosa o alimentos de tamaño medio (Huerta, 2004). • La medida es aplicable a nivel nacional (GESCAM, 2012). • Los lodos encalados no emiten GEI (recomendación de expertos). • Las mismas tecnologías de compostaje descritas en la medida 3 serán consideradas en la presente.
Información de reducción de emisiones	<p>La reducción potencial de emisiones se estima restando las emisiones generadas en la LB, con las propias de la medida o proyecto.</p> <p>LB:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0 ton CO₂e/año. No se consideran emisiones en LB para los lodos provenientes de PTAS, ya que su destino son los SEDS (encalados, no emiten) o el mar a través de emisarios submarinos. <p>Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emisiones asociadas a la producción y tratamiento de los lodos por medio de compostaje (FE = 0,177 tonCO₂e/ton lodo

	<p>tratado) (IPCC, 2006).</p> <p>Resultados de modelación potencial de emisiones:</p> <table border="1" data-bbox="656 365 1351 651"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual (MMton CO2e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO2e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>4,4354</td> <td>201,51</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>4,435</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>-0,0004</td> <td>-0,2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Lo que muestra que en términos de reducción de emisiones, esta no es una medida para el sector residuos, ya que no reduce emisiones directas sino que emite.</p> <p>Por otra parte, si podría existir una reducción de emisiones indirecta (no informada en esta ficha), asociada al desplazamiento de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enmiendas de suelo artificiales (FE = 0,3 tonCO2e/ton compost vendido) (Boldrin, Andersen, Møller, Christensen, & Favoino, 2009; Rivera, 2010). 	Ítem	Anual (MMton CO2e/año)	Período de evaluación (MMton CO2e)	Emisiones medida	4,4354	201,51	Emisiones LB	4,435	201,31	Reducción medida	-0,0004	-0,2
Ítem	Anual (MMton CO2e/año)	Período de evaluación (MMton CO2e)											
Emisiones medida	4,4354	201,51											
Emisiones LB	4,435	201,31											
Reducción medida	-0,0004	-0,2											
Información de Costos	<p>Se utilizarán los mismos costos que para las plantas de compostaje en Chile definidas por GESCAM (2012), y además se considera la información de algunos proyectos internacionales. En España, por ejemplo, la inversión tiene un valor de 4,8 MM de USD para tratar casi 1000 ton de lodos al mes (Martínez A., Blázquez, S., Moré & 2Saña Vilaseca, J., 3Borderías Blasco, 2012). En cuanto a la operación, los principales costos están asociados a la aireación y ventilación y a la adquisición o transporte del agente abultante que puede ser aserrín, residuos verdes, residuos de alimentos, agroindustriales, etc. (~70 USD/ton) (Wei, Fan, & Wang, 2001).</p> <p>Resultados de modelación potencial económica:</p> <table border="1" data-bbox="623 1474 1383 1801"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inversión</td> <td>\$ 1.118</td> <td>MM CLP</td> <td>Una vez cada 20 años</td> </tr> <tr> <td>OyM (anual)</td> <td>\$ 138</td> <td>MM CLP/año</td> <td>+ Evita ir relleno + venta compost</td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Valor	Unidad	Comentario	Inversión	\$ 1.118	MM CLP	Una vez cada 20 años	OyM (anual)	\$ 138	MM CLP/año	+ Evita ir relleno + venta compost
Ítem	Valor	Unidad	Comentario										
Inversión	\$ 1.118	MM CLP	Una vez cada 20 años										
OyM (anual)	\$ 138	MM CLP/año	+ Evita ir relleno + venta compost										

	<table border="1"> <tr> <td>VP Inversión</td> <td>\$ 601</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VP OyM</td> <td>\$ 751</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VAN Total</td> <td>-\$ 1.352</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo abatimiento</td> <td>-\$ 13,89</td> <td>USD/ton CO2e</td> <td></td> </tr> </table>	VP Inversión	\$ 601	MM CLP		VP OyM	\$ 751	MM CLP		VAN Total	-\$ 1.352	MM CLP		Costo abatimiento	-\$ 13,89	USD/ton CO2e	
VP Inversión	\$ 601	MM CLP															
VP OyM	\$ 751	MM CLP															
VAN Total	-\$ 1.352	MM CLP															
Costo abatimiento	-\$ 13,89	USD/ton CO2e															
	<p>Notar que el costo de abatimiento es negativo, pero esto no quiere decir que sea un ingreso. Lo que pasó en este caso, es que al ser negativa la reducción de emisiones, el costo de abatimiento se vuelve negativo.</p>																
Co beneficios	<p>El compost mejora la absorción del suelo de nutrientes y agua, mejorando así la productividad y la calidad de los productos obtenidos en la agricultura. Por otra parte, el desplazamiento de fertilizantes químicos disminuirá la emisión de contaminantes locales y globales propios de estos productos. Además disminuirán las emisiones de malos olores y contaminantes locales provocados por la degradación de los lodos. Disminución del terreno empleado en SEDS.</p>																
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	<p>Disponibilidad de biomasa para la mezcla a compostar. Otra posible barrera es la dificultad de incorporar el compost de lodos al mercado de los fertilizantes y enmiendas.</p>																
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<p>Buscar socios estratégicos que sean productores de biomasa para mezcla con lodos. Capacitaciones y material informativo que muestre los beneficios de este tipo de tratamiento.</p>																
Interrelación con otros sectores	<p>Esta medida se interrelaciona con los sectores silvoagropecuario e industrial, mediante el compost que puede ser utilizado como fertilizante o enmienda de suelo.</p>																
Estado del Arte Internacional	<p>La experiencia internacional en el tema es amplia, registrándose casos en España, Italia, Francia, EEUU y también en Chile. En España se llevó a cabo el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de aguas Residuales 2001-2006 en donde se logró reducir en un 20% la masa de lodos depositadas en vertederos (Donoso, 2003). Este plan contemplaba distintos tipos de tratamiento entre ellos compostaje. Un ejemplo de esto es la planta de Azarusi en donde se tratan parte de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas depuradas del poblado de la Comarca de Pamplona (Martínez A., Blázquez, S., Moré & Saña Vilaseca, J., Borderías Blasco, 2012). En Chile, la empresa ESVAL también trata 580 ton al mes de lodos provenientes de las plantas de La Ligua, Los Andes, San Felipe y</p>																

Información Bibliográfica	<p>Quillota (Donoso, 2003).</p> <p>Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. <i>Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA</i>, 27(8), 800–12. doi:10.1177/0734242X09345275</p> <p>Donoso, R. (2003). Manejo de Lodos: La Experiencia de Esvál.</p> <p>GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169).</p> <p>Huerta, O. (2004). Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas, 1–9.</p> <p>IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.</p> <p>Martínez A., Blázquez, S., Moré, J. C., & Sañá Vilaseca, J., Borderías Blasco, S. (2012). Reportaje Planta de compostaje de lodos de Arazuri (Pamplona), 28–36.</p> <p>Rivera, M. (2010). PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO Y BIOGÁS MEDIANTE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA DE LODOS ACTIVOS.</p> <p>Wei, Y.-S., Fan, Y.-B., & Wang, M.-J. (2001). A cost analysis of sewage sludge composting for small and mid-scale municipal wastewater treatment plants. <i>Resources, Conservation and Recycling</i>, 33(3), 203–216. doi:10.1016/S0921-3449(01)00087-8</p>																
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	<p>A nivel internacional existe buena información acerca de tecnologías apropiadas y requerimientos de instalación y costos.</p> <p>Por otra parte, a nivel nacional la información es más escasa, ya que no es una técnica muy utilizada o desarrollada y son pocas las empresas que la utilizan.</p>																
Supuestos de modelación	<ul style="list-style-type: none"> Considerar las siguientes tasas de generación de lodos según tecnología de tratamiento (MMA, 2012): <table border="1" data-bbox="667 1457 1338 1814"> <thead> <tr> <th>Tecnología</th> <th>gr de lodo humedo/ m3 de agua tratada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BIOFILTRO</td> <td>962,03</td> </tr> <tr> <td>EMISARIO SUBMARINO</td> <td>51,79</td> </tr> <tr> <td>LAGUNA AIREADA</td> <td>416,21</td> </tr> <tr> <td>LAGUNA ESTABILIZACION</td> <td>14,64</td> </tr> <tr> <td>LODOS ACTIVADOS</td> <td>1.080,40</td> </tr> <tr> <td>LOMBRIFILTRO</td> <td>962,03</td> </tr> <tr> <td>PRIMARIO Y DESINFECCION</td> <td>322,53</td> </tr> </tbody> </table>	Tecnología	gr de lodo humedo/ m3 de agua tratada	BIOFILTRO	962,03	EMISARIO SUBMARINO	51,79	LAGUNA AIREADA	416,21	LAGUNA ESTABILIZACION	14,64	LODOS ACTIVADOS	1.080,40	LOMBRIFILTRO	962,03	PRIMARIO Y DESINFECCION	322,53
Tecnología	gr de lodo humedo/ m3 de agua tratada																
BIOFILTRO	962,03																
EMISARIO SUBMARINO	51,79																
LAGUNA AIREADA	416,21																
LAGUNA ESTABILIZACION	14,64																
LODOS ACTIVADOS	1.080,40																
LOMBRIFILTRO	962,03																
PRIMARIO Y DESINFECCION	322,53																

	<table border="1"> <tr> <td>SBR</td> <td align="right">953,90</td> </tr> <tr> <td>ZANJA OXIDACION</td> <td align="right">962,03</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> • Humedad de los lodos y compost, 90 y 50%, respectivamente. • Razón lodo : agente abultante = 6:4 (Wei et al., 2001). • Reducción en masa debido a compostaje, 50%. • FE tratamiento por compostaje, 0,177 kg CO₂e/kg desecho tratados (IPCC, 2006). • FE desplazamiento enmienda de suelo artificial, 300 kg CO₂e/ton compost producido. • Venta de un 75% del compost producido con la medida, 50% a granel y 50% ensacado. El precio de venta se mantiene constante. • Costos por disposición de los RSM en SEDS (\$8.000/ton RSM llevado a SEDS). 	SBR	953,90	ZANJA OXIDACION	962,03
SBR	953,90				
ZANJA OXIDACION	962,03				
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)	Monitoreo y registro de: a) los flujos de lodos que entran a las plantas de compostaje; b) los flujos de salida de compost y con su respectivo destino; c) indicadores de patógenos y control de enfermedades a nivel de planta.				

