

Licitación Pública

**“Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos
Domiciliarios, Asimilables y Otros”**

761-49-LP18

Corrección Informe Final

Subsecretaria de Desarrollo Regional y Administrativo

PREPARÓ:
NÚCLEO BIOTECNOLOGÍA CURAUMA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

Julio 2019

RESUMEN EJECUTIVO

Chile ha logrado un nivel de disposición de residuos sólidos domiciliarios y asimilables (RSDyA) a Rellenos Sanitarios superior al 78% del total generados. Actualmente se identifican 128 sitios de disposición final de residuos, dentro de los cuales se identifican 30 Rellenos Sanitarios, 8 rellenos manuales, 52 vertederos y 38 basurales (*Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere*).

En su continuo esfuerzo para contribuir en el desarrollo territorial sustentable a nivel comunal, provincial y regional y avanzar a las siguientes alternativas de tratamiento de residuos, la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (Subdere) ha solicitado la ejecución del proyecto “*Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros*”. Este estudio ha sido desarrollado siguiendo en estricto lo propuesto en los términos de referencia o bases de licitación N° 10659/2018.

La Subdere ha realizado diversos estudios sobre RSDyA destacando la reciente publicación del Diagnóstico y Catastro Nacional de Sitios de Disposición Final e Instalaciones para la Gestión de Residuos Sólidos que ha servido de base para identificar, caracterizar y analizar que tecnologías son posibles de ser desarrolladas en Chile. Asimismo, en el estudio se ha consultado tanto a expertos nacionales como internacionales, además de realizar una extensa revisión bibliográfica incluyendo publicaciones recientes sobre Chile y Latinoamérica. La Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, a través del Núcleo de Biotecnología de Curauma (NBC) como ejecutor del proyecto realizó la búsqueda, clasificación y análisis de la información, organizando reuniones, talleres y seminarios, además de evaluar características territoriales y geográficas que tuviesen relación con la factibilidad técnica, ambiental, legal y económica que permite implementar las tecnologías de tratamiento alternativos a Rellenos Sanitarios.

El estudio cumple con lo establecido en los respectivos términos de referencia que consideran el desarrollo de tres etapas, de las cuales se derivaron en seis informes. A continuación, se detallan los contenidos exigidos en las bases para cada etapa.

En la etapa 1 se da cumplimiento al objetivo específico N°1 “*Detectar y clasificar el funcionamiento de tecnologías que procesen residuos sólidos domiciliarios asimilables y otros, considerando alternativas de recuperación, tratamiento biológico, tratamiento térmico y disposición final*” con la entrega de dos informes. El informe N°1 Global contiene la revisión bibliográfica sobre las tecnologías existentes de residuos sólidos domiciliarios asimilables y otros, junto a la definición de los actores claves que serán entrevistados durante el estudio. El informe N°2 contiene el estado del arte sobre el análisis de la industria, tanto nacional como internacional y una clasificación de las alternativas tecnológicas existentes sobre residuos sólidos domiciliarios asimilables y otros, considerando como mínimo las tecnologías de pretratamiento de residuos y los sistemas de tratamiento químico, biológico y térmico.

En la etapa 2 se da cumplimiento al objetivo específico N°2 “*Conforme a las tecnologías estudiadas, evaluar la factibilidad, técnica, legal, económica e institucional, considerando las distintas características territoriales del país*” con la entrega del informe N°3. Este informe contiene una descripción de cada alternativa considerando aspectos técnicos, legales, económicos e institucionales detallados en el punto 5.3 de las bases de licitación.

En la etapa 3 se da cumplimiento al objetivo específico N°3 “*Propuestas y recomendaciones para la implementación de las distintas alternativas por cada territorio*” con la entrega de tres informes. El informe N°4 considera los siguientes temas: desarrollo de una propuesta de alternativas tecnológicas a nivel regional o de Macrozona, instrumentos de apoyo, viabilidad de inversión pública e identificación de posibles fuentes de financiamiento. El informe N°5 corresponde a lo desarrollado durante la jornada de discusión sobre los instrumentos de apoyo, viabilidad de inversión pública y posibles financiamientos. Finalmente, el corresponde al cierre del estudio que incluye lo realizado en el semanario e informe final.

Cabe señalar que el país avanza sostenidamente hacia conceptos de sustentabilidad mayores que los de décadas atrás, donde la Economía Circular surge con gran fuerza como orientadora de cambios en estrategias ambientales y en sus correspondientes tecnologías. Por ello, la aplicación del Principio de las 3R (reducir, reciclar y reusar) ha avanzado sustancialmente en la sociedad chilena, lo que genera nuevos escenarios donde el reciclaje y en general el mejor uso de los recursos tiene un futuro muy promisorio. En este contexto se justifica plenamente que se realicen estudios para evaluar las tecnologías que será necesario desarrollar, sustituyendo a procesos tradicionales que no cumplen con las expectativas de un sistema ambientalmente fortalecido. En tal sentido, el presente informe está definido como una contribución técnica y económica para la mejor selección de las tecnologías que será necesario implementar en el país, con una visión donde la región es considerada vital en estas transformaciones.

El presente informe es la versión final del estudio realizado en etapas, cada una de las cuales con sus propios objetivos. Para efectos de presentación, se ha optado por mantener la estructura tal cual fue el desarrollo del estudio, realizando la correspondiente integración de resultados que se muestran en las Conclusiones y Recomendaciones Finales.

El presente informe cumple con la entrega final de los productos solicitados en la consultoría que en su conjunto se dividió en las siguientes tres etapas:

Etapas 1

Selección de Gobiernos Regionales representativos por Macrozonas

Esta etapa consideró la selección de los gobiernos regionales por criterio de Macrozonas, en las cuales las regiones se agrupan por ubicación territorial en norte, centro y sur. Para ello, PUCV y Subdere definieron trabajar en las regiones de Tarapacá, Valparaíso y Los Lagos, considerando Macrozonas Norte, Centro y Sur del país.

Además, el análisis regional utilizó datos de composición de residuos, generación de residuos, sitios de disposición y cobertura de disposición provenientes del diagnóstico elaborado por Subdere. En parte la información se complementó con estudios específicos que aportasen algunos antecedentes adicionales y permitiesen validar la información incluyendo visitas a terreno con entrevistas con actores clave.

La Tabla A muestra un resumen de la cantidad y composición de RSDyA para las regiones del país, y se observa que la disposición final es en su mayor parte hacia vertederos y rellenos sanitarios, con muy escasas aplicaciones de otras tecnologías. En general existe un potencial de material reciclable pero la práctica no es extendida, estando en su mayor parte centralizada en las regiones más pobladas.

Tabla A. Resumen de datos por Macrozona y regiones

Macrozona	Región	Cobertura Disposición (%)		Disposición Residuos (N°)			Generación Residuos (ton/año)	Composición RSDyA (%)						Residuos potencial reciclaje (%)
		V	RS	V	RS	B		MO	PyC	P	V	M	O	
Norte	Arica y Parinacota	99,8	0,2	2	1	0	140.155	52,8	12,9	10	6,1	2	16,2	31
	Tarapacá	98	2	2	2	1	172.368	47,8	13,5	18,1	2,1	1,4	17,1	35
	Antofagasta	76,4	23,6	5	3	0	301.299	40,79	6,71	11,18	5,66	3,11	32,6	-
	Atacama	-	90	1	3	1	108.440	47,2	12,5	13,1	2,7	2,8	21,8	35,7
	Coquimbo	-	55,6	8	1	0	341.700	51,8	11,7	14,9	2,6	2,3	16,8	25-34
Centro	Valparaíso	-	91	5	3	2	859.017	70,2	7,8	9,3	2	1,2	9,2	20,5
	Santiago	-	97,8	1	3	0	3.133.509	55,9	12,1	10,5	3,8	1	16,8	-
	O'Higgins	-	100	0	2	0	351.495	49,3	14,4	13,8	3,4	2,8	16,2	37,15
	Maule	-	93,9	1	3	0	368.971	50,3	18,7	13,3	2,7	1,2	13,7	38,97
Sur	BioBío	-	94,4	2	5	0	564.590	57	10,3	9,4	2,4	0,3	20,6	24
	Ñuble	-	96,65	0	1	0	149.249	64,7	7,6	9,9	3,1	0	14,7	21,95
	Araucanía	-	28,78	13	3	0	337.182	66,8	5,9	8	1,4	1,5	16,5	-
	Los Ríos	100	-	3	0	0	173.445	49,8	9,7	13,1	2,6	1,7	23,2	27,9
	Los Lagos	-	33,8	15	2	1	333.081	55	8	11	3	4	19	-
	Aysén	-	56	6	4	0	57.857	61	9,2	6,9	0	6,9	16,1	-
	Magallanes y Antártica	100	-	7	0	-	99.210	35	20	15	0	15	15	35,7

Fuente: Subdere, 2017. Siglas - V: vertedero, RS: relleno sanitario, B: basural, MO: materia orgánica, PyC: papel y cartón, V: vidrio, M: metales, O: otros.

Identificación de actores claves

La identificación de los actores claves se logró a partir del levantamiento de información realizado por la PUCV. Estos se han dividido en sector público y privado, correspondiente para el sector público, Ministerios, Gobiernos Regionales y Municipalidades, entre otros. En el sector privado se consideró a empresas, y expertos en la temática de residuos sólidos provenientes tanto del mundo académico como industrial.

Cada uno de los actores claves identificados fueron entrevistados con el fin de analizar las temáticas relacionadas al manejo y gestión de los residuos sólidos domiciliarios y asimilables, considerando de sus comentarios las debilidades del sistema, recomendaciones de mejoras, tecnologías implementadas y la valorización de residuos, de acuerdo con la Pauta de Entrevista presentada en el Anexo B.

Cabe destacar que, para el análisis final de las tecnologías, se consideraron entrevistas de más actores claves de los que fueron presentados en los listados propuestos.

Revisión Bibliográfica

Esta sección consistió en la revisión bibliográfica de los temas relevantes relacionados al manejo y gestión de los residuos sólidos domiciliarios y asimilables. Se incluyeron definiciones de términos que se emplean en el desarrollo del informe. Además, se analizan y enumeran las leyes y normativas asociadas y un análisis de la valorización de residuos sólidos a nivel nacional e internacional. Las definiciones más relevantes para el informe son: relleno sanitario, vertedero, residuos sólidos domiciliarios y asimilables (RSDyA) y residuos industriales no peligrosos y asimilables a urbanos (RESNOPEL). Los tipos de residuos son clasificados en: residuos domiciliarios, residuos comunales, residuos de actividades comerciales y servicios, residuos de actividades de construcción y residuos industriales.

En cuanto a la normativa ambiental se enumeran las leyes y normas asociadas al manejo y gestión de los RSDyA tales como: código sanitario, ley general de medio ambiente, reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios, reglamento del fondo para el reciclaje, Ley marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje, norma chilena de compostaje, código del trabajo, principalmente. En la Tabla B se muestra la clasificación de los procesos de tratamiento de RSDyA, donde destaca el proceso biológico de digestión anaeróbica y la incineración como las tecnologías de mayor uso mundial. A ellas se suma los procesos de reciclaje, compostaje y pretratamientos que tienen estos residuos.

Tabla B. Tipos de tratamientos de RSDyA

Clasificación	Tipo de Tratamiento	Definición	Etapas	Producto
Tratamiento Biológico	Digestión Anaerobia	Proceso en el cual conjuntos de microorganismos descomponen la materia orgánica, bajo un proceso que opera en condiciones anaeróbicas.	-hidrólisis, -acidogénesis, -acetogénesis, -metanogénesis	Biogás
	Mecánico	Trata los RSDyA que no han sido separados en el centro de recepción. Puede ser útil para incrementar la vida útil del relleno sanitario, pues reduce la carga que entra y previene la degradación de la fracción orgánica, la cual es tratada empleando tecnologías biológicas.	-Mecánica: Separación -Biológica: Digestión anaerobia	Biogás
Tratamiento Térmico	Incineración	Combustión completa, con temperaturas que varían entre 850 a 1.200°C. Requiere de la presencia de oxígeno para operar, sin la necesidad de un pretratamiento de los RSDyA.	-	-desecho inerte -calor/vapor
	Gasificación	Requiere de un pretratamiento de los RSDyA que se ingresan al proceso, operando como una oxidación parcial, entre 800 a 1.600 °C, en la cual se controla la alimentación de oxígeno.	-	Syngas
	Pirolisis	Degradación de la materia orgánica sin oxígeno, operando entre 400 a 800 °C.	-	Biocombustible

Valorización de RSDyA a nivel nacional

Chile destaca en Latinoamérica por su mejor gestión ambiental, lo que se ha materializado en leyes y normas que buscan tanto valorizar los residuos, como también fomentar el Principio de las 3R (reúso, reciclaje y reducción), estrategia que se originó en los años setenta en Estados Unidos a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), alcanzando un creciente desarrollo en varios estados de ese país como asimismo en Europa, donde existe una fuerte cultura de reciclaje y revalorización de residuos.

La Política Nacional de Residuos Sólidos 2018–2030 establece productos prioritarios que deben ser gestionados correspondientes a: aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías, envases y embalajes, neumáticos, y pilas; buscando llegar a una valorización del 30% de los RSDyA al año 2030. Esta situación conlleva a que las empresas, municipios e instituciones, tengan que replantearse su modelo de operación considerando que los residuos que gestionan deberán disminuirse y valorizarse, para poder cumplir con las metas y obligaciones que serán impuestas.

Algunos datos sobre la valorización de RSDyA en Chile se presentan a continuación:

- En el último registro sobre residuos sólidos del RETC (2017), la valorización de RSD y A fue de un 25,7% del total de la basura producida en Chile.
- Para valorizar los residuos se requiere separar por tipo y composición. Para ello es de vital importancia poseer de instalaciones de recepción y almacenamiento de los residuos, actividades que se pueden realizar en Puntos Verdes, Puntos Limpios o Centros de Acopio.
- El principal proceso de valorización de los RSDyA en Chile durante el año 2017 fue de reciclaje, reúso y reducción, procesándose 4.059,2 mil toneladas, seguido del proceso de compostaje, con 1.060,4 mil toneladas y el proceso de valorizaciones varias, con 984,4 mil toneladas.
- Las tecnologías de valorización de residuos con generación de energía alcanzan el 1,86% del total de valorización en Chile, lo que muestra el escaso desarrollo.

Valorización de RSDyA a nivel internacional

A nivel mundial, el incremento de la densidad poblacional, en conjunto con la masiva migración de la población rural a áreas urbanas, el aumento de nivel de ingresos, la ampliación de la sociedad de consumo y las nuevas tecnologías industriales de gran escala conducen a un aumento sostenido en la generación de residuos, generando un impacto a nivel socio económico y ambiental de grandes magnitudes (Moya et al., 2017). En general, la mayor parte de las tecnologías que se han instalado en distintos países obedecen a estrategias sanitarias más que la limpieza del medio ambiente, situación que comienza a revertirse aceleradamente dado el mayor riesgo de efectos ambientales globales.

El proceso de gestión de los RSDyA difiere sustancialmente entre los países que están en vías de desarrollo y los desarrollados, tanto en recolección, transporte y disposición, además de los procesos de reúso y reciclaje que se mencionaron. Asimismo, la composición de los RSDyA varía entre países donde se encuentra una relación directa con el nivel de ingresos y tipo de economía, siendo reflejado en la composición de materia orgánica, entre un 75% para los países con bajos ingresos a un 36% para los países con altos ingresos.

El enfoque de los países desarrollados está dirigido al empleo de tecnologías de tratamiento de residuos emergentes, buscando la producción de subproductos, tales como energía, compost y/o biocombustibles (Moya, et al., 2017).

Algunos datos sobre la valorización de RSDyA en el mundo:

- En el caso de América Latina y el Caribe la producción de RSDyA corresponde al 10% de los residuos generados a nivel global con un valor al año 2014 de 541.000 ton/día. Del total de residuos generados, 145.000 ton/día son dispuestas en basurales. La tasa de reciclaje de los residuos generados en América Latina y el Caribe varían entre un 1 a un 20%.
- Los municipios en Brasil recolectaron un total de 264.800 toneladas de RSDyA durante 2014 (incremento del 5%, respecto al año anterior). El destino de estos residuos correspondió a incineración (44,5%), autoclave (21,9%) y microondas (2,5%). El 31,1% restante tuvo como destino final una disposición en rellenos sanitarios, zanjas sépticas y basurales (Abrelpe, 2014).
- En el 2012 el Banco Mundial estimó que la producción de RSDyA fue de 1.3 billones ton/año, y se proyecta que para el 2025 llegue a 2.2 billones de ton/año (Moya, et al., 2017; Hoornweg, D y Bhada-Tata, P. 2012).
- En promedio, la recolección de RSDyA alcanza cerca de un 41% en países de bajos ingresos, pudiendo llegar hasta un 10% en países como África. En tanto países con ingresos altos medios obtienen recolecciones cercanas al 85% (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).
- La producción de energía a partir de los RSDyA es atractiva para Europa, pues no solo genera una reducción del volumen de los residuos, sino que también provee una fuente local de generación de energía renovable, disminuyendo las emisiones de carbono (Smith, A., et al, 2001).
- En el 2016, se identificaron 1.688 plantas de generación de energía a partir RSDyA a nivel mundial, de las cuales 512 plantas de tratamiento de RSDyA están ubicadas en Europa, 922 en Japón, 166 en China y 88 en EEUU.
- En Europa, el 9,9% de los RSDyA son compostados, el 31,3% son reciclados, y el 27,2% son incinerados (Scarlat, 2018).
- En países en desarrollo, incluidos Asia, el manejo de los RSDyA constituye uno de los principales gastos en los cuales incurren las autoridades de gobiernos locales (Aleluia, J., Ferrao, P. 2017).

Diagnóstico Nacional de la Gestión de RSDyA

La cobertura urbana y rural de disposición de RSDyA en Chile es superior al 81% en todas las regiones. De acuerdo a la concentración de habitantes, las regiones centrales generan las mayores cantidades de residuos y poseen la mayor disposición de residuos sólidos en Rellenos Sanitarios. Las regiones que pertenecen a los extremos del país son las que poseen las menores generaciones de residuos y porcentajes de disposición de residuos sólidos en Rellenos Sanitarios cercano a cero.

Se pudo identificar que la gestión de residuos sólidos genera un déficit en Chile, pues los costos por gestión de residuos superan a los ingresos de aseo y ornato en una magnitud que se encuentra entre 1,99 a 7,22 veces. El principal costo de la gestión de los residuos corresponde a la recolección y transporte de residuos, el cual puede llegar a un 70% de los costos totales de la gestión de los residuos. Durante el año 2017 se valorizaron 611.716 toneladas de residuos sólidos en el sector municipal y 6.404.516 toneladas de residuos sólidos en el sector industrial.

La Tabla C muestra un resumen del diagnóstico regional por macrozona sobre la generación y eliminación de RSDyA, considerando aspectos como la cobertura, la generación de residuos, la producción de residuos, el N° y tipos de sitios de disposición final de residuos y los gastos por servicios de aseo que deben invertir como región.

Tabla C. Resumen del diagnóstico nacional de RSDyA por Macrozona

		Norte	Centro	Sur	Capital
		Tarapacá	Valparaíso	Los Lagos	Santiago
Cobertura servicios recolección RSD (%)	Urbana	100	97,1	>80	100
	Rural	86,7	87,3	<70	<90
Generación RSD (ton/día)		174.360	859.017	333.079	3.133.510
Producción per cápita RSD (kg/hab/día)		1,04	0,97	0,93	1,15
N° Sitios disposición RSD		5	10	18	4
Rellenos Sanitarios (RS)		0	3	2	3
Relleno Manual (RM)		2	0	0	0
Vertederos (V)		2	5	8	1
Basurales (B)		1	2	8	0
RSD recibidos por sitios disposición (%)	RS	0	91,3	33,9	97,9
	RM	1,6	0	0	0
	V	97,8	8,3	45,3	2,1
	B	0,6	0,4	20,8	0
Gastos por servicios de aseo (%)		8,06	7,87	6,5	7,56
% Recolección		61	83	77	67
% Disposición Final		39	17	23	33

Fuente: Subdere, 2017.

Valorización de Residuos

El análisis del estado del arte de la valorización de residuos a nivel internacional, se separa en el análisis de la cadena de la gestión de residuos, partiendo el ciclo en la generación y finalizando en la disposición de residuos. Según cifras del Banco Mundial un país de ingresos bajos generará entre 0,6 a 1 kg/cápita/día de residuos, uno de ingresos medio generará entre 0,8 a 1,5 kg/cápita/día y un país de ingresos altos puede generar entre 1,1 a 4,5 kg/cápita/día.

La recolección de residuos sigue un modelo similar, identificándose para el sector urbano de los países de ingresos bajos, una recolección del 48%, en países de ingresos medios una recolección en el sector urbano de 71 a 85% y en países de ingresos altos, una recolección del 100%.

A medida que los ingresos de los países incrementan, se puede visualizar una clara disminución de la fracción orgánica de los residuos y un incremento en la generación de papel que es dispuesto.

Se destaca en la valorización de residuos, la implementación de técnicas de pretratamiento para el reciclado de los residuos, la incineración como la principal técnica de tratamiento térmico y tanto el compostaje como la digestión anaerobia, como técnicas de tratamiento de la fracción orgánica.

Análisis de la Industria

Durante la primera etapa del proyecto se procedió a realizar un análisis de las tecnologías y la gestión de residuos involucradas. El análisis se separó en análisis FODA para el análisis del sistema público, análisis de PORTER para el análisis de valorización y análisis PESTEL para analizar el escenario como país, para la gestión y tratamiento de los residuos.

La recolección de residuos en Chile se encuentra desarrollada con alta cobertura de disposición. Esto permite que se pueda disponer de materia prima para las industrias de tratamiento de residuos. La siguiente etapa de la gestión de residuos debe estar dirigida a la valorización de los residuos y el traspaso del concepto de gestión de residuos a gestión de recursos, para poder implementar sitios de disposición final de tercera generación.

El mercado de los residuos es prácticamente monopólico, pues hay escasos competidores. De acuerdo a la escala de generación de residuos, la valorización puede ofrecer un espacio de competencia para la implementación de las tecnologías, obedeciendo una economía de escala.