5.6.13 Digestión de lodos domiciliarios

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Digestión anaeróbica de lodos provenientes de PTAS
Descripción  <p>Almacenamiento y quema de biogás de lodos en la Farfana, Chile.</p>	<p>La presente medida consiste en la instalación de biodigestores anaerobios de lodos provenientes del tratamiento de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS).</p> <p>Se considera el aprovechamiento de los lodos generados en PTAS de 3 regiones (VI, VII y VIII) que en la actualidad no reciben tratamiento de estabilización (aerobio o anaerobio) en vez de ser dispuestos en SEDS. El criterio de implementación se basa en que el volumen de lodos a tratar debiera asegurar una generación eléctrica superior a 1MW.</p> <p>Luego de la biodigestión, la MO estabilizada que se obtiene de este proceso puede ser compostada y utilizada como fertilizante o enmienda de suelos, desplazando así el uso de fertilizantes convencionales (Huerta, 2004). Esta medida contribuiría a disminuir el volumen de residuos que llegan a SEDS y las emisiones indirectas producidas por: i) desplazamiento de EE; y ii) desplazamiento del uso de fertilizantes convencionales sobre el suelo.</p>

	<p>En la actualidad existen plantas a nivel nacional que realizan biodigestión de lodos, p. ej. La Farfana, pero en ella no se genere energía eléctrica, sino que el biogás se inyecta a la red de GN (GTZ, Chamy, Vivanco, & Escuela de Ingeniería Bioquímica, 2008).</p> <p>Inicio: Se propone implementar esta medida a partir del año 2018, dado los plazos de ingeniería, diseño, construcción e instalación de las plantas de biodigestión, centrales de GE, PC, modificación de normas y legislación en torno al empleo de lodos estabilizados sobre suelos, preparación y aprobación de documentos necesarios del SEA. Se propone que la medida completa sea implementada entre los años 2018-2023.</p> <p>Vida útil: 20 años. Después de este período se debe volver a invertir en los equipos que desarrollan este tratamiento.</p>																				
<p>Contexto</p>	<p>En la actualidad, el mayor porcentaje de los lodos provenientes de PTAS es tratado mediante digestión anaerobia. Luego, la siguiente práctica más común es disponer los lodos en rellenos sanitarios o mono-rellenos, donde los lodos son encalados y no debieran generar emisiones de GEI (ver gráfico a continuación).</p> <div data-bbox="690 1008 1307 1365" style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>Datos del Gráfico de Sectores de Tratamiento de Lodos</caption> <thead> <tr> <th>Sector</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>ANAEROBICO</td><td>58%</td></tr> <tr><td>COMPOSTAJE</td><td>2%</td></tr> <tr><td>MONORRELLENO</td><td>6%</td></tr> <tr><td>RRSS</td><td>25%</td></tr> <tr><td>VERTEDERO</td><td>1%</td></tr> <tr><td>USO_AGRICOLA</td><td>1%</td></tr> <tr><td>NGL</td><td>1%</td></tr> <tr><td>OTRO</td><td>1%</td></tr> <tr><td>S/I</td><td>3%</td></tr> </tbody> </table> <p>Total=726.034,1 ton lodos/año</p> <p>Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2012)</p> <p>Por lo tanto, si se descuentan las fracciones tratadas mediante digestión anaerobia y compostaje, para la presente medida queda un potencial de valorización de 287.320,5 ton lodos/año.</p> </div>	Sector	Porcentaje	ANAEROBICO	58%	COMPOSTAJE	2%	MONORRELLENO	6%	RRSS	25%	VERTEDERO	1%	USO_AGRICOLA	1%	NGL	1%	OTRO	1%	S/I	3%
Sector	Porcentaje																				
ANAEROBICO	58%																				
COMPOSTAJE	2%																				
MONORRELLENO	6%																				
RRSS	25%																				
VERTEDERO	1%																				
USO_AGRICOLA	1%																				
NGL	1%																				
OTRO	1%																				
S/I	3%																				
<p>Universo</p>	<p>Sectorial</p>																				
<p>Sectores y subsectores</p>	<p>Sector Residuos Energía Agrícola</p>																				
<p>Nivel de implementación</p>	<p>Esta medida debe implementarse de forma aledaña a PTAS que en la actualidad no entreguen a sus lodos un tratamiento aerobio o anaerobio. Además se debe tener en consideración la cercanía a la</p>																				

	<p>red de distribución de EE nacional.</p> <p>Se calculará el potencial de lodos a tratar con la medida y se considerará la instalación de una planta de biodigestión por región que cumpla con el volumen mínimo de lodos para generar más de 1 MW de EE. La siguiente tabla resume los años de inicio y los volúmenes de procesamiento de cada planta:</p> <table border="1" data-bbox="574 480 1430 928"> <thead> <tr> <th>Región</th> <th>Año de entrada en operación</th> <th>Capacidad de tratamiento (ton lodo bh/año)</th> <th>EE generada (MW)</th> <th>MO estabilizada vendida (ton/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VI</td> <td>2023</td> <td>37.940,51</td> <td>1,19</td> <td>1.659,90</td> </tr> <tr> <td>VII</td> <td>2021</td> <td>78.659,74</td> <td>2,47</td> <td>3.441,36</td> </tr> <tr> <td>VIII</td> <td>2018</td> <td>49.519,86</td> <td>1,56</td> <td>2.166,49</td> </tr> <tr> <td>total</td> <td>2018-2023</td> <td>166.120,12</td> <td>5,22</td> <td>7.267,76</td> </tr> </tbody> </table> <p>Al ser pocos los proyectos donde se podría aplicar esta medida, no se considerarán niveles de penetración.</p>	Región	Año de entrada en operación	Capacidad de tratamiento (ton lodo bh/año)	EE generada (MW)	MO estabilizada vendida (ton/año)	VI	2023	37.940,51	1,19	1.659,90	VII	2021	78.659,74	2,47	3.441,36	VIII	2018	49.519,86	1,56	2.166,49	total	2018-2023	166.120,12	5,22	7.267,76
Región	Año de entrada en operación	Capacidad de tratamiento (ton lodo bh/año)	EE generada (MW)	MO estabilizada vendida (ton/año)																						
VI	2023	37.940,51	1,19	1.659,90																						
VII	2021	78.659,74	2,47	3.441,36																						
VIII	2018	49.519,86	1,56	2.166,49																						
total	2018-2023	166.120,12	5,22	7.267,76																						
Supuestos	<ul style="list-style-type: none"> Los lodos encalados no emiten GEI (recomendación de expertos). Considera solo proyectos > 1 MW de GE (recomendación de expertos). 																									
Información de reducción de emisiones	<p>La reducción potencial de emisiones se estima restando las emisiones generadas en la LB, con las propias de la medida o proyecto.</p> <p>LB:</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 ton CO₂e/año. No se consideran emisiones en LB para los lodos provenientes de PTAS, ya que su destino son los SEDS (encalados, no emiten) o el mar a través de emisarios submarinos. <p>Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> Emisiones asociadas al procesamiento y tratamiento de los lodos de PTAS por medio de biodigestión. Se asumen pérdidas (fugas) de biogás equivalentes al 1% de la producción. <p>Resultados de modelación potencial de emisiones:</p> <table border="1" data-bbox="682 1755 1325 1837"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual (MMton)</th> <th>Período de evaluación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Anual (MMton)	Período de evaluación																						
Ítem	Anual (MMton)	Período de evaluación																								

			CO2e/año	(MMton CO2e)
		Emisiones medida	4,436	201,34
		Emisiones LB	4,435	201,31
		Reducción medida	-0,001	-0,03

Lo que muestra que en términos de reducción de emisiones, esta no es una medida para el sector residuos, ya que no reduce emisiones directas sino que emite.

Por otra parte, si podría existir una reducción de emisiones indirecta (no informada en esta ficha), asociada al desplazamiento de:

- Enmiendas de suelo artificiales (FE = 0,3 tonCO2e/ton compost vendido) (Boldrin, Andersen, Møller, Christensen, & Favoino, 2009; Rivera, 2010).
- EE de la red de distribución nacional (FE SIC = 0,39 tonCO2e/MWh) (Ministerio de Energía, 2012).

Información de Costos

Se utilizarán los mismos costos que para las plantas de biodigestión (PFS, medida 5) en Chile definidas por GESCAM (2012), y además se consideró la información del Estudio de Impacto Ambiental del Plan de Manejo de lodos de PTA La Farfana que trata 690 ton de lodos al día por lo que los costos para plantas de menor tamaño serán mayores debido a que no presentarán economías a escala (Consultores, 2009).

Inversión: 32 USD/ Kg de lodo húmedo producido diariamente.
Costo Anual: 5,23 USD/ Kg de lodo producido al día o 4,6 m3 de agua producido al día.

Resultados de modelación potencial económica:

Ítem	Valor	Unidad	Comentario
Inversión	\$ 8.502	MM CLP	Una vez cada 20 años
OyM (anual)	-\$ 2.031	MM CLP/año	+ Evita ir relleno + MO estabilizada + EE
VP Inversión	\$ 6.811	MM CLP	
VP OyM	-\$ 18.213	MM CLP	
VAN Total	\$ 11.401	MM CLP	

	<table border="1"> <tr> <td>Costo abatimiento</td> <td>\$ 746,32</td> <td>USD/ton CO2e</td> <td></td> </tr> </table>	Costo abatimiento	\$ 746,32	USD/ton CO2e	
Costo abatimiento	\$ 746,32	USD/ton CO2e			
	<p>Esta medida, al igual que la n°12, se encuentra distorsionada en torno al costo de abatimiento, ya que a pesar de que la medida arroja una evaluación económica positiva, esta al final presenta un costo. Esto ocurre al hecho de que la medida no mitiga emisiones, sino que emite.</p> <p>Se reconoce que esta es una excelente medida, mejoraría la visibilidad del resultado final si se considera la reducción de emisiones indirectas.</p>				
Co beneficios	Esta medida se interrelaciona con el sector energía, al existir la capacidad de producir energía con el biogás y con los sectores silvoagropecuario al obtener fertilizante o enmienda de suelo como producto de la digestión. Además se reduce el terreno destinado a SEDS.				
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	<p>Escala mínima productiva. A bajos niveles de producción es poco rentable y costo efectivo aplicar esta medida.</p> <p>Dificultad de venta de enmiendas de suelo y fertilizantes.</p>				
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<p>Promover la presencia de digestores externos que procesen los lodos provenientes de plantas que se encuentren a distancias cortas y que produzcan bajas cantidades de lodos.</p> <p>Promover la existencia de intermediarios que gestionen una recolección y venta centralizada de lodos y residuos similares.</p>				
Interrelación con otros sectores	Esta medida se interrelaciona con los sectores silvoagropecuario, industrial y energético. Esto se debe al uso de enmiendas de suelos agrícolas, disminución de emisiones y consumo de recursos en producción de fertilizantes artificiales, y en el desplazamiento de EE de la red nacional.				
Estado del Arte Internacional	<p>Existe amplia experiencia internacional en el tema. En los países desarrollados la mayoría de los lodos son tratados antes de ser depositados en los rellenos sanitarios o suelos (Palm, n.d.).</p> <p>El mismo caso de La Farfana puede ejemplificar el desarrollo técnico de esta medida (GTZ et al., 2008).</p>				
Información Bibliográfica	Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, 27(8), 800–12. doi:10.1177/0734242X09345275				

	<p>Consultores, I. (2009). Resumen ejecutivo Estudio de Impacto Ambiental Tratamiento de Lodos de palnta de PTA La Farfana., 9–11. doi:10.1787/9789264043695-3-es</p> <p>GTZ, Chamy, R., Vivanco, E., & Escuela de Ingeniería Bioquímica, P. (2008). Potencial de Biogás. Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile para la generación de biogás de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile. Vasa. Santiago, Chile. Retrieved from http://www.inapiprojecta.cl/605/articles-1660_recurso_1.pdf</p> <p>Huerta, O. (2004). Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas, 1–9.</p> <p>Ministerio de Energía. (2012). Factores de emisión SIC y SING. Ministerio de Energía. Retrieved October 14, 2013, from http://huelladecarbono.minenergia.cl/</p> <p>Palm, O. (n.d.). Sewage Sludge Managment in Relation to EU - requirments (pp. 150–159).</p> <p>Rivera, M. (2010). PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO Y BIOGÁS MEDIANTE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA DE LODOS ACTIVOS.</p>																				
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	<p>Se reconoce que la información consultada para evaluar esta medida es de buena calidad dado el nivel de desarrollo internacional y nacional atingente.</p> <p>A pesar de lo anterior, la propuesta evaluada como potencial de mitigación es una propuesta particular de los consultores, que agrupa valores, eficiencias y procesos consultados en bibliografía especializada.</p>																				
Supuestos de modelación	<ul style="list-style-type: none"> Considerar las siguientes tasas de generación de lodos según tecnología de tratamiento (MMA, 2012): <table border="1" data-bbox="667 1299 1338 1745"> <thead> <tr> <th>Tecnología</th> <th>gr de lodo humedo/ m3 de agua tratada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BIOFILTRO</td> <td>962,03</td> </tr> <tr> <td>EMISARIO SUBMARINO</td> <td>51,79</td> </tr> <tr> <td>LAGUNA AIREADA</td> <td>416,21</td> </tr> <tr> <td>LAGUNA ESTABILIZACION</td> <td>14,64</td> </tr> <tr> <td>LODOS ACTIVADOS</td> <td>1.080,40</td> </tr> <tr> <td>LOMBRIFILTRO</td> <td>962,03</td> </tr> <tr> <td>PRIMARIO Y DESINFECCION</td> <td>322,53</td> </tr> <tr> <td>SBR</td> <td>953,90</td> </tr> <tr> <td>ZANJA OXIDACION</td> <td>962,03</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> Generación de biogás superior a la de los RRSS, 65 m³/ton RSM biodegradable tratado. 	Tecnología	gr de lodo humedo/ m3 de agua tratada	BIOFILTRO	962,03	EMISARIO SUBMARINO	51,79	LAGUNA AIREADA	416,21	LAGUNA ESTABILIZACION	14,64	LODOS ACTIVADOS	1.080,40	LOMBRIFILTRO	962,03	PRIMARIO Y DESINFECCION	322,53	SBR	953,90	ZANJA OXIDACION	962,03
Tecnología	gr de lodo humedo/ m3 de agua tratada																				
BIOFILTRO	962,03																				
EMISARIO SUBMARINO	51,79																				
LAGUNA AIREADA	416,21																				
LAGUNA ESTABILIZACION	14,64																				
LODOS ACTIVADOS	1.080,40																				
LOMBRIFILTRO	962,03																				
PRIMARIO Y DESINFECCION	322,53																				
SBR	953,90																				
ZANJA OXIDACION	962,03																				

	<ul style="list-style-type: none"> • 65% de CH₄ en biogás, 0,7 kg/m³ CH₄ y GWPC_{H4} = 21 tCO₂e/tCH₄. • 1% emisiones fugitivas de CH₄ relacionadas a este tratamiento. • Generación de EE por medio de biogás equivalente a 5 kWh/m³ biogás combustionado. • Factor de planta a biogás = 95%. • Mercado eléctrico (para venta de energía). Se asume que se firma un contrato que asegura la venta de EE a \$100,00 USD/MWh. • FE desplazamiento enmienda de suelo artificial, 300 kg CO₂e/ton MO estabilizada (Boldrin et al., 2009). • Venta de un 75% de la MO estabilizada producido con la medida, 100% a granel. El precio de venta se mantiene constante. • Costos por disposición de los RSM en SEDS (\$8.000/ton RSM llevado a SEDS).
Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)	Monitoreo y registro de: a) los flujos de lodos que entran a las plantas de biodigestión; b) los flujos de salida de biogás y EE; c) indicadores de patógenos y control de enfermedades a nivel de planta.

5.6.14 Aprovechamiento de lodos domiciliarios sobre suelos

No justifica evaluar por separado esta medida, ya que las medidas 12 y 13, ya incluyen el aprovechamiento de lodos sobre suelos. Ya sea como compost directo, o como compost de MO estabilizada luego de digestión anaerobia.

5.6.15 Tratamiento de RILes

Teniendo presente el resguardo del GTT y GCE sobre las emisiones de este sector de residuos, se considera que la LB ya incluye un tratamiento de los RiLes eficiente, tratamiento anaerobio y posterior quema o aprovechamiento del biogás generado. Por lo tanto, no se analizarán medidas de mitigación para el tratamiento de Riles.

5.6.16 Tratamiento Mecánico Biológico (TMB)

Indicador/Atributo	Descripción
Nombre	Tratamiento mecánico biológico (TMB)
Descripción	<p>Es una tecnología complementaria a los rellenos sanitarios (RRSS), ya que se utiliza -principalmente- para disminuir el volumen de los residuos dispuestos.</p> <p>Consiste en un proceso de 2 etapas (GESCAM, 2012), claramente diferenciables por el nombre de la tecnología:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Etapa mecánica: se reciben los RSM mezclados en bolsas y contenedores. Se rompen las bolsas y se separan los principales componentes de los RSM. Logrando recuperar las fracciones reciclables con tromeles. 2. Etapa biológica: puede realizarse compostaje o fermentación de la fracción orgánica de los RSM. <p>En esta medida de mitigación, se considera el TMB como un pretratamiento de los RSM antes de ir a parar a RRSS (como relleno o cobertura). Por lo que no se evalúa la segregación de fracciones reciclable.</p> <p>Los RSM llegan a la planta de TMB donde son triturados y enviados a pilas de compostaje donde la MO es degradada, consiguiendo residuos semi-inertes. De esta forma se reduce el volumen de RSM a disponer, la cantidad de biogás y lixiviados que se podrían producir en RRSS.</p>
	 <p>Planta de TMB en el Reino Unido</p>
	Año de inicio: 2016. Año de término: 2050.
	Vida útil: 20 años. Después de este período se debe volver a invertir en los equipos que desarrollan este tratamiento.
Universo	Sectorial
Sectores y subsectores	Sector: Residuos
Nivel de implementación	<p>Se considera solo un nivel de penetración, del 30% de los RSM nacionales.</p> <p>Por otra parte, regionalmente se considera la entrada en operación de distinto número de plantas. Teniendo estas 2 tamaños posibles: para atender hasta 20.000 y 100.000 personas. En caso de que el volumen sea mayor para alguna región, se considera la construcción de varias plantas.</p>
Supuestos	<p>El tratamiento biológico permite disminuir un 50% (en masa) de los RSM totales (Bezama, Aguayo, Konrad, Navia, & Lorber, 2007).</p> <p>Las emisiones propias de este tratamiento son equivalentes a las del compostaje de RSM, sumadas al consumo energético de la planta.</p>

	<p>Los residuos semi-inertes a la salida del TMB no emiten gases de efecto invernadero (GEI) al ser dispuestos en RRSS.</p>															
<p>Información de reducción de emisiones</p>	<p>La reducción de emisiones se origina al estabilizar los residuos orgánicos con TMB, así no emitirán GEI posteriormente en los RRSS. De esta forma la reducción final se calcula mediante la diferencia entre las emisiones de LB y las propias del tratamiento o proyecto.</p> <p>Emisiones LB:</p> <ul style="list-style-type: none"> Emisiones fugitivas llevadas a CO₂e en RRSS, 94% del biogás generado (CDM Project, n.d.). <p>Emisiones TMB:</p> <ul style="list-style-type: none"> CO₂e por tratamiento biológico como compostaje (FE = 0,177 tCO₂e/ton MO de RSM) (IPCC, 2006). <p>No existe reducción de emisiones indirecta.</p> <table border="1" data-bbox="570 800 1437 1045"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>Anual 2026 (MMton CO₂e/año)</th> <th>Período de evaluación (MMton CO₂e)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M12, crec. medio</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Emisiones medida</td> <td>3,103</td> <td>124,61</td> </tr> <tr> <td>Emisiones LB</td> <td>4,742</td> <td>201,31</td> </tr> <tr> <td>Reducción medida</td> <td>1,639</td> <td>76,70</td> </tr> </tbody> </table> <p>Es necesario mostrar la reducción de emisiones del año 2026 y no del primer año de aplicación de la medida, 2016 -que es cuando se realiza la inversión-, debido a que los residuos depositados en SEDS demorarán un par de años en degradarse y producir biogás. De esta forma se pretende mostrar una reducción de emisiones significativa del período evaluado.</p>	Ítem	Anual 2026 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)	M12, crec. medio			Emisiones medida	3,103	124,61	Emisiones LB	4,742	201,31	Reducción medida	1,639	76,70
Ítem	Anual 2026 (MMton CO ₂ e/año)	Período de evaluación (MMton CO ₂ e)														
M12, crec. medio																
Emisiones medida	3,103	124,61														
Emisiones LB	4,742	201,31														
Reducción medida	1,639	76,70														
<p>Información de Costos</p>	<p>Los costos de la medida se presentarán como CAPEX (inversión) y OPEX (operación y mantención). En ambos casos como la diferencia entre lo propio de la medida y la LB.</p> <p>TMB:</p> <ul style="list-style-type: none"> Tanto CAPEX como OPEX dependen de la población cubierta y de los niveles de penetración evaluados en estudio realizado por GESCAM (2012). Para evaluar la presente medida se consideran 2 tamaños de planta posibles, pequeñas (<100.000 habitantes) y grandes (100.000<x<500.000 habitantes). <ul style="list-style-type: none"> Costo de inversión en planta: Los costos varían entre \$1.100.000 y 3.700.000 USD. Costo de OyM de la planta: Los costos varían entre 															