Clasificación de Tecnologías de Tratamiento

Las tecnologías de tratamiento de residuos se clasifican en tres categorías, correspondientes a tecnologías de tratamiento biológico y químico, tecnologías de tratamiento térmico y tecnologías de pretratamiento de residuos.

En el estudio se optó por considerar que las tecnologías de compostaje y digestión anaerobia correspondían a tratamiento biológico y químico, mientras que las tecnologías de incineración, gasificación y pirolisis son identificadas como tratamiento térmico, a lo que se agregan en el pretratamiento de residuos, las tecnologías de separación (manual y magnética), la trituración y la compactación.

Etapas 2

Tecnologías de tratamiento biológico

En la etapa 2 se elaboraron fichas de las tecnologías de tratamiento de residuos, separándolas de acuerdo a las categorías identificadas. Cada ficha posee el fundamento de la tecnología, las tecnologías disponibles, la descripción de la tecnología, diagramas de flujo, indicadores, características y destino de los productos y/o residuos generados, requerimientos del sustrato o residuo a utilizar, descripción alternativa para fracción de

RSD no tratable, estabilidad operacional, requisitos técnicos del personal, requerimientos para el desarrollo, restricciones de carácter territorial, layout y el marco normativo.

- a) **Tecnología de compostaje:** es una de las tecnologías más ampliamente empleadas para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos. El compostaje es un proceso de estabilización biológica de la fracción orgánica de los residuos, mediante una fermentación bacteriana termofílica, en contacto permanente con aire.
- Las principales técnicas de compostaje identificadas corresponden a la compostación lenta o natural y la compostación acelerada.
 - Se pueden obtener reducciones de masa desde un 50 a un 80% en volumen.
 - Posee una amplia capacidad de tratamiento de residuos, y se identificaron plantas con capacidades desde 0,18 a 365.000 ton/año.
 - Esta tecnología tiene una vida útil media de 20 años.
- b) Tecnología de **digestión anaerobia:** es una tecnología de estabilización de la materia orgánica, que se da de manera natural en ausencia de oxígeno.
- Las principales tecnologías disponibles corresponden a la digestión por lotes, digestión continua, digestión en una etapa, digestión húmeda, digestión seca y digestión multi etapa.
 - Mediante esta tecnología se puede generar energía y producir un digestato semi estabilizado. Dependiendo de las características de la fracción orgánica que ingresa al proceso, este digestato puede ser comercializado como compost. Cabe notar que, para las evaluaciones económicas, solo se consideró la generación de energía.
 - Se identificaron plantas con capacidad de tratamiento desde 7.500 a 100.000 ton/año por línea.
 - Esta tecnología tiene una vida útil media de 20 años.

Tecnologías de tratamiento térmico

- a) Tecnología de **incineración:** es una reacción química de oxidación entre combustible y un comburente, caracterizada por su gran exotermicidad y por las elevadas temperaturas que produce.
- Las principales tecnologías disponibles corresponden a la incineración de parrilla, incineración de horno rotatorio, incineración de lecho fluidizado e incineración horno para líquidos.
 - A nivel internacional, es una de las técnicas de valorización más ampliamente empleadas y madurez en el mercado. Mediante esta tecnología, se puede generar energía térmica y eléctrica.
 - Se identificaron plantas con capacidad de tratamiento desde 100.000 a 330.000 ton/año por línea.

- Esta tecnología tiene una vida útil media de 36 años.
- b) Tecnología de **pirólisis**: es una tecnología de descomposición de residuos a altas temperaturas, en ausencia de oxígeno. Cabe destacar de ella lo siguiente:
- Las principales tecnologías disponibles corresponden a pirólisis a baja temperatura (LTC), pirólisis a alta temperatura (HTC), pirólisis de alta temperatura + fusión (HTCM), pirólisis con horno rotatorio, pirólisis con tubos y pirólisis con superficie de contacto.
 - Mediante esta tecnología se puede generar energía, gas sintético, y una fracción líquida que puede ser comercializada (bio-acetite, cera y alquitrán).
 - Se identificaron plantas con capacidad de tratamiento desde 6.000 a 24.000 ton/año.
 - Esta tecnología tiene una vida útil media de 5 a 8 años.
 - Se recomienda realizar estudios de operación y comportamiento de la tecnología, antes de considerar realizar inversiones en equipamiento.
- c) Tecnología de **gasificación**: es un proceso térmico de oxidación parcial de los residuos a altas temperaturas, mediante un proceso controlado de alimentación de oxígeno.
- Las principales tecnologías disponibles corresponden a la gasificación convencional, gasificación con plasma, gasificación lecho fijo, gasificación lecho arrastrado y gasificación con lecho fluidizado.
 - Mediante esta tecnología se puede generar energía y gas sintético, que pueden ser comercializados.
 - Se identificaron plantas con capacidad de tratamiento desde 10.000 a 100.000 ton/año por línea.
 - Esta tecnología tiene una vida útil media de 35 años.

Tecnologías de pretratamiento de residuos

Tecnología de **pretratamiento**: conjunto de técnicas que permiten preparar los residuos para poder ser valorizados mediante diferentes alternativas tecnológicas. La ficha desarrollada está enfocada al pretratamiento para poder realizar el reciclaje o reúso de residuos de gran volumen, plásticos, metales, papel y cartón y vidrios.

- Las principales tecnologías disponibles corresponden a separación manual, separación magnética, trituración, compactación, y Lavado-secado.
- Se identificó una flexibilidad de capacidad de tratamiento de residuos, con plantas con capacidad de tratamiento desde 10.000 a 100.000 ton/año o más.
- Esta tecnología tiene una vida útil media de 20 años.

Actores claves

Los roles identificados para los actores involucrados en la implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos están asociadas a leyes que entregan los diferentes deberes que tienen las instituciones públicas.

- D.F.L N° 725/67 – Responsabilidad de la Municipalidad de encargarse de la recolección, transporte y eliminación de basura, residuos y desperdicios. Este decreto entrega las responsabilidades del Ministerio de Salud, que actúa a través de los SEREMIS.
- DFL 1/2019 – identificación de las funciones de la Unidad de Medio Ambiente, Aseo y Ornato y la factibilidad en áreas metropolitanas, de que las Municipalidades puedan entregar la gestión de residuos a los Gobiernos Regionales.
- La Ley 20.417 crea la Superintendencia de Medio Ambiente encargada dentro de sus principales funciones, de la fiscalización de proyectos de tratamiento de residuos.

Los modelos de negocios presentados consideran los proyectos tipo BOT (Build-Operate –Transfer) o BOOT (Build-Own-Operate-Transfer).

Análisis económico de las tecnologías

El análisis económico se ha desarrollado sobre la base de que se trata de evaluaciones a nivel de perfil de proyectos de cada tecnología analizada, donde se han asumido supuestos razonables para lograr una aproximación que entregue información económica para identificar qué inversiones podrían representar y bajo que condiciones se logran beneficios, considerando una distribución regional de las instalaciones. En tal sentido este análisis permite avanzar hacia la selección de tecnologías, definiendo tamaños y condiciones técnicas y económicas.

En el estudio se elaboraron flujos de caja para cada tecnología, lo que significó definir Ingresos y Egresos. Estos últimos provienen del Costo de Capital o Capital Expenditure (CAPEX), y los Costos de Operación o Operational Expenditures (OPEX), mientras que los ingresos se generan fundamentalmente por cobros del tratamiento y venta de energía. En esta etapa se desarrollan curvas de CAPEX y OPEX por tecnología.

Se identifica en el CAPEX las inversiones por terreno, infraestructura, equipamiento, instalación de equipos, sistemas eléctricos, sistemas de cañerías y gastos por contingencias. En el OPEX, los costos operativos incluyen la mano de obra, agua y electricidad de equipos y establecimiento, petróleo del equipamiento, mantención del equipamiento y materias primas requeridas requeridas en diferentes etapas del tratamiento de los residuos.

Síntesis del análisis de la industria actualizada

La información presentada del análisis de FODA, PORTER y PESTEL fue validada con un equipo de expertos. El equipo estuvo compuesto de profesionales del sector privado y permitió complementar la visión presentada en la primera etapa del proyecto.

Etapa 3

Propuestas tecnológicas y su análisis económico

Para el análisis de las propuestas tecnológicas, se diseñaron diferentes tamaños de plantas de tratamiento para las tecnologías de pretratamiento y compostaje, determinando los CAPEX y OPEX asociados. Por su parte, se identificaron los tamaños de plantas de tratamiento para las tecnologías de digestión anaerobia e incineración considerando la disponibilidad de RSDyA de cada región.

Debido al bajo nivel de madurez y recomendaciones de diversas fuentes, no se analizó el uso de las tecnologías de pirólisis y gasificación, considerando que aún están en fase de desarrollo, requiriendo otros estudios para determinar las eficiencias efectivas del proceso, y de este modo, poder analizar los ingresos que pueden generar estas tecnologías.

Cada tecnología fue analizada por Macrozona, realizando curvas de Valor Actual Neto, punto de equilibrio, TIR y la sensibilización de variables como rendimiento de recuperación (pretratamiento), precio de venta de compost (compostaje) y precio de venta de energía (digestión anaerobia e incineración). Para el análisis de la implementación de las tecnologías en una comuna en específico dentro de la región perteneciente a la Macrozona, se determinó el ingreso/cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a cero, y se comparó con el cobro de disposición y disponibilidad de residuos.

El cobro de disposición corresponde al cobro por recolección y transporte, que tal como se menciona previamente para la gestión de residuos, corresponde al 70% del total de los costos.

Para las condiciones definidas, las tecnologías de compostaje, pretratamiento y digestión anaerobia pueden ser implementadas en todo Chile.

La implementación de la incineración se encuentra en general definida en el Diagrama de Tanner (Dimitrios, K. et al, 2013), con límites del área factible para procesos térmicos de residuos sólidos, correspondiendo a la siguiente condición: Humedad < 50%, carga orgánica > 25% y cenizas < 60%. Cualquier otra condición representa escasa o nula factibilidad técnica del proceso, pues se requiere gastar un gran contenido de energía en evaporar parte el agua contenida en los residuos. Consecuentemente, la incineración puede ser implementada en las Macrozonas Norte y Centro del País, teniendo en consideración que para hacer factible su implementación, se requieren mayores cobros que los identificados en los casos bases. Para estos desarrollos se presentan curvas dependientes de capacidades de planta que permiten identificar tamaños de proyecto según sea la disponibilidad de RSDyA.

La evaluación económica se realizó considerando que el material incinerable correspondía a la suma de materia orgánica más papeles y cartones y plásticos. Lo anterior no siempre se justifica tomando en cuenta que la combustión de residuos es una forma inferior de revalorización frente a lo que es el reciclaje y reúso de material, ya que entre otras cosas afecta la calidad del aire por emisiones y no siempre es fácil alcanzar las normas ambientales existentes.

Atendiendo a que el porcentaje de material combustible de los residuos en Chile tiene un valor alto, cercano al 80%, la **incineración** podría ser conveniente siempre que se disponga de **más de 100.000 ton/año de RSDyA**, lo que es propio de las grandes ciudades, lo que se ratifica en los resultados de la respectiva evaluación

económica. Tamaños de planta inferiores no resultan atractivos en tecnologías térmicas, tal como se observa en la experiencia internacional.

La **digestión anaeróbica** es factible en un rango bastante amplio de capacidades, que parten en aproximadamente **20.000 ton/año**, lo que la hace muy adecuada a centros de menor población que las grandes ciudades. Cabe señalar que en plantas de incineración con protección total de emisiones ambientales la inversión aumenta en no menos del 35%, aspecto crítico a ser considerado en zonas saturadas, como son gran parte de las grandes ciudades de Chile. Los valores de CAPEX y OPEX asumidos en este estudio corresponden a plantas de última generación, que están dotadas de estos equipos de protección ambiental. Para plantas de digestión anaeróbica, se deberá prestar atención al uso del biogás como fuente de energía, para evitar su emisión como gas de efecto invernadero.

El concepto de economía circular obliga a considerar un sistema de revalorización progresivo de los residuos, que contempla desde la segregación en origen hasta la reducción, reciclaje y reúso de residuos más la producción de distintos materiales y finalmente la energía.

En la Tabla D, Tabla E y Tabla F se presentan los tamaños de plantas que permiten obtener un VAN positivo bajo las condiciones establecidas, y las recomendaciones para cada tramo, considerando una división por Macrozonas.

Tabla D. Recomendación de implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Norte, de acuerdo a la capacidad de tratamiento de la planta.

Tecnología	Tamaño Proyecto	Recomendación de implementación de la tecnología
Pretratamiento	Plantas con capacidad de tratamiento inferior a 20.000 ton RSDyA/año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento.
	Plantas con capacidad de tratamiento Superior a 20.000 ton RSDyA/año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. Para plantas con capacidad igual o superior a 90.000 ton/año, la venta de material reciclado puede permitir que se sustente la tecnología. Para fomentar el uso de esta tecnología y la descentralización del reciclaje, se requiere impulsar medidas que permitan fomentar la compra de material reciclado.
Compostaje	Plantas con capacidad de tratamiento inferior a 20.000 ton RSDyA /año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento.
	Plantas con capacidad de tratamiento superior a 20.000 ton RSDyA/año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. Debido a los requerimientos de terreno, a medida que incrementa la capacidad de tratamiento se requiere considerar la disponibilidad de superficie y la inversión que conlleva. Adicionalmente, la instalación de la planta debe considerar los Planes de Ordenamiento Territorial, para que la planta no se encuentre cerca de viviendas.
Digestión Anaerobia	Plantas con capacidad de tratamiento inferior a 20.000 ton RSDyA /año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento.
	Plantas con capacidad de tratamiento superior a 20.000 ton RSDyA /año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. La instalación de este tipo de plantas en diferentes localidades, dependerá de los planes de descontaminación territorial.
Incineración	Plantas con capacidad de tratamiento inferior a 275.000 ton RSDyA/año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento. Las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Atacama, poseen una disponibilidad total de residuos inferior a la mínima requerida. Para instalar plantas en estas regiones, se requiere incrementar el cobro por tratamiento.

Tecnología	Tamaño Proyecto	Recomendación de implementación de la tecnología
	Plantas con capacidad de tratamiento superior a 275.000 ton RSDyA/año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. Debido a la emisión de material particulado, su instalación debe tener en cuenta una planta de tratamiento de las emisiones y en caso de ser necesario, las respectivas compensaciones de emisiones. La instalación de este tipo de plantas en diferentes localidades, dependerá de los planes de descontaminación territorial y la disponibilidad de residuos. En la Macrozona Norte, las Regiones de Antofagasta y Coquimbo poseen la disponibilidad de residuos necesaria para poder instalar plantas de este tamaño.

Fuente: Diseño Propio.

Tabla E. Recomendación de implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Centro, de acuerdo a la capacidad de tratamiento de la planta.

Tecnología	Tamaño Proyecto	Recomendación de implementación de la tecnología
Pretratamiento	Plantas con capacidad de tratamiento Inferior a 20.000 ton RSDyA/año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento.
	Plantas con capacidad de tratamiento Superior a 20.000 ton RSDyA/año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. Para plantas con capacidad igual o superior a 90.000 ton/año, la venta de material pretratado puede permitir que se sustente la tecnología.
Compostaje	Plantas con capacidad de tratamiento inferior a 23.000 ton RSDyA /año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento.
	Plantas con capacidad de tratamiento superior a 23.000 ton RSDyA /año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. Debido a los requerimientos de terreno, a medida que incrementa la capacidad de tratamiento se requiere considerar la disponibilidad de superficie y la inversión que conlleva. Adicionalmente, la instalación de la planta debe considerar los Planes de Ordenamiento Territorial, para que la planta no se encuentre cerca de viviendas.
Digestión Anaerobia	Plantas con capacidad de tratamiento inferior a 30.000 ton RSDyA /año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento.
	Plantas con capacidad de tratamiento superior a 30.000 ton RSDyA/año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. La instalación de este tipo de plantas en diferentes localidades, dependerá de los planes de descontaminación territorial.

Tecnología	Tamaño Proyecto	Recomendación de implementación de la tecnología
Incineración	Plantas con capacidad de tratamiento inferior a 320.000 ton RSDyA/año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento.
	Plantas con capacidad de tratamiento superior a 320.000 ton RSDyA/año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. Todas las regiones que componen la Macrozona podrán implementar esta tecnología. Debido a la emisión de material particulado, su instalación debe tener en cuenta una planta de tratamiento de las emisiones y en caso de ser necesario, las respectivas compensaciones de emisiones. La instalación de este tipo de plantas en diferentes localidades, dependerá principalmente de los planes de descontaminación territorial .

Fuente: Diseño Propio.

Tabla F. Recomendación de implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Sur, de acuerdo a la capacidad de tratamiento de la planta.

Tecnología	Tamaño Proyecto	Recomendación de implementación de la tecnología
Pretratamiento	Plantas con capacidad de tratamiento Inferior a 20.000 ton RSDyA/año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento.
	Plantas con capacidad de tratamiento Superior a 20.000 ton RSDyA/año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. Para plantas con capacidad igual o superior a 90.000 ton/año, la venta de material pretratado puede permitir que se sustente la tecnología. Para fomentar el uso de esta tecnología y la descentralización del reciclaje, se requiere impulsar medidas que permitan fomentar la compra de material reciclado, por parte de las empresas que se encuentran localizadas en las regiones que componen la Macrozona.
Compostaje	Plantas con capacidad de tratamiento inferior a 27.000 ton RSDyA/año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento.
	Plantas con capacidad de tratamiento superior a 27.000 ton RSDyA/año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. Debido a los requerimientos de terreno, a medida que incrementa la capacidad de tratamiento se requiere considerar la disponibilidad de superficie y la inversión que conlleva. Adicionalmente, la instalación de la planta debe considerar los Planes de Ordenamiento Territorial para que la planta no se encuentre cerca de viviendas y la implementación de galpones en conjunto con fundas, para proteger las pilas de la lluvia, complementando el proceso con un proceso de volteo más lento.
Digestión Anaerobia	Plantas con capacidad de tratamiento inferior a 35.000 ton RSDyA/año.	No se recomienda la inversión en plantas con capacidad de tratamiento dentro de este rango, a menos de que se incrementen los cobros por tratamiento. Las regiones de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y Magallanes y de la Antártica Chilena, poseen una disponibilidad de residuos inferior al mínimo requerido. Para estas regiones se tendrá que implementar un subsidio para el cobro por tratamiento, que permita hacer rentable la implementación de la tecnología.
	Plantas con capacidad de tratamiento superior a 35.000 ton RSDyA/año.	Se recomienda la inversión para plantas con esta capacidad. A medida que incrementa la capacidad de la planta, se puede disminuir los cobros por tratamiento. La instalación de este tipo de plantas en diferentes localidades, dependerá principalmente de los planes de descontaminación territorial.

Fuente: Diseño Propio.

Cada proyecto fue analizado bajo condiciones establecidas de ingresos por tratamiento, condiciones territoriales y disponibilidad de residuos para determinar su VAN, información que se presenta para el tamaño de proyecto que es factible económicamente (Tabla D, Tabla E y Tabla F). La evaluación de proyectos de tratamiento de residuos también consideró la determinación de los ingresos que permiten hacer el VAN igual a 0, información que permite identificar cual tamaño es más atractivo de implementar en diferentes localidades, su necesidad de realizar trabajos intercomunales, y si se requiere implementar un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro por tratamiento y cobro de disposición actual que debe pagar las Municipalidades. En la Tabla G. se presentan los cobros por tratamiento por cada tamaño de planta y Macrozona. Se presenta adjunto a la Tabla G, un resumen de las consideraciones que se deben tener al momento de evaluar la implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos.

Tabla G. Resumen de cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a cero para las diferentes plantas de tratamiento de residuos en las Macrozonas. MN corresponde a Macrozona Norte, MC a Macrozona Centro y MS a Macrozona Sur.

Tecnología	Tamaño Proyecto	Cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a cero	Consideraciones para evaluación de la implementación de la tecnología de tratamiento de residuos
Pretratamiento	5.000 ton/año	MN=39,7 \$/kg; MC=40,3 \$/kg; MS= 40,6 \$/kg	<ol style="list-style-type: none"> 1. Para determinar la localización del proyecto, determinar limitaciones territoriales y ambientales, tales como Planes de Ordenamiento territorial, Planes de Descontaminación y las precipitaciones de la localidad. 2. Analizar disponibilidad de residuos en localidad con potencial de implementación de la tecnología. 3. Identificar la disponibilidad de fondos por Programas de Inversión del FNDR (nacional) o fondos internacionales. 4. Determinar el requerimiento de trabajos intercomunales, de acuerdo a disponibilidad de residuos y el diferencial entre el cobro por disposición y el cobro por tratamiento de la tecnología. 5. Formular un proyecto para ser evaluado en el SIN.
	20.000 ton/año	MN=15,2 \$/kg; MC=15,7 \$/kg; MS= 16 \$/kg	
	50.000 ton/año	MN=4,2 \$/kg; MC=4,8 \$/kg; MS= 5,1 \$/kg	
	90.000 ton/año	MN=0 \$/kg; MC=0 \$/kg; MS= 0 \$/kg	
Compostaje	5.000 ton Org/año	MN, MC y MS =28,3 \$/kg	
	15.000 ton Org/año	MN, MC y MS =19,6 \$/kg	
	20.000 ton Org/año	MN, MC y MS =17,4 \$/kg	
	30.000 ton Org/año	MN, MC y MS =14,6 \$/kg	
	50.000 ton Org/año	MN, MC y MS =11,6 \$/kg	
Digestión Anaerobia	10.000 ton Org/año	MN=50,7 \$/kg; MC=57,2 \$/kg; MS= 57,2 \$/kg	
	25.000 ton Org/año	MN=30,7 \$/kg; MC=34,8 \$/kg; MS= 34,8 \$/kg	

	50.000 ton Org/año	MN=21,9 \$/kg; MC=25 \$/kg; MS= 25 \$/kg
	75.000 ton Org/año	MN=18,3 \$/kg; MC=21,2 \$/kg; MS=20,9 \$/kg
	100.000 ton Org/año	MN=18,3 \$/kg; MC=20,9 \$/kg; MS= 20,9 \$/kg
	125.000 ton Org/año	MN=17,4 \$/kg; MC=19,8 \$/kg; MS= 19,8 \$/kg
	150.000 ton Org/año	MN=16,6 \$/kg; MC=19 \$/kg; MS= 19 \$/kg
Incineración	100.000 ton/año	MN=71 \$/kg; MC=64,6 \$/kg
	150.000 ton/año	MN=55,7 \$/kg; MC=54,2 \$/kg
	200.000 ton/año	MN=45 \$/kg; MC=46,8 \$/kg
	250.000 ton/año	MN=36,7 \$/kg; MC=41,1 \$/kg
	300.000 ton/año	MN=30 \$/kg; MC=36,4 \$/kg
	350.000 ton/año	MN=30 \$/kg; MC=32,4 \$/kg
	500.000 ton/año	MC=29 \$/kg

Fuente: Diseño Propio.