	<p>\$757.000 y \$3.190.000 USD/año.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Esta información se incorpora al modelo, utilizando información poblacional y de generación per cápita levantada de la LB2013. ● Costo de transporte de los RSM: No hay diferencia de costos con la LB, ya que las plantas de TMB pueden estar ubicadas en los RRSS, funcionando como una etapa de pretratamiento antes de su disposición final. <p>LB:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● CAPEX = 0. ● OPEX equivale a los ahorros generados por la fracción de RSM que no se dispone en RRSS (fracción reducida con TMB). <p>De esta forma se presenta la siguiente tabla resumen (tasa privada del 12%, M12-1, 2 ó 3, crecimiento medio):</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #a0c0ff;">Ítem</th> <th style="background-color: #a0c0ff;">Valor</th> <th style="background-color: #a0c0ff;">Unidad</th> <th style="background-color: #a0c0ff;">Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inversión</td> <td>29.758</td> <td>MM CLP</td> <td>2016 Una vez cada 20 años</td> </tr> <tr> <td>OyM (anual)</td> <td>25.266</td> <td>MM CLP/año</td> <td>2016 % evita ir relleno</td> </tr> <tr> <td>VP Inversión</td> <td>21.432</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VP OyM</td> <td>86.725</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VAN Total</td> <td>-108.157</td> <td>MM CLP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo abatimiento</td> <td>2,94</td> <td>USD/ton CO2e</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Como se puede apreciar, bajo la presente evaluación esta no es una medida costo efectiva, ya que el VAN del proyecto es negativo. Esto se explica desde el hecho de que en Chile aún es muy barata la disposición de los RSM. En Europa por ejemplo, los SEDS pueden llegar a ser escasos, por lo que el costo de disposición podría hacer rentable esta tecnología de pretratamiento. Otra alternativa que podría rentabilizar económicamente el TMB, es considerar los ingresos asociados a la recuperación de las fracciones reciclables de</p>	Ítem	Valor	Unidad	Comentario	Inversión	29.758	MM CLP	2016 Una vez cada 20 años	OyM (anual)	25.266	MM CLP/año	2016 % evita ir relleno	VP Inversión	21.432	MM CLP		VP OyM	86.725	MM CLP		VAN Total	-108.157	MM CLP		Costo abatimiento	2,94	USD/ton CO2e	
Ítem	Valor	Unidad	Comentario																										
Inversión	29.758	MM CLP	2016 Una vez cada 20 años																										
OyM (anual)	25.266	MM CLP/año	2016 % evita ir relleno																										
VP Inversión	21.432	MM CLP																											
VP OyM	86.725	MM CLP																											
VAN Total	-108.157	MM CLP																											
Costo abatimiento	2,94	USD/ton CO2e																											

	los RSM.
Co beneficios	Disminución de volumen de residuos y lixiviados en RRSS.
Barreras a la implementación de la medida de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Contratos actuales entre municipios y empresas administradoras de SEDS pueden exigir el envío de los residuos a sus rellenos, sin la posibilidad de que exista otro tratamiento. • Falta de información por parte de privados o municipalidades para instalar o gestionar apropiadamente este tipo de plantas. • Compite con uso de suelo agrícola o industrial dado el amplio terreno que deben cubrir las pilas de tratamiento biológico.
Superación de barreras para implementar medidas de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Enmarcar la medida dentro de un plan de Estado hacia el cumplimiento del compromiso internacional de reducción de emisiones nacionales y generar un lineamiento a largo plazo en torno a la administración de los residuos en el país. • Creación de equipos de trabajo y mesas de diálogo entre el sector público y privado para ejecución de estos proyectos. • Diseño de edificios de compostaje que controlen condiciones ambientales, recuperen gases y optimicen el uso de suelo, entre otras ventajas posibles.
Interrelación con otros sectores	Con sector transporte. Al disminuir la masa y volumen de residuos a disponer en RRSS, podrían ser necesarios menos viajes para transportar dichos residuos.
Estado del Arte Internacional	El concepto de TMB se originó en Alemania, donde se trata de un método de tratamiento de residuos establecido. Restricciones reglamentarias sobre espacio en los RRSS -con posterioridad prohibición de disposición de RSM-, la búsqueda de nuevas alternativas de tratamiento por sobre la incineración, y el aumento de los costos de disposición, han sido los principales motores para el desarrollo de estas tecnologías. Los mayores proyectos de TMB a nivel mundial son europeos, donde se puede mencionar el caso de Alemania, Austria, Italia, Suiza y los Países Bajos, junto a otros del Reino Unido (gov UK, 2013).
Información Bibliográfica	<p>Bezama, A., Aguayo, P., Konrad, O., Navia, R., & Lorber, K. E. (2007). Investigations on mechanical biological treatment of waste in South America: towards more sustainable MSW management strategies. Waste management (New York, N.Y.), 27(2), 228–37. doi:10.1016/j.wasman.2006.01.010</p> <p>CDM Project. (n.d.). Proyectos CDM asociados al manejo y tratamiento de biogás producido en rellenos sanitarios y vertederos en Chile. Retrieved from</p>

	<p>http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html</p> <p>GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169).</p> <p>gov UK. (2013). Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste (p. 57). Retrieved from https://www.gov.uk/government/publications/mechanical-biological-treatment-of-municipal-solid-waste</p> <p>IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.</p> <p>Papageorgiou, a, Barton, J. R., & Karagiannidis, a. (2009). Assessment of the greenhouse effect impact of technologies used for energy recovery from municipal waste: a case for England. Journal of environmental management, 90(10), 2999–3012. doi:10.1016/j.jenvman.2009.04.012</p>
Análisis de la calidad de la información disponible para modelar medida	<p>A nivel internacional existe buena información acerca de tecnologías apropiadas y requerimientos de instalación y costos.</p> <p>Por otra parte, a nivel nacional la información es más escasa, ya que es una tecnología aún no explorada en Chile.</p>
Supuestos de modelación	<p>Inputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para el LB se asume que sólo están en operación las PC que operan en la actualidad y los RRSS según plan de SUBDERE. Se asume que una parte de los residuos generados se van a estas plantas o SEDS. Además se asume un 6% de quema mínima en RRSS y eficiencias asociadas al proceso de captura y quema encontrada en literatura especializada. • La reducción de emisiones se estima a partir de la diferencia entre las emisiones generadas en la LB y las propias del tratamiento de compostaje por medio TMB. • Poblaciones regionales. • Generación de RSM totales y sus fracciones a tratar. • Nivel de penetración. 30% de cobertura de tratamiento sobre RSM. • Año de inicio de la medida, 2016. • Plantas necesarias según población cubierta. Se consideran dos niveles: para atender hasta 20.000 y 100.000 personas. • Reducción en masa debido a compostaje, 50%. • FE compostaje TMB, 0,177 kg CO₂e/kg desecho tratados (IPCC, 2006). • Residuos estabilizados son enviados a RRSS como relleno o

	<p>cobertura.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos por disposición de los RSM en SEDS (\$8.000/ton RSM llevado a SEDS), para estimar ahorro (Consejo de Alcaldes, 2008). <p>Outputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión y de operación y mantenimiento, sumado a ahorros por disposición en SEDS. • Residuos tratados y desviados de SEDS (reducción de emisiones). • Cantidad y tipo de plantas instaladas en el período evaluado.
<p>Aplicación de MRV (monitoreo, reporte y verificación)</p>	<p>Se deberá controlar y reportar al MMA la cantidad de RSM ingresada a las plantas y la cantidad de residuos semi-inertes producidos que tendrán como destino final los RRSS.</p>

6. Conclusiones

La propuesta metodológica presentada busca establecer algunos criterios claros para la proyección de emisiones del sector de residuos antrópicos. El objetivo último es poder hacer un análisis de los potenciales de reducción de emisiones y de sus implicancias, sobre bases sólidas.

La selección de medidas de mitigación, por otra parte, recoge las opciones con mayor potencial de aportar a la reducción de emisiones en el largo plazo dentro de este sector. Queda pendiente la articulación de medidas para lograr resultados efectivos y coherentes con los objetivos de eficiencia global.

Para poder completar el proceso de análisis, resulta ideal disponer de cierta información que ha sido solicitada a diversos agentes públicos según se señala en el informe. Entre esta información se encuentra:

- Catastro y plan de rellenos sanitarios.
- Compostaje
- Tratamiento de agua servidas domésticas
- DBO y nitrógeno en caudales
- Cobertura por tipo de tratamiento
- Aguas residuales industriales
- DBO en RILES
- Residuos hospitalarios e incinerados

Se dispone de una completa propuesta argumentada para desarrollar las proyecciones que deberá ser ajustada en función de la información disponible.

7. Bibliografía

- Amlinger, F., Peyr, S., & Cuhls, C. (2008). Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Management & Research*, 26(1), 47–60. doi:10.1177/0734242X07088432
- Andersen, J. K., Boldrin, a, Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2010). Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. *Waste management (New York, N.Y.)*, 30(12), 2475–82. doi:10.1016/j.wasman.2010.07.004
- Aseo, Ornato y Gestión Ambiental, D. De. (2011). *SERVICIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS Y ASIMILABLES , COMUNA DE MAIPÚ BASES TÉCNICAS* (p. 12). Santiago, Chile.
- BFI. (n.d.). Canadian Services. Integrated Services. Retrieved July 11, 2013, from <http://www.bficanada.com/English/CanadianServices/Services/IntegratedServices/default.aspx>
- BID. (2003). *Estudio de Política de Abatimiento de Gas de Efecto Invernadero y Desarrollo Económico: Sinergias y Desafíos en el Sector de los Rellenos Sanitarios en el Caso de Chile*. (B. y Asociados, Ed.). Santiago: Banco Interamericano del Desarrollo.
- Bioferm Energy Systems. (n.d.). Company Profile. Retrieved July 10, 2013, from <http://www.biofermenergy.com/company-profile/>
- Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 27(8), 800–12. doi:10.1177/0734242X09345275
- Canada Government. (n.d.). Canada's Action on Climate Change. Landfills. Retrieved July 11, 2013, from <http://www.climatechange.gc.ca/default.asp?lang=En&n=60CB860C-1>
- CDM Project. (n.d.). *Proyectos CDM asociados al manejo y tratamiento de biogás producido en rellenos sanitarios y vertederos en Chile*. Retrieved from <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>
- Colón, J., Martínez-Blanco, J., Gabarrell, X., Artola, A., Sánchez, A., Rieradevall, J., & Font, X. (2010). Environmental assessment of home composting. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 893–904. doi:10.1016/j.resconrec.2010.01.008

- Congreso de Chile, B. del C. N. de C., & Ministerio de Salud y Subsecretaria de Salud Pública. Decreto Supremo N°189. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios (2008). Retrieved from <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=268137>
- Consortio Santa Marta. (n.d.). Planta quemado biogás. Retrieved July 09, 2013, from <http://www.csmarta.cl/relleno-sanitario/planta-quemado-biogas/>
- Consultores, I. (2009). Resumen ejecutivo Estudio de Impacto Ambiental Tratamiento de Lodos de palnta de PTA La Farfana., 9–11. doi:10.1787/9789264043695-3-es
- Donoso, R. (2003). Manejo de Lodos: La Experiencia de Esval.
- Ecolng. (2012). Evaluación de impactos económicos, ambientales y sociales de la implementación de la REP en Chile. Santiago, Chile.
- ECO-Ing. (2012). INFORME FINAL EVALUACIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS ,.
- Energy, L. (n.d.). Dongara Pellet Plant. Lakeside Energy. Retrieved from <http://www.lakesideenergy.com/investments/dongara-pellet-lp>
- EPA. (2001). Adapting boilers to utilize landfill gas: Feasible and cost-effective (p. 2). Retrieved from <http://nepis.epa.gov/>
- EPA, Hanson, E., & Strube, R. H. (2006). LFG utilization in steam boilers. Veolia Environmental Services. Retrieved from <http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/conf/10th/strube.pdf>
- FAOSTAT. (n.d.). ExcretasFAO. Retrieved from [http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/search/protein consumption/E](http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/search/protein%20consumption/E)
- GENERA4, E. R., & UTEC, I. für E. und A. umweltfreundlicher. (2012). Conceptual Engineering Final Report Treatment and transportation of LFG from landfill to pozzolana drying plant. Retrieved from http://seia.sea.gob.cl/archivos/Informe_Final_Genera4.pdf
- GESCAM. (2012). Estudio acerca de la industrialización de residuos y de la forma de desarrollar una política de estado para el tema (p. 169).
- GTZ, Chamy, R., Vivanco, E., & Escuela de Ingeniería Bioquímica, P. (2008). Potencial de Biogás. Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile para la generación de biogás de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile. Vasa. Santiago, Chile. Retrieved from http://www.inapiprojecta.cl/605/articles-1660_recurso_1.pdf
- Haaren, R. Van, Themelis, N., Goldstein, N., & Mountain, R. (2010). The state of garbage in america. BIOCYCLE, 17th. Retrieved from http://www.biocycle.net/images/art/1010/bc101016_s.pdf