Fuentes de financiamiento

Se identificaron diferentes fondos nacionales e internacionales para el financiamiento de las tecnologías. Dentro de los fondos nacionales se identificó al Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), Programa de Mejoramiento de Barrios (PMB) y el fondo para el reciclaje que pertenece al Ministerio de Medio Ambiente.

Los fondos internacionales identificados son los provenientes del Internacional Finance Corporation (IFC) y el Banco Interamericano del Desarrollo, con fondos otras alternativas de financiamiento, como las provenientes del programa Private Financing Advisory Network. Además, se identificó el JCM del gobierno japonés como alternativa para financiar la conversión de la energía.

De acuerdo al análisis de viabilidad de implementación de las tecnologías, el financiamiento público permite la implementación de plantas de menor tamaño de las tecnologías de compostaje, pretratamiento y digestión anaerobia.

Para la implementación de plantas de incineración, debido a los montos de inversión, se requiere considerar fondos privados.

En la Tabla H se presenta la capacidad de implementación de las tecnologías en cada región, de acuerdo a la disponibilidad de recursos de la Ley de Presupuestos 2019.

Tabla H. Capacidad de Tratamiento de residuos generados en cada región, de acuerdo a disponibilidad de fondos públicos provenientes del FNDR y el tipo de tecnología.

Región	Pretratamiento	Compostaje	Digestión Anaerobia	Incineración
AyP	Puede tratar todos los residuos reciclables generados en la región.	Puede tratar todos los residuos orgánicos que son generados en la región.	Puede tratar todos los residuos orgánicos que son generados en la región.	No hay fondos suficientes en el FNDR para implementar la tecnología. Se recomienda considerar fondos internacionales.
TPCA				
ATOF				
ATCMA				
COQ				
VALPO	Puede tratar hasta el 59% de los residuos orgánicos que se generan en la región.	Puede tratar hasta el 42,9% de los residuos orgánicos que se generan en la región.		
RM	Puede tratar hasta el 74% de los residuos que poseen potencial de ser reciclados.	Puede tratar hasta el 33% de los residuos orgánicos que se generan en la región.	Puede tratar hasta el 24,2% de los residuos orgánicos que se generan en la región.	De acuerdo a la disponibilidad de fondos, se puede tratar hasta un 1,6% de los residuos generados en la región. Se recomienda considerar fondos internacionales para implementar plantas de mayor tamaño.
LGBO	Puede tratar todos los residuos reciclables generados en la región.	Puede tratar todos los residuos orgánicos que son generados en la región.	Puede tratar todos los residuos orgánicos que son generados en la región.	No hay fondos suficientes en el FNDR para implementar la tecnología. Se recomienda considerar fondos internacionales.
MAULE				
BBIO			Puede tratar hasta el 81% de los residuos orgánicos que se generan en la región.	
NUBLE			Puede tratar todos los residuos orgánicos que son generados en la región.	
ARAUC				
RIOS				
LAGOS				
AYSEN				
MAG				

Fuente: Diseño Propio. Proyecto de Ley de Presupuestos Año 2019, DIPRES. Partida del Ministerio del Interior y Seguridad Pública – Gobiernos Regionales, Subtítulo 9. El nombre de las regiones esta abreviado de acuerdo a la abreviatura legal establecida en la Circular 61/2018 del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

Conclusiones

De acuerdo a la información presentada en las diferentes etapas del proyecto y la retroalimentación obtenida por las jornadas de discusión y jornada del seminario taller, se presentan las siguientes conclusiones:

- El diagnóstico realizado en el país, muestra que existe una solución sanitaria de los residuos sólidos urbanos y asimilables aceptable con los Rellenos Sanitarios, con un buen porcentaje de contención. Por ello una vez incrementada la cobertura total de la disposición de residuos en los sitios legalmente establecidos, la implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos permitirá cambiar la visión de la disposición de residuos hacia su valorización, cambiando el foco desde la gestión de residuos a gestión de recursos.
- El enfoque debe ser sistémico, siguiendo el ciclo de vida de los residuos, aplicando en cada etapa soluciones que tengan por objetivo, que la disposición sea la mínima posible. Para ello, la segregación en origen es importante para aplicar intensivamente el principio 3R. La siguiente prioridad después de la minimización de generación de residuos y del reciclaje, es el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos, lo cual se puede realizar por técnicas tales como compostaje y digestión anaerobia. Considerando que los residuos orgánicos conforman sobre el 40% de los RSDyA, diferentes composiciones de RSDyA pueden ser también tratados por técnicas como la incineración, gasificación y pirólisis.
- Se requiere mejorar los modelos de gestión de recursos para el tratamiento de residuos, para disminuir la brecha que se ha identificado entre los ingresos por aseo y ornato, y costos por gestión de residuos.
- El estudio realizado demuestra que hay tecnologías comerciales posibles de ser implementadas en Chile, que estas requieren una visión sistémica, donde hay tamaños adecuados, para lo cual se requieren recursos y/o definir tarifas que pueden subir el costo de manejo, pero no sustancialmente.
- De acuerdo al nivel de madurez, factibilidad técnica, ambiental, legal e institucional, actualmente, las principales técnicas de tratamiento de residuos que pueden ser implementadas son el pretratamiento, el compostaje, la digestión anaerobia y la incineración.
- De acuerdo a la disponibilidad de fondos en la ley de presupuestos 2019, provenientes del Fondo Nacional de Desarrollo Regional, el Programa de Inversión Regional permite que se pueda solicitar fondos para invertir en plantas de compostaje, pretratamiento y digestión anaerobia. En el caso de Incineración, solo se puede implementar en la Región Metropolitana. La implementación de las tecnologías de incineración requiere emplear fondos internacionales para disponer de mayores recursos.
- Si bien estos proyectos de tratamiento de residuos no son en general rentables desde un punto de vista de evaluación privada, si se realiza una evaluación social de los proyectos, se vuelven rentables. Sólo incorporando el valor social del carbono asociado a la disminución de GEI, estas alternativas se hacen interesantes.
- En general, las condiciones particulares de cada lugar son más relevantes que la ubicación geográfica. No existe en sí mismo una tecnología única para todos los lugares, cada una de ellas tienen sus ventajas

y desventajas en función de las realidades particulares de cada sitio y que quedan descritas en el texto de este estudio.

- Si bien las tecnologías de tratamiento de residuos poseen particularidades para su implementación, el desarrollo actual permite que, dentro de las tecnologías escogidas, Compostaje, Pretratamiento y Digestión Anaerobia puedan ser implementadas en todo el territorio chileno. Debido a la humedad, carga orgánica y cenizas de los residuos, la implementación de las tecnologías térmicas se puede realizar solo en las Macrozonas Norte y Centro del país.
- Las tecnologías de gasificación y pirólisis pueden ser implementadas, pero requieren de mayores estudios de aplicación a las características del territorio chileno y evaluación de su operación, para poder evaluar las inversiones requeridas y eficiencias de los procesos.
- La información levantada para la ejecución de este proyecto podrá ser empleada como pauta para el desarrollo de guías para los diferentes Ministerios, para el desarrollo de una metodología de evaluación de proyectos de valorización de residuos.
- La evaluación de la implementación de las tecnologías se analizó bajo escenarios específicos, demostrando una mayor aplicabilidad en zonas metropolitanas. Estos escenarios serán de vital importancia para el desarrollo de proyectos de tratamiento de residuos que posean una mayor escala. Se recomienda expandir el análisis de la implementación de las tecnologías empleando las herramientas entregadas a la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, para analizar casos particulares de implementación en comunas de menor tamaño.
- De acuerdo a las capacidades identificadas en los diferentes actores involucrados en la gestión de los residuos, se determinó que, sin importar la capacidad de tratamiento de la planta, el modelo de negocios y operación de las tecnologías de valorización debe considerar licitación de proyectos tipo BOT (Build-Operate-Transfer) o BOOT (Build-Own-Operate-Transfer).

Recomendaciones

De acuerdo a la información presentada en las diferentes etapas del proyecto y la retroalimentación obtenida por las jornadas de discusión y jornada del seminario taller, se presentan las siguientes recomendaciones:

1. Los países desarrollados, especialmente Europa, tienen estrategias propias de una Economía Circular. En Chile aún no se tiene una política pública en este sentido para los residuos urbanos y es importante disponer en el corto plazo de una política para los residuos orgánicos. La política pública debe indicar los porcentajes de residuos que deben ser destinados a ser tratados por las diferentes tecnologías de tratamiento y las metas de implementación en el corto y mediano plazo.
2. Una vez incrementada la cobertura total de la disposición de residuos en los sitios legalmente establecidos, la implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos permitirá cambiar la visión de la disposición de residuos hacia su valorización, cambiando el foco desde la gestión de residuos a gestión de recursos. Para ello se debe desarrollar una estrategia con un modelo sistémico de economía circular para los residuos urbanos y asimilables, que considere acciones en todo el ciclo de vida.
3. Se deben generar incentivos y disminuir los desincentivos, de tal manera que se pueda incorporar estas tecnologías de valorización como parte integral de la gestión de los residuos sólidos urbanos y asimilables. Entre los aspectos más importantes está la modificación de la Ley de Rentas municipales, que actualmente promueve soluciones en la dirección contrarias. Entre otros aspectos que se pueden evaluar, se cuentan los siguientes:
 - Pago obligatorio para la disposición de residuos, proporcional a la generación y nivel socioeconómico.
 - Aplicación de un impuesto o cargo por eliminación anticipada a productos prioritarios para ser tratados.
 - Establecimiento de porcentajes de residuos destinados a diferentes alternativas de tratamiento.
 - Continuidad de políticas de gestión de residuos que permitan trabajos Intercomunales y tratamiento valorizado de residuos.
 - Impulsar creación de empresas de reciclaje, mediante la extensión de la normativa actual vigente. Esto permitirá que no se genere la concentración de empresas en la zona central de Chile.
 - Priorizar el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos y de residuos con alto potencial calorífico.
 - Garantía de pago mínimo a tecnologías de tratamiento de residuos para obtener una factibilidad económica que permita su aplicación, y en el caso de las tecnologías de generación energética, aplicar un modelo de pago que permita subsanar variaciones en el precio de venta de energía.
 - Aplicar en los planes de ordenamiento territorial, definición de sectores destinados para el tratamiento de residuos y su disposición, para que no haya poblaciones cercanas y disminuyan las inversiones asociadas a compra de terreno.
4. En los casos en que la disponibilidad de residuos no sea suficiente para ser económicamente factible su valorización, se deben buscar sinergia entre el sector público y el sector privado para obtener una disponibilidad de residuos que permita disminuir los costos por tratamiento de las tecnologías de valorización.

5. Se recomienda emplear fondos públicos nacionales para obtener fondos para la implementación de plantas de pretratamiento, compostaje y digestión anaerobia. Los fondos para inversiones de la ley de presupuestos 2019 permiten que se puedan implementar plantas de diferentes tamaños de estas tecnologías, en todo Chile.
6. Se recomienda emplear fondos internacionales para obtener recursos que permitan la implementación de plantas de incineración u otros tipos plantas de tratamiento térmico.
7. Capacitar a los funcionarios municipales encargados de presentar proyectos de tratamiento de residuos, para poder incluir las tecnologías de valorización de residuos dentro de los portafolios de proyectos comunales e intercomunales.
8. En general, se debe ir hacia modelos centralizados que permitan economías de escala, lo que implica también una gestión de recolección y manejo centralizado e integral. No obstante, lo anterior es posible para casos específicos, desarrollar un modelo descentralizado con manejo y tratamiento in situ, minimizando los costos principalmente de transporte. Para ello se sugiere hacer un estudio al respecto.
9. El modelo de gestión de residuos debe tener en consideración una división entre las áreas metropolitanas y las áreas no metropolitanas.
 - Para las comunidades que se encuentren ubicadas dentro del área metropolitana, se recomienda que las responsabilidades de gestión de residuos sean traspasadas totalmente a los Gobiernos Regionales, para que se encarguen de la recolección, transporte, disposición y valorización de los residuos. Los servicios en las 8 áreas metropolitanas identificadas en el DFL 1/2019 debieran ser licitados, operando en modalidad intercomunal.
 - En toda área no metropolitana, se recomienda la formación de una mesa de trabajo intercomunal, conformada por profesionales de la Municipalidad que pertenecen a la Unidad de Aseo y Ornato. Es importante poder facilitar la continuidad de políticas de gestión de residuos en el tiempo, por lo que se requiere fortalecer las facultades de los Gobiernos Regionales para poder formar parte de esta mesa de trabajo, encargada de la gestión de residuos intercomunal.
 - No todas las comunas podrán realizar trabajos en conjunto, debiendo desarrollarse soluciones particulares en esos casos.
10. Para Fortalecer la gestión de los residuos, proponer normativas y velar por la correcta operación y uso de recursos para financiar las plantas de disposición y tratamiento de residuos, **se recomienda la creación de una Superintendencia de Residuos. La Superintendencia de Residuos** se propone como un organismo descentralizado, que estará encargado de velar porque la población tenga disponibles servicios de recolección, transporte, disposición y valorización de residuos, asegurando que un porcentaje de los residuos pueda ser valorizado. Bajo su operación, se busca pasar de un modelo de gestión de residuos a un modelo de gestión de recursos. Como tal, trabajará directamente con el Ministerio de Salud, la Superintendencia de Medio Ambiente y los Gobiernos Regionales.

Las labores propuestas para la Superintendencia de Residuos consideran:

- Fiscalización y cumplimiento normativo de los prestadores de servicios de recolección, transporte, disposición y valorización de residuos. Asegurando la entrega de un servicio

- sustentable en el tiempo, que cumpla con los estándares de calidad establecidos por normativas.
- Pronunciarse respecto a planes de desarrollo presentados por las empresas de disposición y tratamiento de residuos, y trabajar en conjunto con la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, en fiscalizar el cumplimiento de los cronogramas de inversión.
 - Generar criterios para fijación de tarifa de los servicios de transporte, recolección, disposición y valorización de residuos, buscando promover la transparencia en el mercado, un autocontrol y un uso eficiente de los recursos.
 - Hacerse cargo de la implementación de una Ley que permita el pago por la recogida y tratamiento de los residuos, que fomente el uso de las tecnologías. El fin de esta medida es consolidar la fijación tarifaria justa de servicios de gestión de residuos.
 - Pronunciamiento para el desarrollo y evaluación de normativas relacionadas a la disposición de residuos y su tratamiento, con un trabajo en conjunto con el Ministerio de Medio Ambiente.
11. El modelo de negocios de la tecnología compostaje considera la venta de compost. Para hacer factible la implementación de la tecnología y considerando su baja demanda actual, se requiere impulsar el mercado del compost.
- Se recomienda hacer un estudio de mercado para determinar cuánto compost puede absorber efectivamente el sector agrícola nacional y cuál es la capacidad de comercializar el producto internamente. Este estudio permitirá, en conjunto con estudios sobre los beneficios económicos de trabajos intercomunales y el incremento del cobro por transporte, determinar si conviene realizar trabajos locales o trabajos entre 2 o más comunas.
 - Para áreas metropolitanas, se desarrollarán proyectos comunales e intercomunales, de acuerdo a la disponibilidad de residuos orgánicos y distancias entre comunas. En áreas no metropolitanas, se recomiendan trabajos intercomunales, mediante mesas de trabajo.
 - Evaluar el contenido de metales pesados que contendría el compost generado a partir de los RSDyA. Si este valor impide su disposición en suelos, se deben seleccionar los residuos que van a compostaje (residuos de feria, por ejemplo).
12. El modelo de negocios de la tecnología de digestión anaerobia considera la venta de energía eléctrica y la opción de la venta del digestato semi estabilizado. Para el uso de esta tecnología, se requiere disponer de una fracción orgánica que tenga buena biodegradabilidad.
- El estudio técnico económico consideró principalmente los ingresos generados por la venta de energía eléctrica. Se debe evaluar la posibilidad de la valorización de la energía térmica, a través por ejemplo de: circuitos distritales de agua caliente.
 - Para determinar si es conveniente los trabajos intercomunales, se recomienda realizar un estudio que compare los beneficios económicos por trabajos entre comunas y el incremento del cobro por transporte, determinando si conviene realizar trabajos locales o trabajos entre 2 o más comunas.
 - Para áreas metropolitanas, se desarrollarán proyectos comunales e intercomunales, de acuerdo a la disponibilidad de residuos orgánicos y distancias entre comunas. En áreas no metropolitanas, se recomiendan trabajos intercomunales, mediante mesas de trabajo.
13. El modelo de negocios de la tecnología de incineración considera la venta de energía eléctrica y/o térmica. Para efectos de la evaluación económica, se consideró principalmente la generación de energía eléctrica, y los ingresos adicionales que pueden generar la venta de energía térmica.

- Se puede emplear la generación de energía térmica en casos puntuales, como para el aprovechamiento de industrias que se encuentren en las cercanías de la planta de incineración.
 - Adicionalmente, los actores expertos presentes en la jornada del Seminario Taller expusieron que se puede utilizar la energía térmica para calefacción distrital. Esta alternativa se puede aprovechar en casos puntuales en Chile, como puede ser en el Sur, considerando una segregación previa de los residuos que permita que sea factible técnicamente la implementación de la tecnología.
 - En las regiones que conforman la Macrozona Centro, el modelo de negocios considera soluciones comunales e intercomunales, con plantas de tratamiento que posean capacidad superior o igual a 100.000 ton/año. En la Macrozona Norte, los modelos consideran principalmente soluciones comunales, a excepción de la Región de Coquimbo, que puede tener soluciones comunales e intercomunales.
14. Luego de poder analizar casos piloto de tecnologías de pirolisis y gasificación que permitan obtener mayores antecedentes para desarrollar una inversión informada, se puede analizar sus modelos de negocio en mayor profundidad.
- La tecnología de pirolisis puede comercializar la venta de energía eléctrica y/o térmica, la venta de gases condensados o el gas sintético.
 - La tecnología de gasificación puede comercializar la venta de energía eléctrica y/o térmica, o la venta de gas sintético.
15. El modelo de negocios para la tecnología de pretratamiento de residuos puede permitir la valorización de residuos de gran volumen, metales, plásticos, papel y cartón, metales y vidrios. Mediante el pretratamiento de los residuos, se va a poder obtener el volumen necesario para poder comercializarlo en el mercado.
- Se destaca que **las tecnologías de tratamiento de residuos son complementarias**, por lo que **se busca utilizarlas como un tratamiento integral de los residuos**. Por ello, es que se recomienda que se establezcan porcentaje de residuos que pueden ser destinados a las tecnologías, de modo que se pueda realizar un diseño de planta que no requiera que se tenga que “comprar basura”, para ser sustentable.
 - Para determinar si es conveniente los trabajos intercomunales, se recomienda realizar un estudio que compare los beneficios económicos por trabajos entre comunas y el incremento del cobro por transporte, determinando si conviene realizar trabajos locales o trabajos entre 2 o más comunas.
 - Para áreas metropolitanas, se desarrollarán proyectos comunales e intercomunales, de acuerdo a la disponibilidad de residuos orgánicos y distancias entre comunas. En áreas no metropolitanas, se recomiendan trabajos intercomunales, mediante mesas de trabajo.

ÍNDICE GENERAL

1	Objetivos y Alcances	52
1.1	Objetivos.....	52
1.1.1	Objetivo general.....	52
1.1.2	Objetivos específicos	52
1.2	Alcance general.....	52
1.3	Ajuste metodológico	54
1.3.1	Ajuste de programación del proyecto.....	54
1.3.2	Selección de Gobiernos Regionales	54
1.3.3	Identificación de actores relevantes.....	54
1.3.4	Revisión Bibliográfica.....	54
1.4	Alcances de la Etapa 1	55
1.5	Alcances de la Etapa 2	59
1.6	Alcances de la Etapa 3.....	61
	DESARROLLO ETAPA 1.....	77
2	Selección de gobiernos regionales representativos por macrozonas.....	77
2.1	Región de Arica y Parinacota	77
2.2	Región de Tarapacá	78
2.3	Región de Antofagasta	80
2.4	Región de Atacama	81
2.5	Región de Coquimbo.....	82
2.6	Región de Valparaíso	84
2.7	Región Metropolitana de Santiago.....	86

2.8	Región Libertador General Bernardo O'Higgins	87
2.9	Región del Maule.....	88
2.10	Región del Biobío	89
2.11	Región del Ñuble	91
2.12	Región de La Araucanía.....	92
2.13	Región de Los Ríos	94
2.14	Región de Los Lagos.....	95
2.15	Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.....	97
2.16	Región de Magallanes y la Antártica Chilena	99
3	Identificación de actores claves	101
4	Revision bibliográfica.....	103
4.1	Definiciones	103
4.2	Tipos de residuos sólidos domésticos, asimilables y otros.....	104
4.3	Normativa Ambiental	105
4.4	Procesos de tratamientos biológicos de tratamiento de RSDyA.....	108
4.5	Procesos de tratamientos Físico y/o Químico de tratamiento de RSDyA.....	109
4.6	Valorización de RSDyA a nivel nacional.....	110
4.7	Valorización de RSDyA a nivel internacional.....	111
4.7.1	Valorización de RSDyA en América Latina.....	111
4.7.2	Valorización de RSDyA en Europa, Estados Unidos y Asia	113
5	Diagnostico nacional.....	118
5.1	Diagnóstico y Catastro Subdere	118
5.2	Rellenos Sanitarios.....	120