- Homecenter Sodimac. (n.d.). Gardenviews Compostera Mega 650 litros. Retrieved July 09, 2013, from <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/1468723/Compostera-Mega-650-litros?passedNavAction=push>
- Huerta, O. (2004). Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas, 1–9.
- IEA, Petersson, A., & Wellinger, A. (2009). Biogas upgrading technologies – developments and innovations.
- INIA. (2010). Complementos cálculo de actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos.
- IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- Maldonado, D. (2012, June). Biogás en Chile. Sustenta Bit. Retrieved from <http://biblioteca.cchc.cl/DataFiles/26799-2.pdf>
- Martínez A., Blázquez, S., Moré, J. C., & Saña Vilaseca, J., Borderías Blasco, S. (2012). Reportaje Planta de compostaje de lodos de Arazuri (Pamplona), 28–36.
- Martínez-Blanco, J., Colón, J., Gabarrell, X., Font, X., Sánchez, A., Artola, A., & Rieradevall, J. (2010). The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. *Waste management (New York, N.Y.)*, 30(6), 983–94. doi:10.1016/j.wasman.2010.02.023
- Ministerio de Energía. (2012). Factores de emisión SIC y SING. Ministerio de Energía. Retrieved October 14, 2013, from <http://huelladecarbono.minenergia.cl/>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2011). Informe del Estado del Medio Ambiente - Capitulo 3. Residuos. Retrieved from http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_3.pdf
- Mundial, B. (2013). Relación Internacional. www.bancomundial.org. Retrieved July 06, 2013, from <http://datos.bancomundial.org/indicador/all>
- Municipalidad de la Reina. (n.d.). Medio Ambiente. Residuos Orgánicos Vegetales. Programa Compostaje Domiciliario. Retrieved July 09, 2013, from http://www.lareina.cl/medio_ambiente/reciclaje.php
- Murphy, J. D., & McKeogh, E. (2004). Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. *Renewable Energy*, 29(7), 1043–1057. doi:10.1016/j.renene.2003.12.002

- Obermoser, M., Fellner, J., & Rechberger, H. (2009). Determination of reliable CO2 emission factors for waste-to-energy plants. *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 27(9), 907–13. doi:10.1177/0734242X09349763
- OECD. (2013). OECD Stats. Retrieved from <http://stats.oecd.org/>
- Palm, O. (n.d.). Sewage Sludge Management in Relation to EU -requirements (pp. 150–159).
- POCH. (2013). ESCENARIO LÍNEA BASE DE EMISIONES GEI DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS.
- Poletto, J. A., & Silva, L. (2009). Influencia de la Separación de Residuos Sólidos Urbanos para Reciclaje en el Proceso de Incineración con Generación de Energía Influence of the Separation of Municipal Solid Wastes to Recycling in the Incineration Process with Energy Generation, 20(2), 105–112. doi:10.1612/inf.tecnol.4062it.08
- PRO EUROPE. (n.d.). About PRO EUROPE. Retrieved September 30, 2013, from <http://pro-e.org/About.html>
- Psomopoulos, C. S., Bourka, a, & Themelis, N. J. (2009). Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste management (New York, N.Y.)*, 29(5), 1718–24. doi:10.1016/j.wasman.2008.11.020
- Rivera, M. (2010). PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO Y BIOGÁS MEDIANTE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA DE LODOS ACTIVOS.
- Schwarz, M., & Bonhotal, J. (2011). Composting at Home - The Green and Brown Alternative. Cornell Waste Management Institute / Department of Crop and Soil Sciences, 12.
- The Compost Council of Canada. (n.d.). Composting Community. Retrieved from http://www.compost.org/English/composting_community.htm
- The Composting People. (n.d.). About Us. Retrieved July 15, 2013, from http://www.compost.org/English/composting_community.htm
- US EPA. (n.d.). Landfill Methane Outreach Program. Retrieved July 10, 2013, from <http://www.epa.gov/lmop/index.html>
- US EPA. (2010). Landfill Methane Outreach Program. Publications / Tools. Project Development Handbook. Retrieved July 10, 2013, from <http://www.epa.gov/lmop/publications-tools/handbook.html>

US EPA. (2012). Landfill Gas Energy - A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs (pp. 1–34). Retrieved from <https://www.google.cl/search?q=acre&oq=acre&aqs=chrome.0.57j65l2j60j0l2.773j0&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

Warren, K. (2012). A techno-economic comparison of biogas upgrading technologies in Europe.

Wei, Y.-S., Fan, Y.-B., & Wang, M.-J. (2001). A cost analysis of sewage sludge composting for small and mid-scale municipal wastewater treatment plants. *Resources, Conservation and Recycling*, 33(3), 203–216. doi:10.1016/S0921-3449(01)00087-8

Yoshida, H., Gable, J. J., & Park, J. K. (2012). Evaluation of organic waste diversion alternatives for greenhouse gas reduction. *Resources, Conservation and Recycling*, 60, 1–9. doi:10.1016/j.resconrec.2011.11.011

8. Anexos

I. Descripción y uso del modelo Analytica

INTRODUCCIÓN

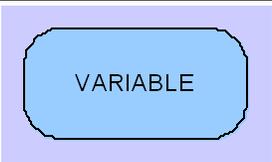
¿Qué es Analytica?

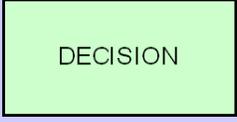
- ❑ Es un Software que combina modelación gráfica con aplicaciones matemáticas y estadísticas para servir de apoyo en la toma de decisiones y en la resolución de problemas complejos.
- ❑ Principales beneficios de Analytica:
 - Permite comunicar de una manera comprensible la estructura del modelo
 - Organiza modelos complejos
- ❑ Permite la exploración del modelo de manera jerárquica (nodos anidados)

Tipos de Nodos

- ❑ En Analytica la información disponible y las variables a estudiar son definidas en forma de nodos
- ❑ Existen varios tipos de nodos. Cada tipo de nodo representa una clase de objeto diferente.
- ❑ Existen 7 clases de nodos diferentes diferenciados por sus formas: Índices, constantes, variables, nodos de decisión, variable de probabilidad, objetivos y módulos

A continuación se describe los distintos tipos de nodos.

Variable	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nodo rectangular redondeado ○ Indica una variable definida en forma determinística ○ Acepta valores o operaciones con otras variables 	
Constante	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nodo en forma de trapezoide ○ Indica el valor de una constante ○ Una constante no acepta "inputs" ni puede ser calculada 	
Índice	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nodo en forma de paralelogramo ○ indica un índice o lista de nombres ○ Define las dimensiones de las variables o matrices que se usan en el modelo 	

Decisión	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nodo en forma rectangular ○ Hace referencia al tipo de decisión involucrada ○ Indica valores que son directamente establecidos por un tomador de decisión 	
Módulo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nodo de bordes redondeados ○ Permite agrupar otros nodos en diferentes secciones 	

Tipos de Valores.

En analítica se puede especificar de qué forma queremos que se muestren los resultados. Es posible mostrarlo en los siguientes formatos:

Formato	Descripción	Ejemplo
Suffix	Una letra después del número especifica la potencia de diez	12.35K
Exponential	Notación científica o exponencial, donde el número después de la "e" indica la potencia de diez	1.24E+04
Fixed Point	Un decimal con un número fijo de dígitos decimales	12345.68
Integer	Un número entero sin decimales	12346
Percent	Un porcentaje	12%
Date	Fecha	12 Jan 2007

Para cambiar el formato de los números, al estar visualizando un resultado seleccionamos en la barra superior "Result" y de la lista desplegable "Number Format" y elegimos el formato en que queremos que se muestren los números.

Si expresamos los resultados en SUFFIX se utilizan los siguientes sufijos:

Potencia de 10	Suffix	Prefijo
10+3	K	Kilo
10+6	M	Mega or Million
10+9	G	Giga
10+12	T	Tera or Trillion
10+15	Q	Quadrillion
10-2	%	percent
10-3	m	milli
10-6	μ	micro (mu)
10-9	n	nano
10-12	p	pico
10-15	f	femto

El software trabaja con 15 dígitos significativos con números entre 10^{-320} y 1.79×10^{308} . Si un número es menor que 10^{-320} lo aproxima a cero y si es mayor que 1.79×10^{308} muestra infinito o INF. Existen otros valores especiales que el software puede mostrar:

Tipo	Descripción
INF	Infinito o número real mayor de lo posible de representar (Ej. 1/0)
Null	Resultado de una operación cuando la información deseada no es encontrada
NAN	Not a Number: Resultado es un número indefinido (Ej. 0/0)

DESCRIPCIÓN DE NODOS Y RESULTADOS ESPECÍFICOS DEL MODELO

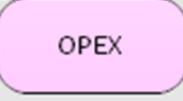
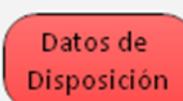
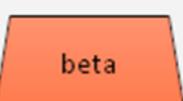
Si se quiere analizar los resultados de una medida es importante que esté esta medida seleccionada. Si no, los resultados darán negativos o nulos. Para escoger la medida que se quiere utilizar seleccione desde el nodo "Medidas Activas" presente en la ventana de inicio:

Medidas Activas		
Indicadores Basicos		
VAN CO2	(tonCo2)	Result
Costo_efectividad(USD/Ton de CO2eq)		Calc
Indicadores Reduccion		
Reduccion de Emisiones directa	(ton CO2/año)	Calc
Reduccion Emisiones Indirectas	(ton CO2/año)	Result
Indicadores Co-beneficios		
Generación Electricidad	(MWh/año)	Calc
Combustible Desplazado	(m3/año)	Calc
Productos Reciclados	(ton de res/año)	Calc
Indicadores Costos		
CAPEX	(mm de CLP)	Calc
OPEX	(mm CLP)	Calc
VAN Total	(mm de CLP)	Calc

- Compostaje Domiciliario
- REP-1
- REP-2
- Compostaje en Planta-1
- Compostaje en Planta-2
- Compostaje en Planta-3
- Compostaje Ferias-1
- Compostaje Ferias-2
- Compostaje Ferias-3
- Biodigestión de RSU-1
- Biodigestión de RSU-2
- Biodigestión de RSU-3
- Captura y quema-1
- Captura y quema-2
- Inyección a GN
- Gen EE en RRSS-1
- Gen EE en RRSS-2
- Gen EE en RRSS-3
- Gen EE en RRSS-4
- Calor Util
- WTE-1
- WTE-2
- WTE-3
- TMB
- Paquete 1
- Paquete 2
- Paquete 3
- Línea de Base