5.3	Centros de Tratamiento	121
5.4	Centros de valorización de residuos	121
6	Estado del arte de la gestión RSDyA	123
6.1	Valorización de RSDyA a nivel Internacional.....	123
6.1.1	Generación de Residuos.....	123
6.1.2	Recolección de residuos	123
6.1.3	Composición de residuos.....	124
6.1.4	Disposición de residuos	125
6.2	Valorización de RSDyA en América Latina.....	125
6.3	Valorización de RSDyA en Europa, Estados Unidos y Asia	127
7	Análisis de la industria	134
7.1	Aspectos generales del análisis de la industria	134
7.2	Análisis FODA - Sistema Público.....	134
7.3	Análisis de Porter - Reciclaje y Valorización.....	136
7.4	Análisis de PESTEL – Perspectiva de País.....	138
8	Clasificación de tecnologías de tratamiento	141
8.1	Pretratamiento de residuos.....	141
8.1.1	Descripción de la tecnología	141
8.1.2	Tipos de residuos a tratar para el reciclaje o reúso	148
8.1.3	Costos de operación y de inversión	149
8.1.4	Condiciones ambientales	149
8.2	Tratamiento biológico: Compostaje	150
8.2.1	Descripción de la tecnología	150

8.2.2	Tipos de residuos sólidos que puede tratar	157
8.2.3	Costos de operación y de inversión	157
8.2.4	Condiciones ambientales	158
8.3	Tratamiento biológico: Digestión Anaerobia	158
8.3.1	Descripción de la tecnología	158
8.3.2	Tipos de residuos sólidos que puede tratar	169
8.3.3	Costos de operación y de inversión	170
a)	Grado de estudio de la tecnología.....	170
8.3.4	Condiciones ambientales	172
8.4	Tecnología de Tratamiento Térmico: Incineración.....	172
8.4.1	Descripción de la tecnología	172
8.4.2	Tipos de residuos sólidos que puede tratar	176
8.4.3	Costos de operación y de inversión	176
8.4.4	Condiciones ambientales	177
8.5	Tecnología de Tratamiento Térmico: Pirólisis.....	179
8.5.1	Descripción de la tecnología	179
8.5.2	Tipos de residuos sólidos que puede tratar	182
8.5.3	Costos de operación y de inversión	183
8.5.4	Condiciones ambientales	183
8.6	Tecnología de Tratamiento Térmico: Gasificación	185
8.6.1	Descripción de la tecnología	185
8.6.2	Tipos de residuos sólidos que puede tratar	187
8.6.3	Costos de operación y de inversión	188

8.6.4	Condiciones ambientales	189
DESARROLLO ETAPA 2.....		191
9	Tecnologías de Pretratamiento de Residuos	191
9.1	Pretratamiento de residuos.....	191
9.1.1	Ficha de Tecnología.....	191
9.1.2	Análisis de la Tecnología de Pretratamiento de los residuos.....	203
9.1.3	Modelo de negocios de la Tecnología de Pretratamiento de los residuos	206
10	Tecnologías de tratamiento biológico.....	207
10.1	Compostaje.....	207
10.1.1	Ficha de Tecnología	207
10.1.2	Análisis de la Tecnología de Compostaje.....	219
10.1.3	Modelo de negocios de la tecnología de Compostaje	222
10.2	Digestión Anaerobia	223
10.2.1	Ficha de Tecnología	223
10.2.2	Análisis de la Tecnología de Digestión Anaerobia.....	233
10.2.3	Modelo de negocios de la tecnología de Digestión Anaerobia	236
11	Tecnologías de Tratamiento Térmico.....	237
11.1	Incineración	237
11.1.1	Ficha de Tecnología	237
11.1.2	Análisis de la Tecnología de Incineración.....	249
11.1.3	Modelo de negocios de la tecnología de Incineración	253
11.2	Pirólisis	254
11.2.1	Ficha de Tecnología	254

11.2.2	Análisis de la Tecnología de Pirólisis	265
11.2.3	Modelo de negocios de la Tecnología de Pirólisis.....	268
11.3	Gasificación	269
11.3.1	Ficha de Tecnología	269
11.3.2	Análisis de la Tecnología de Gasificación	281
11.3.3	Modelo de negocios de la Tecnología de Gasificación.....	284
12	Análisis económico de las tecnologías	285
12.1	Fundamentos de Ingeniería Económica	285
12.1.1	Contabilidad total de costos (FCA)	285
12.1.2	Bases de Cálculo.....	286
12.2	Costos de una Planta de Tratamiento	287
12.3	Elaboración de Curvas de costo	288
12.4	Costos de Tecnologías de Tratamiento biológico o químico	289
12.4.1	Compostaje	289
12.4.2	Digestión Anaeróbica.....	291
12.4.2.1	Curvas CAPEX Y OPEX de la Digestión Anaerobia	294
12.5	Costos de Tecnologías de Tratamientos Térmicos	295
12.5.1	Incineración	295
12.5.1.1	Curvas CAPEX Y OPEX de la Incineración.....	299
12.5.2	Pirólisis	301
12.5.2.1	Curvas CAPEX de Pirólisis.....	305
12.5.3	Gasificación	306
12.6	Costos de Tecnologías de Pretratamientos.....	310

12.6.1	Pretratamiento de residuos para su reúso o reciclaje.....	310
12.7	Estructura de costos de proyectos de tratamiento.....	312
12.7.1	Elaboración de tablas de referencia	312
12.7.2	Análisis de la estructura de costos de plantas de tratamiento.....	313
13	Síntesis del Análisis de la Industria actualizada.....	316
13.1	Análisis FODA Validado - Sistema Público.....	319
13.2	Análisis de Porter Validado - Reciclaje y Valorización ER.....	322
13.3	Análisis de PESTEL Validado – Perspectiva de País.....	324
	DESARROLLO ETAPA 3.....	328
14	Propuestas tecnológicas y su análisis económico.....	328
14.1	Tecnología de Pretratamiento para el reciclaje o reúso de los residuos	328
14.1.1	Macrozona Norte	329
14.1.2	Macrozona Centro	335
14.1.3	Macrozona Sur	339
14.2	Tecnología de Compostaje.....	345
14.2.1	Macrozona Norte	346
14.2.2	Macrozona Centro	351
14.2.3	Macrozona Sur	355
14.3	Tecnología de Digestión Anaeróbica.....	360
14.3.1	Macrozona Norte.....	362
14.3.2	Macrozona Centro	369
14.3.3	Macrozona Sur	373
14.4	Tecnologías de Procesos Térmicos.....	380

14.4.1	Macrozona Norte	382
14.4.2	Macrozona Centro	388
15	Fuentes de financiamiento	392
15.1	Fondo Nacional de Desarrollo Regional	392
15.2	Programa de Mejoramiento de Barrios	393
15.3	Fondo para el Reciclaje	395
15.4	Programa Chile-Canadá	395
15.5	Programa Nacional de Residuos Sólidos - PNRS	395
15.6	Fondo Verde para el clima	396
15.7	Créditos de la International Finance Corporation (IFC)	397
15.8	Banco Interamericano del Desarrollo (BID)	397
15.9	Private Financing Advisory Network (PFAN)	397
15.10	Análisis viabilidad fuentes de financiamiento	398
15.10.1	Análisis viabilidad financiera de la tecnología de Pretratamiento	398
15.10.2	Análisis viabilidad financiera de la tecnología de Compostaje	401
15.10.3	Análisis viabilidad financiera de la tecnología de Digestión Anaerobia	403
15.10.4	Análisis viabilidad financiera de la tecnología de Incineración	407
16	Instrumentos de apoyo	408
16.1	Medidas de apoyo impulsadas internacionalmente	408
16.2	Recomendaciones de medidas de apoyo	412
17	Jornada de discusión	414
17.1	Programación de la Jornada de Discusión	414
17.2	Principales alcances de la Jornada de Discusión	415

18 Jornada Seminario Taller	418
18.1 Programación de la Jornada del Seminario Taller	418
18.2 Principales alcances de la Jornada del Seminario Taller	418
19 Conclusiones y Recomendaciones	421
19.1 Conclusiones	421
19.2 Recomendaciones	423
A. Anexo 1: Programación del Proyecto	427
B. Anexo 2: Pauta de Entrevista.....	431
a. Contenido preliminar de la encuesta	431
C. Anexo 3: Presentación de Jornada de Discusión	437
D. Anexo 4: Presentación de Seminario Final.....	496
E. Anexo 5: Bibliografía	637

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Diagrama de Tanner, materia orgánica v/s humedad, cenizas y poder calorífico.	63
Figura 1-2. Relación entre Ingresos y Egresos de un Proyecto.....	68
Figura 2-1. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Arica y Parinacota.	78
Figura 2-2. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Tarapacá.	79
Figura 2-3. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Antofagasta.	81
Figura 2-4. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Atacama.	82
Figura 2-5. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Coquimbo.	84
Figura 2-6. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Valparaíso.	86
Figura 2-7. Composición porcentual de RSDyA de la Región Metropolitana de Santiago.	87
Figura 2-8. Composición porcentual de RSDyA de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.	88
Figura 2-9. Composición porcentual de RSDyA de la Región del Maule.....	89
Figura 2-10. Composición porcentual de RSDyA de la Región del Biobío.	91
Figura 2-11. Composición porcentual de RSDyA de la Región del Ñuble.	92
Figura 2-12. Composición porcentual de RSDyA de la Región de la Araucanía.	94
Figura 2-13. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Los Ríos.	95
Figura 2-14. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Los Lagos.....	97
Figura 2-15. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.	99
Figura 2-16. Composición de RSDyA de la Región de Magallanes y la Antártica de Chile.....	100
Figura 5-1. Análisis regional del número de sitios de disposición y la cobertura regional de recolección del año 2017.....	118
Figura 5-2: Generación de RSDyA (ton/año) y Porcentaje de disposición a Relleno Sanitario, por región año 2017.....	119

Figura 5-3: Costos e ingresos por el manejo de RSDyA año 2017.....	120
Figura 6-1. Variación en la composición de los RSDyA en función a los niveles de ingreso de los países... 126	126
Figura 6-2: Composición de RSDyA y Otros en Europa y Asia Central.....	128
Figura 6-3: Composición de RSDyA y Otros de Norte América.....	131
Figura 6-4: Composición de residuos en el Este de Asia y el Pacífico.	132
Figura 6-5: Composición de residuos en el Sur de Asia.	132
Figura 8-1: Picador rotatorio en tubería de transporte de sustrato (imagen superior). Mezcladores de Substratos fluidos y fibrosos: Mezclador con Picador y bomba de paletas rotatorias (inferior izquierda) y Mezclador con bomba de cavidad progresiva (inferior derecha).....	146
Figura 8-2. Proceso de elaboración de compost.....	155
Figura 8-3. Proceso de Acetogénesis.	159
Figura 8-4. Proceso de Metanogénesis.	160
Figura 8-5. Esquema general de una planta de biogás, para generación de energía eléctrica y térmica.....	161
Figura 8-6: Diagrama de bloques de digestión anaeróbica de residuos sólidos municipales.....	171
Figura 8-7: Diagrama de Tanner, materia orgánica v/s humedad, cenizas y poder calorífico.	174
Figura 9-1. Modelo de negocios de la planta de pretratamiento de residuos.	206
Figura 10-1. Modelo de negocios de la planta de Compostaje.....	222
Figura 10-2. Modelo de negocios de la planta de Digestión Anaerobia.....	236
Figura 11-1. Nivel de Madurez de las Tecnologías Waste To Energy.....	250
Figura 11-2. Modelo de negocios de la planta de incineración.....	253
Figura 11-3. Modelo de negocios de la planta de pirólisis.....	268
Figura 11-4. Modelo de negocios de la planta de gasificación.	284
Figura 12-1. Índice de costos en ingeniería química, CEPCI.....	287