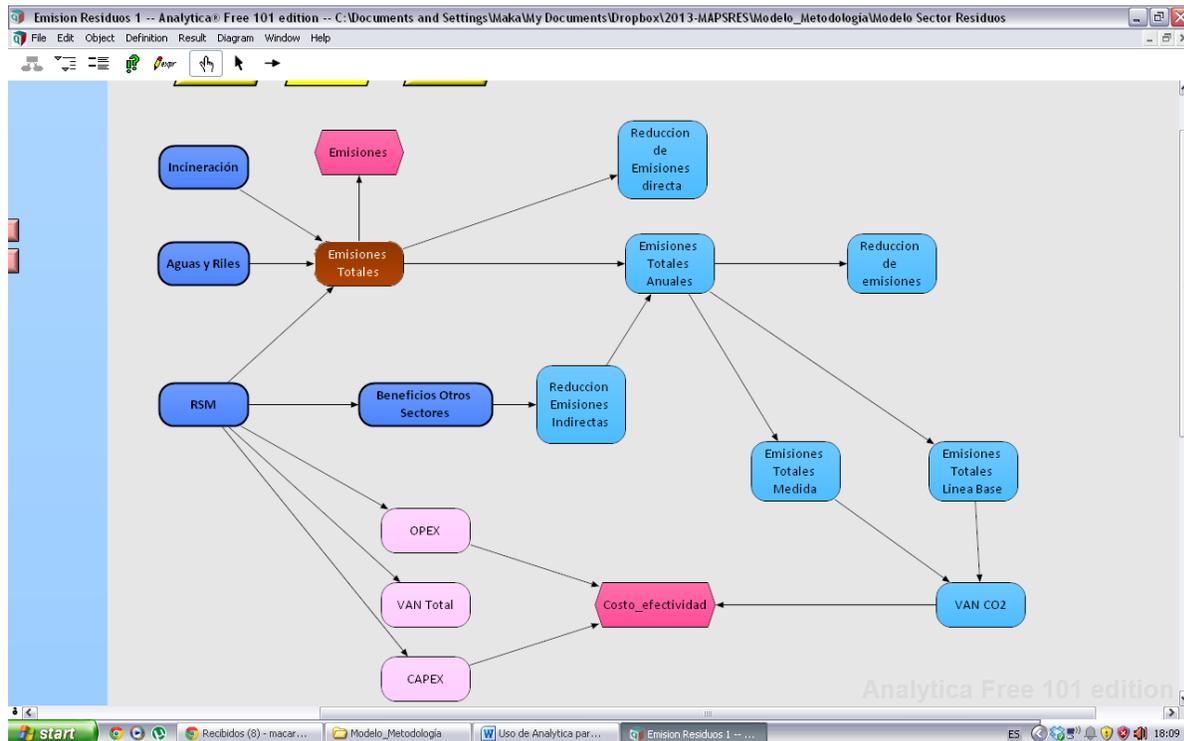
En esta misma ventana puede ver los resultados de las Reducciones Totales de CO2, Costo Efectividad, Reducciones Directas e Indirectas, Reducciones de uso de combustible, CAPEX, OPEX y VAN.

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES EN EL MODELO:

	<p>Módulos o carpetas: Contienen partes del modelo. Se utilizan para organizar la información y contener otros nodos que pueden ser variables u otras carpetas pero no tienen funciones propias. Son de color azul con letra en negrita.</p>
	<p>Variables Celeste: Variables relacionadas con la emisión de residuos.</p>
	<p>Variables rosadas: Relacionadas con el cálculo de indicadores económicos (costos, ingresos, etc).</p>
	<p>Variable roja: En el modelo original corresponden a lectura de datos</p>
	<p>Constante naranja: Corresponden a parámetros constantes.</p>
	<p>Nodos o carpetas: Contienen los cálculos de las medidas de mitigación.</p>
	<p>Bibliotecas de índices y parámetros. Son carpetas en donde se almacenan índices y parámetros. Hay además hay bibliotecas específicas para cada subsector. Parámetros: Son constantes o valores obtenidos externamente, corresponden inputs del modelo pero no muestran resultados. Índices: Se muestran las dimensiones del modelo</p>

EXPLORANDO EL MODELO.

En la ventana principal podrá ver el esquema general del modelo en donde estén presentes los resultados más importantes de este y las carpetas que contienen los cálculos de las proyecciones, emisiones de línea de base, etc y las bibliotecas que contienen los índices y parámetros generales para todo el proyecto.



Para ingresar a una subcarpeta hay que hacer click en el nodo específico. Para volver a la subcarpeta anterior (que contiene a la carpeta en que estamos actualmente) hay que clicar el ícono ubicado en la esquina superior derecha de la pantalla.



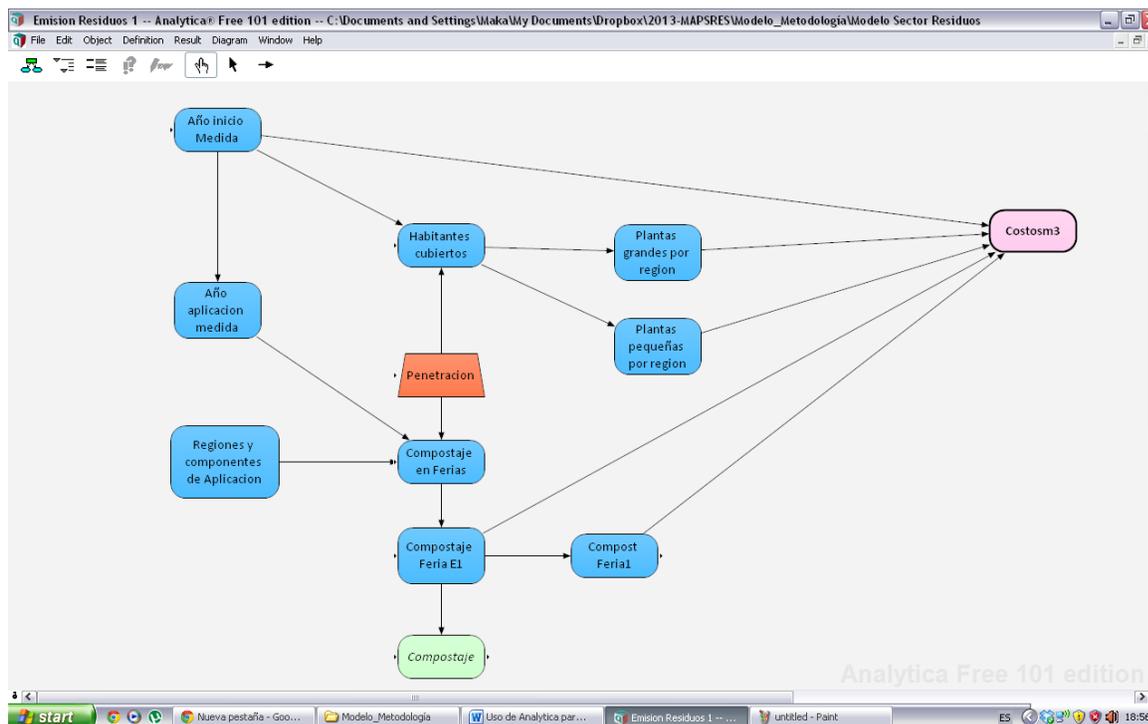
Dentro de la carpeta RSM existen varias subcarpetas.

- RSU generado per Cápita: Se calcula la generación de residuos sólidos domiciliarios per cápita para cada una de las regiones desde 2013 hasta 2050. El output más importante de esta subcarpeta es la variable “RSU generados per Cápita”.
- Tratamientos de Valorización: En esta carpeta se encuentran todas las medidas de mitigación y las acciones previamente implementadas (compostaje y reciclaje) que reducen la cantidad de residuos depositadas en relleno sanitario:
 - TMB
 - Compostaje
 - Reciclaje
 - Incineración (Waste to Energy o WTE)
 - Biodigestión.

- Conversión de Residuo Biogás: Se calcula el metano generado en función de los residuos depositados según las ecuaciones señaladas en las directrices del IPCC.
- Captura de biogás: Se muestran las medidas y acciones que reducen el biogás liberado a la atmósfera:
 - Captura y Quema
 - Inyección a gas natural
 - Generación eléctrica en RRSS
 - Aprovechamiento térmico del biogás.

EXPLORANDO LAS MEDIDAS.

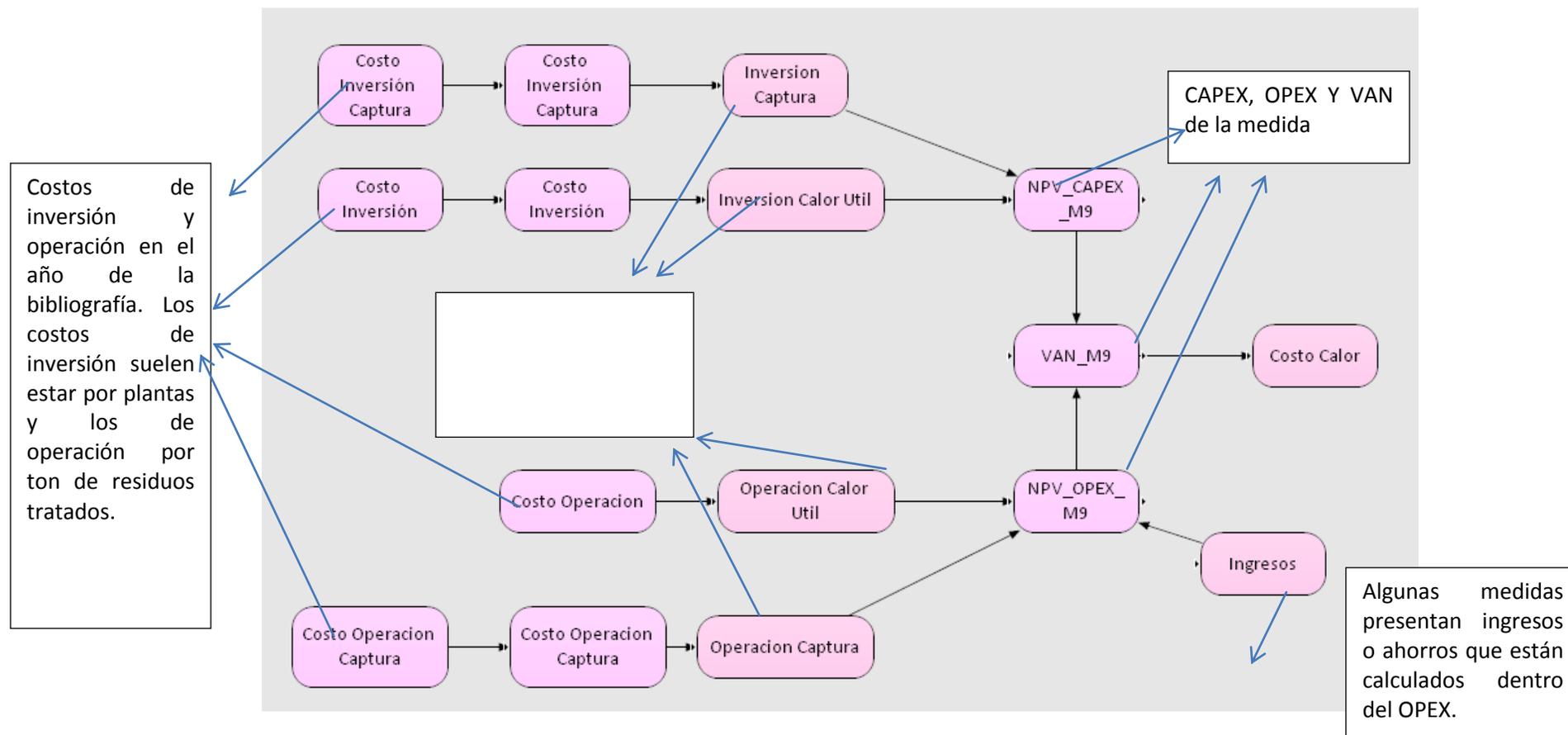
En las medidas de compostaje en plantas, compostaje domiciliario, compostaje en ferias, Incineración (WTE) y Biodigestión el diagrama es parecido a algo así:



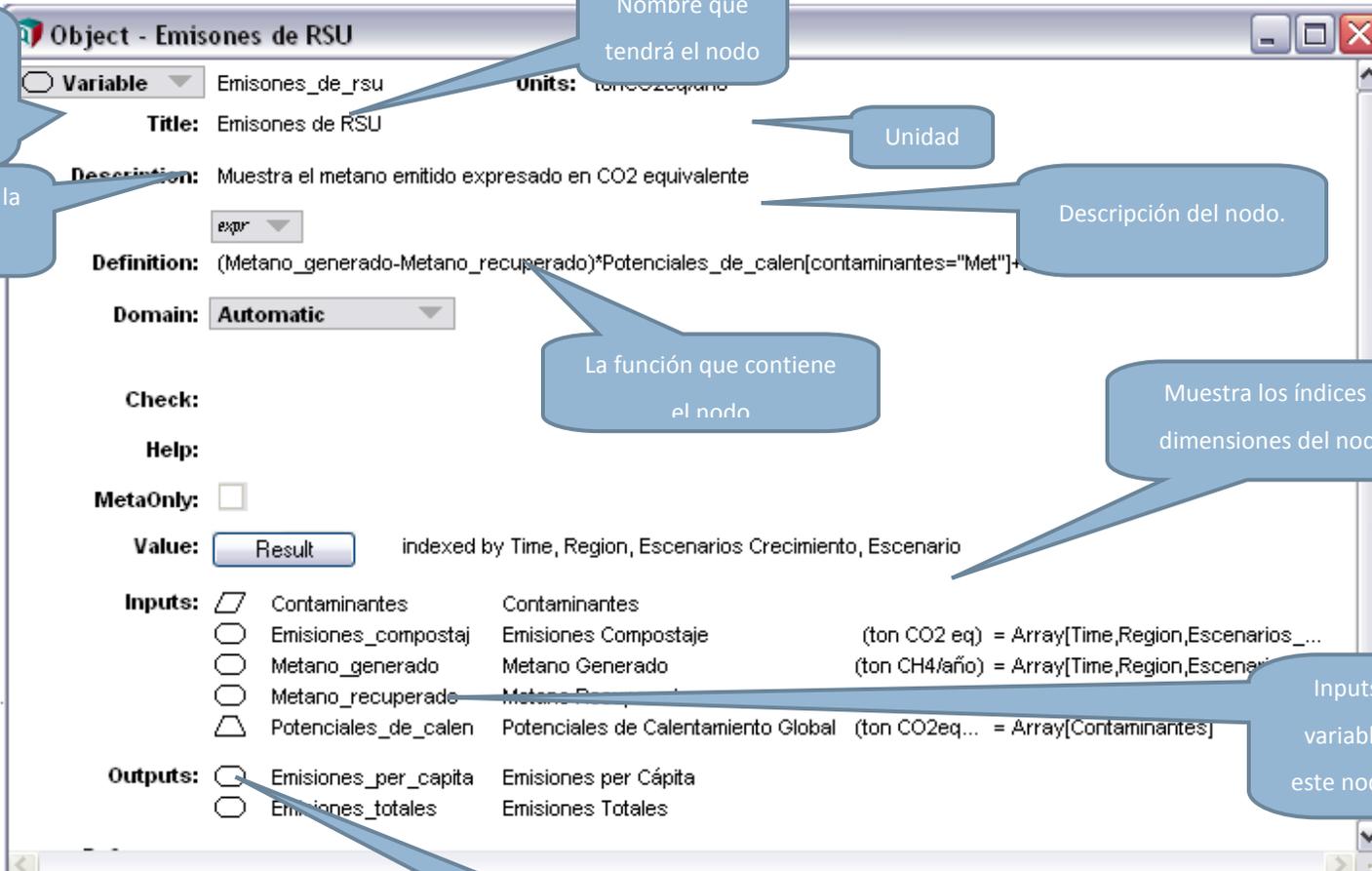
La penetración en este caso corresponde al porcentaje de un determinado tipo de residuo destinado a un cierto tipo de tratamiento. Se asume que este porcentaje equivale al porcentaje de la población que se verá beneficiada con este tratamiento, lo que nos permite calcular (junto con la población regional) los habitantes que serán cubiertos por dicho tratamiento en cada región. Puesto a que en la bibliografía los costos están entregados por número de habitantes, luego de saber el número de habitantes cubiertos por región se puede determinar el número de plantas grandes y pequeñas que deberán ser instaladas en cada región.

Para las medidas que involucran captura de biogás (Generación eléctrica, inyección Gas natural y aprovechamiento térmico) existen costos diferenciados entre la captura y la generación de energía o inyección del gas. Los costos de generación de electricidad, aprovechamiento de calor o inyección se aplican sobre el total del biogás calculado y los de captura sobre el diferencial (captura total-línea de base).

NODO DE COSTOS



EXPLORANDO DENTRO DE UNA VARIABLE:



Object - Emisiones de RSU

Variable: Emisiones_de_rsu **Units:** tonCO2eq/año

Title: Emisiones de RSU **Unidad**

Description: Muestra el metano emitido expresado en CO2 equivalente **Descripción del nodo.**

Definition: $(\text{Metano_generado} - \text{Metano_recuperado}) * \text{Potenciales_de_calen}[\text{contaminantes} = \text{"Met"}]$ **La función que contiene el nodo**

Domain: Automatic

Check:

Help:

MetaOnly:

Value: Result indexed by Time, Region, Escenarios Crecimiento, Escenario **Muestra los índices o dimensiones del nodo**

Inputs:

<input checked="" type="checkbox"/>	Contaminantes	Contaminantes	
<input type="checkbox"/>	Emisiones_compostaj	Emisiones Compostaje	(ton CO2 eq) = Array[Time,Region,Escenarios_...
<input type="checkbox"/>	Metano_generado	Metano Generado	(ton CH4/año) = Array[Time,Region,Escenario...
<input type="checkbox"/>	Metano_recuperado	Metano Recuperado	
<input checked="" type="checkbox"/>	Potenciales_de_calen	Potenciales de Calentamiento Global	(ton CO2eq... = Array[Contaminantes]

Outputs:

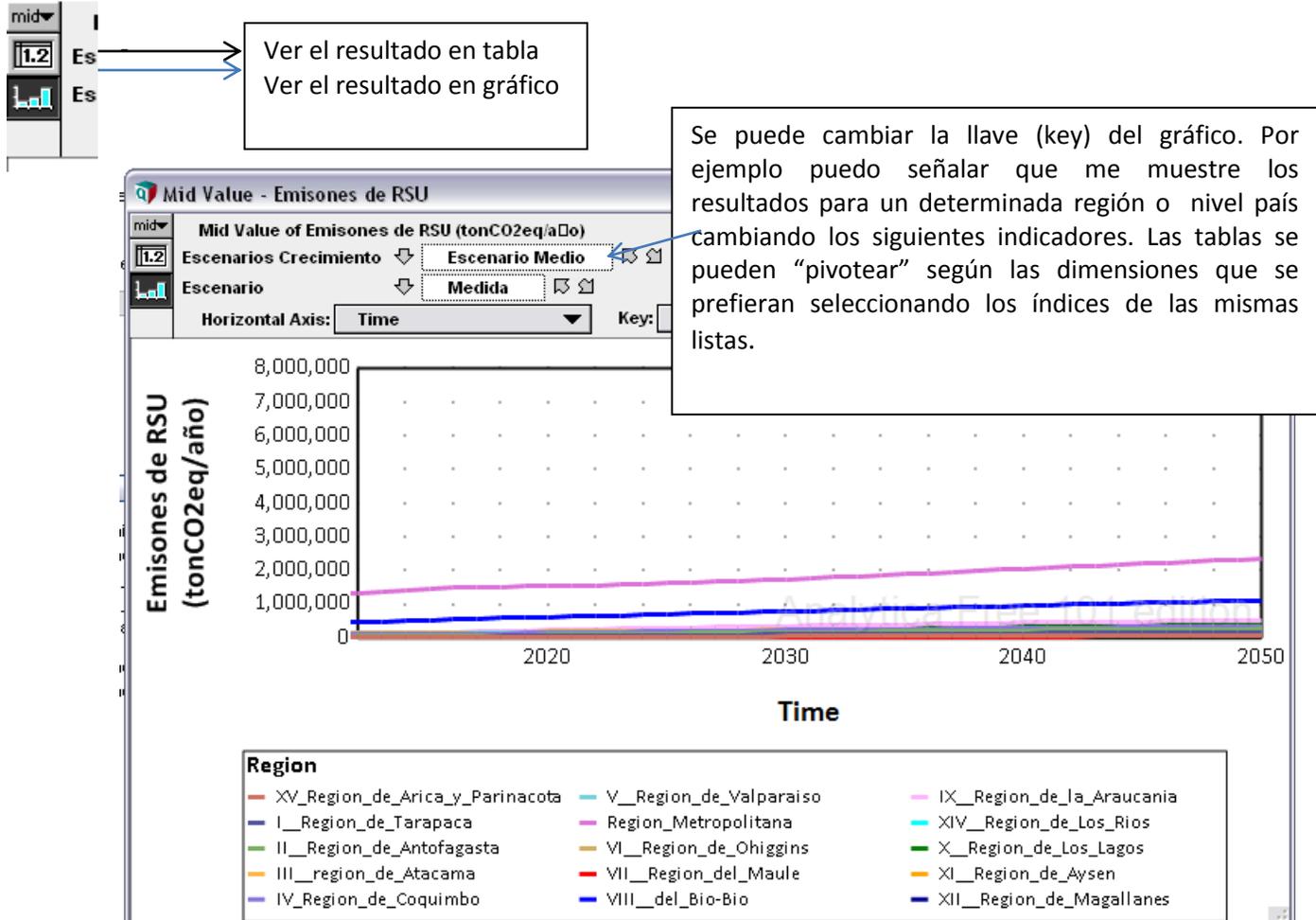
<input type="checkbox"/>	Emisiones_per_capita	Emisiones per Cápita
<input type="checkbox"/>	Emisiones_totales	Emisiones Totales

Callouts:

- Aquí se define el tipo de nodo
- Nombre de la variable
- Nombre que tendrá el nodo
- Unidad
- Descripción del nodo.
- La función que contiene el nodo
- Muestra los índices o dimensiones del nodo
- Inputs el nodo. Muestra las variables de las que depende este nodos. Se puede acceder a
- Inputs el nodo. Muestra las variables de las que depende este nodos. Se puede acceder a

EXPLORANDO LOS RESULTADOS.

Los resultados se pueden mostrar en gráficos o tablas y se pueden ver según los distintos índices que se prefieran:



Se puede el formato o tipo de gráfico haciendo click derecho sobre este y eligiendo “Graph setup.”

II. Resultados Análisis de Significancia

El test corresponde a la relación entre Generación de residuos per cápita y PIB per cápita para países OCDE.

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-185.99	-77.11	-19.74	51.51	502.86

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	3.354e+02	1.294e+01	25.93	<2e-16 ***
PIBPC	5.084e-03	3.852e-04	13.20	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 114.4 on 349 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.3329, Adjusted R-squared: 0.331
F-statistic: 174.1 on 1 and 349 DF, p-value: < 2.2e-16

III. Sobre los costos de la medida #6 (aumento de captura y quema)

Revisando varios MDLs asociados a RRSS en Chile se pudo construir la siguiente tabla:

Tabla 1: Recopilación de información operacional y económica de proyectos de captura y quema de biogás en RRSS en Chile bajo MDL

RRSS o Vertedero con MDL	LFG gen	LFG cap	CH4 cap	LB CH4	% cap	% LB	incred	Inversión	OyM (anual)	Inversión por captura	Inversión por metano	Inversión por metano
Nombre	m3/año	m3/año	Gg/año	Gg/año	%	%	%	USD	USD/año	USD/u%	USD/(tCH4 e. cap/año)	USD/(tCH4 e. cap/año)
El Panul	5.436.278	3.261.767	1,11	0,06	60%	5%	55%	1.045.180	163.738	19.003	992	155
El Molle	32.607.843	24.455.882	8,32	0,67	75%	8%	67%	3.100.800	340.571	46.279	405	45
Lomas los Colorados	173.973.600	86.986.800	29,58	0,25	50%	1%	49%	48.110.675	440.000	978.424	1.640	15
Santa Marta	89.837.938	58.394.660	19,85	1,85	65%	9%	56%	2.279.515	85.020	40.921	127	5
El Guanaco	7.687.783	4.997.059	1,70	0,08	65%	5%	60%	5.377.018		89.617	3.331	
El Retamo	5.325.792	3.461.765	1,18	0,06	65%	5%	60%	3.885.760		64.763	3.475	
Coronel	5.153.846	3.350.000	1,14	0,03	65%	2%	63%	1.300.000		20.786	1.170	
Copiulemu	17.910.035	15.223.529	5,18	0,88	85%	17%	68%	1.950.000		28.677	454	
El Empalme	15.146.040	9.844.926	3,35	0,10	65%	3%	62%	1.000.000	120.000	16.087	307	37
									promedio	40.767	1.283	51

Fuente: Elaboración propia en base a proyectos MDL consultados.

En promedio, esto entrega un costo de inversión por tonelada de metano extra capturado al año de \$1.283 USD.

Además, el costo de operación informado en los MDLs se ve bajo. \$51 USD/(tCH4 e.cap/año) en promedio entre los pocos que lo presentan. Si se descontara Santa Marta y Lomas los Colorados, que tienen costos de OyM anuales extrañamente bajos, estos serían aproximadamente un 10% de la inversión.

Por otra parte, en el presente estudio se utilizaron los costos de inversión y operación presentados por GESCAM (2012) para el tema de la succión activa y quema en antorcha (SAQA). Los autores entregan costos variables para las distintas macrozonas del país en base a la población cubierta con la medida (ver Tabla 2).

Para que esta información pudiera dialogar de mejor forma con el modelo, se procesó la información de GESCAM (2012) con el fin de que los costos se pudieran expresar en las mismas unidades que los MDLs, Inversión=USD/(tCH4 extra capturada (e.cap)/año) y OyM=USD/(tCH4 e.cap/año). Para esto se utilizó información poblacional recolectada en la LB, asociando una cierta emisión de metano por RSM generado por habitante. Consiguiendo que la SAQA represente cerca de \$1200 USD/(tCH4 e.cap/año) en inversión, y \$350 USD/(tCH4 e.cap/año) en OyM.

Comparado estos últimos valores con los costos de los MDLs, la inversión es similar y está dentro del orden de magnitud. Pero la OyM es 7 veces más alta que la promedio de los MDLs. Se tiene noción que los costos de OyM de la SAQA representan una gran fracción de los costos totales a la

hora de evaluar económicamente esta medida. La instalación de nuevas cañerías, funcionamiento de las bombas de aire y el constante monitoreo, hacen que de la OyM la principal limitante económica.

En base a las 2 fuentes de información consultadas, MDLs y estudio de GESCAM, se decide considerar el costo de inversión cercano a los \$1200 USD/(tCH4 e.cap/año), pero el de OyM cercano a los \$240 USD/(tCH4 e.cap/año). Pareciendo ser ambos valores conservadores. Además, se consideran variaciones regionales en base al estudio de GESCAM.

Tabla2: Tabla de costos de inversión y OyM según población para SAQA en las distintas macrozonas de Chile

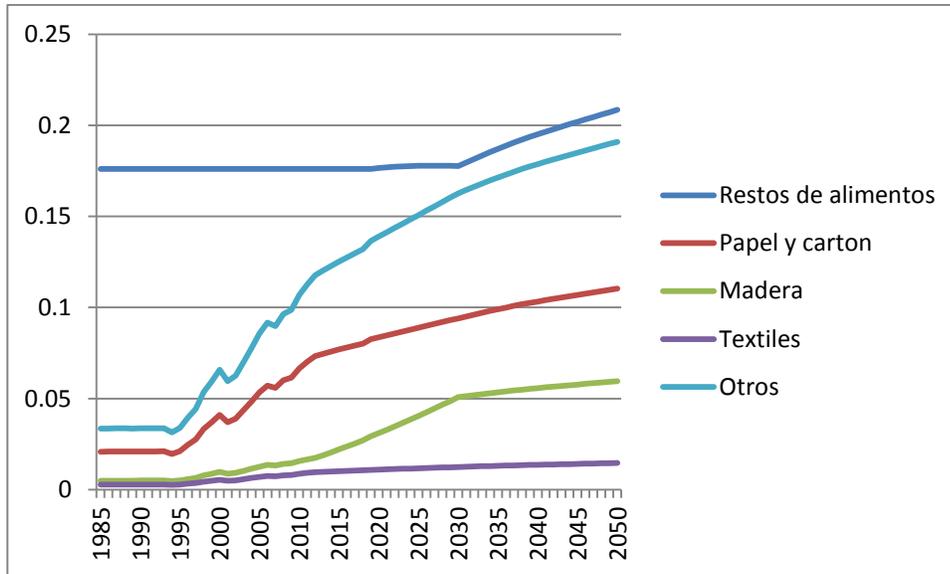
Inversión PC (USD)	GESCAM								
	Macrozona 1: Norte Grande								
Bajo	663.600	666.100	673.400	685.600	697.900	710.100	759.000	808.000	905.800
Medio	663.600	666.100	673.400	685.600	697.900	710.100	759.000	808.000	905.800
Alto	663.600	666.100	673.400	685.600	697.900	710.100	759.000	808.000	905.800
	Macrozona 2: Norte Chico								
Bajo	662.900	664.600	669.800	678.500	687.200	695.900	730.600	765.300	834.600
Medio	662.900	664.600	669.800	678.500	687.200	695.900	730.600	765.300	834.600
Alto	662.900	664.600	669.800	678.500	687.200	695.900	730.600	765.300	834.600
	Macrozona 3: Centro								
Bajo	663.100	665.000	670.800	680.500	690.200	699.900	738.500	777.200	854.600
Medio	663.100	665.000	670.800	680.500	690.200	699.900	738.500	777.200	854.600
Alto	663.100	665.000	670.800	680.500	690.200	699.900	738.500	777.200	854.600
	Macrozona 4: Sur								
Bajo	663.200	665.200	671.200	681.300	691.300	701.400	741.600	781.800	862.300
Medio	663.200	665.200	671.200	681.300	691.300	701.400	741.600	781.800	862.300
Alto	663.200	665.200	671.200	681.300	691.300	701.400	741.600	781.800	862.300
	Macrozona 5: Austral								
Bajo	663.300	665.500	671.900	682.700	693.500	704.200	747.300	790.400	876.600
Medio	663.300	665.500	671.900	682.700	693.500	704.200	747.300	790.400	876.600
Alto	663.300	665.500	671.900	682.700	693.500	704.200	747.300	790.400	876.600
	Macrozona 1: Norte Grande								
Bajo	57.700	63.500	70.500	88.800	89.100	89.400	161.200	239.900	397.200
Medio	60.000	63.600	77.800	89.000	93.500	112.800	221.100	329.800	547.200
Alto	61.500	66.300	82.300	91.200	110.500	139.900	275.800	411.700	683.700
	Macrozona 2: Norte Chico								
Bajo	57.900	58.300	64.900	73.200	92.800	94.300	125.800	187.200	310.500
Medio	58.000	64.000	71.700	91.300	92.900	96.800	168.300	250.900	416.800
Alto	59.700	64.400	77.200	91.400	96.800	111.700	207.200	309.500	514.000
	Macrozona 3: Centro								
Bajo	58.200	64.600	73.200	94.200	97.200	100.200	151.200	225.500	374.600
Medio	58.400	64.900	73.800	95.500	99.200	109.200	204.100	305.200	507.000
Alto	60.700	65.900	81.100	95.700	107.000	128.500	248.000	370.900	616.200
	Macrozona 4: Sur								
Bajo	58.400	65.000	74.000	96.000	99.800	103.700	163.900	244.200	406.300
Medio	58.900	65.300	75.800	97.800	102.600	115.600	220.400	329.700	548.400
Alto	61.200	66.700	83.100	97.900	112.100	136.400	265.900	398.000	662.400
	Macrozona 5: Austral								
Bajo	58.100	64.400	72.600	93.200	95.700	98.200	162.100	242.000	401.700
Medio	59.400	64.600	76.800	94.300	98.200	113.400	219.700	328.600	546.400
Alto	61.200	66.700	82.300	94.800	110.400	136.500	268.400	401.300	668.000

Fuente: Elaboración propia en base a GESCAM (2012).

IV. Análisis de sensibilidad

En esta sección se analiza cómo serían las emisiones de metano en los RSU si es que la generación de residuos correspondientes a los restos de alimentos para los años anteriores a 2013 se mantiene constante e igual a la de 2013 como se muestra en la Tabla 0-1.

Tabla 0-1 : Generación de rsm teórica



Si es que la generación de restos de alimentos y la generación total de alimentos fueran como la mostrada en la Tabla 0-1, la generación total de metano en el período de evaluación variaría sólo en un 4%. Esto demuestra que la composición o la generación pasada de los residuos no afectan de forma significativa la generación total de metano en los residuos sólidos municipales o en todo el sector residuos antrópicos.

Este fenómeno se produce puesto que cuando aumenta el porcentaje de alimentos en los residuos, disminuyen todos los demás componentes incluyendo también el papel y cartón. Como el papel y cartón tiene un contenido de materia orgánica superior a los restos de alimentos (40% en papel y cartón vs 15% en restos de alimentos), al hacer esta variación disminuye de forma importante la cantidad de carbono orgánico disuelto total lo que implica una menor producción de metano.