Figura 12-2. CAPEX Digestión Anaeróbica.....	294
Figura 12-3. OPEX Digestión Anaeróbica.....	295
Figura 12-4. CAPEX Incineración	299
Figura 12-5. OPEX Incineración	300
Figura 12-6. CAPEX de Pirolisis de Conversión de Alta Temperatura HTCM	306
Figura 14-1. VAN de plantas de Pretratamiento Macrozona Norte.....	332
Figura 14-2. Punto de Equilibrio Macrozona Norte	332
Figura 14-3. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de pretratamiento, Macrozona Norte.	333
Figura 14-4. Sensibilidad de las plantas de pretratamiento de la Macrozona Norte. Recuperación del 50, 70 y 90% de los residuos que ingresan a la planta.	335
Figura 14-5. VAN de plantas de Pretratamiento Macrozona Centro.....	336
Figura 14-6. Punto de Equilibrio Macrozona Centro	336
Figura 14-7. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de pretratamiento, Macrozona Centro.	337
Figura 14-8. Sensibilidad de las plantas de pretratamiento de la Macrozona Centro. Recuperación del 50, 70 y 90% de los residuos que ingresan a la planta.	339
Figura 14-9. VAN de plantas de Pretratamiento Macrozona Sur.....	340
Figura 14-10. Punto de Equilibrio Macrozona Sur	340
Figura 14-11. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de pretratamiento, Macrozona Sur. .	342
Figura 14-12. Sensibilidad de las plantas de pretratamiento de la Macrozona Sur. Recuperación del 50, 70 y 90%, de los residuos que ingresan a la planta.	344
Figura 14-13. VAN de plantas de Compostaje Macrozona Norte	348
Figura 14-14. Punto de Equilibrio Macrozona Norte	348
Figura 14-15. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de compostaje, Macrozona Norte. ...	349

Figura 14-16. Sensibilidad de plantas de compostaje de la Macrozona Norte. Precio de venta de 5, 8 y 10 USD/m ³	351
Figura 14-17. VAN de plantas de Compostaje Macrozona Centro	352
Figura 14-18. Punto de Equilibrio Macrozona Centro	352
Figura 14-19. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de compostaje, Macrozona Centro.	353
Figura 14-20. Sensibilidad de las plantas de compostaje de la Macrozona Centro. Precio venta compost 5, 8 y 10 USD/m ³	355
Figura 14-21. VAN de plantas de Compostaje Macrozona Sur	356
Figura 14-22. Punto de Equilibrio Macrozona Sur	356
Figura 14-23. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de compostaje, Macrozona Sur.....	357
Figura 14-24. Sensibilidad de plantas de compostaje de la Macrozona Sur. Precio de venta del compost de 5, 8 y 10 USD/m ³ . Fuente: Elaboración propia.	359
Figura 14-25. CAPEX de la tecnología de Digestión Anaeróbica.....	360
Figura 14-26. OPEX de la tecnología de Digestión Anaeróbica.	361
Figura 14-27. VAN de plantas de Digestión Anaeróbica Macrozona Norte.....	365
Figura 14-28. Punto de Equilibrio Macrozona Norte	366
Figura 14-29. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de Digestión Anaeróbica, Macrozona Norte.....	367
Figura 14-30. Sensibilidad de plantas de Digestión Anaeróbica de la Macrozona Norte. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh.....	368
Figura 14-31. VAN de plantas de Digestión Anaeróbica Macrozona Centro	369
Figura 14-32. Punto de Equilibrio Macrozona Centro	370
Figura 14-33. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de Digestión Anaeróbica, Macrozona Centro.....	371
Figura 14-34. Sensibilidad de las plantas de Digestión Anaeróbica de la Macrozona Centro. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh.....	373

Figura 14-35. VAN de plantas de Digestión Anaerobia Macrozona Sur	374
Figura 14-36. Punto de Equilibrio Macrozona Sur	374
Figura 14-37. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de Digestión Anaerobia, Macrozona Sur.	376
Figura 14-38. Sensibilidad de las plantas de Digestión Anaerobia de la Macrozona Sur. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh.....	379
Figura 14-39. CAPEX de la tecnología de Incineración. Ecuación: $CAPEX = -206,3 \cdot \ln(\text{Capacidad}) + 3220,8$.	380
Figura 14-40. OPEX de la tecnología de Incineración. Ecuación: $OPEX = -20,18 \cdot \ln(\text{Capacidad}) + 298,96$	381
Figura 14-41. VN de plantas de Incineración Macrozona Norte.	385
Figura 14-42. Sensibilidad de plantas de Incineración de la Macrozona Norte. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh.....	386
Figura 14-43. Ingresos por tratamiento de residuos por Incineración, a diferentes precios nudo (26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh).	387
Figura 14-44. VAN de plantas de Incineración Macrozona Centro.....	388
Figura 14-45. Sensibilidad de plantas de Incineración de la Macrozona Centro. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh.....	389
Figura 14-46. Ingresos por tratamiento de residuos por Incineración, a diferentes precios nudo (26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh)	390
Figura 15-1. Presupuesto anual del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.....	394

Índice de Tablas

Tabla 1-1: Clasificación de los países según el nivel de los ingresos.....	56
Tabla 1-2. Simbología empleada en los diagramas de flujo.....	60
Tabla 1-3. Eficiencia de Plantas de Incineración	64
Tabla 1-4. Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Norte.....	65
Tabla 1-5. Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Centro.....	65
Tabla 1-6. Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Sur (parte 1).	66
Tabla 1-7. Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Sur (parte 2).	66
Tabla 1-8. Método para Análisis Económico de Alternativas.....	67
Tabla 1-9. Indicadores económicos de gestión de RSDyA.....	67
Tabla 1-10. Estimación de Tasa de Descuento por CAPM para tecnologías de Pretratamiento y Compostaje.	69
Tabla 1-11. Estimación de Tasa de Descuento por CAPM para tecnologías térmicas.....	70
Tabla 1-12. Desglose del cálculo del FCL	71
Tabla 3-1. Listado Propuesto del Sector Público.....	101
Tabla 3-2. Listado Propuesto del Sector Privado.....	102
Tabla 4-1. Metas de Recolección y valorización de envases y embalajes domiciliarios.....	107
Tabla 4-2. Metas de Recolección y valorización de envases y embalajes no domiciliarios.....	108
Tabla 4-3. Distribución del destino de los RSDyA en Europa (2015). Los datos son reportados en miles de toneladas. EEA: European Economic Area.	115
Tabla 5-1. Valorización de Residuos en Chile	122
Tabla 6-1: Generación de residuos según nivel de ingresos	123
Tabla 6-2: Recolección de residuos según nivel de ingresos	124

Tabla 6-3: Composición de residuos según nivel de ingresos	124
Tabla 6-4: Disposición de residuos según nivel de ingresos.....	125
Tabla 6-5: Distribución del destino de los RSDyA en países europeos al año 2015.....	129
Tabla 8-1. Costos de operación de planta de reciclaje, relacionado a los ingresos, e inversión tipo.	149
Tabla 8-2. Costos de operación de compostaje en hileras, relacionado a los ingresos, e inversión tipo.	158
Tabla 8-3. Rangos de composición del Biogás.	161
Tabla 8-4 Tipos de digestión anaerobia según concentración de sólidos.....	164
Tabla 8-5. Resumen ventajas y desventajas de tecnologías de Digestión Anaerobia de residuos sólidos....	166
Tabla 8-6. Principales características de los reactores tipo mezcla completan.....	167
Tabla 8-7. Principales características del reactor tipo flujo pistón.....	168
Tabla 8-8: Criterios de selección de la tecnología.....	169
Tabla 8-9. CAPEX, respectivo a Digestión Anaerobia.....	170
Tabla 8-10. Opex, respectivo a Digestión Anaerobia	170
Tabla 8-11. Poder calorífico de productos que caen dentro de la categoría de Envases y Embalajes	174
Tabla 8-12. CAPEX (costo de inversión) y costo por tonelada tratada, perteneciente a las tecnologías de incineración.....	176
Tabla 8-13. CAPEX, respectivo a diferentes tamaños de plantas de incineración.....	177
Tabla 8-14. Opex respectivo a Incineración	177
Tabla 8-15. Temperaturas de operación para Pirólisis de diferentes tipos de residuos.	181
Tabla 8-16. CAPEX, para procesos de gasificación convencional con turbina de vapor	188
Tabla 12-1. Estructura de costos FCA	285
Tabla 12-2. Inversión de la planta de Compostaje. El valor unitario de terreno para Compostaje, considera terreno de campo para su construcción.....	289

Tabla 12-3. Costos de Mano de Obra de la planta de Compostaje.....	290
Tabla 12-4. Costos de operación y de mantención del equipamiento de la planta de Compostaje. Las mantenciones no son anuales, se definen de acuerdo a las características del equipamiento.....	290
Tabla 12-5. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Compostaje, para tratar 10.000 ton/año de la materia orgánica de los RSDYA y Otros.....	291
Tabla 12-6. Inversión de la planta de Digestión Anaerobia. El valor unitario de terreno para la Digestión Anaerobia, considera construcción cerca de la ciudad.....	292
Tabla 12-7. Costos de Mano de Obra de la planta de Digestión Anaerobia.....	293
Tabla 12-8. Costo de operación y mantención del equipamiento de la planta de Digestión Anaerobia. Las mantenciones no son anuales, se definen de acuerdo a las características del equipamiento.....	293
Tabla 12-9. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Digestión Anaerobia, para tratar 10.000 ton/año de la materia orgánica de los RSDyA y Otros.....	294
Tabla 12-10. Inversión de la planta de Incineración. El valor unitario de terreno para la planta de Incineración, considera construcción cerca de la ciudad. Se estimó el requerimiento de 45.000 m ² para la planta.....	295
Tabla 12-11. Costos de Mano de Obra de la planta de Incineración.....	297
Tabla 12-12. Costos de operación y de mantención del equipamiento de la planta de Incineración.....	298
Tabla 12-13. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Incineración, para tratar 100.000 ton/año de RSDyA y Otros.....	299
Tabla 12-14. Variación de CAPEX y OPEX en Plantas de Incineración. Parte 1.....	300
Tabla 12-15. Variación de CAPEX y OPEX en Plantas de Incineración. Parte 2.....	301
Tabla 12-16. Inversión de la planta de Pirólisis. El valor unitario de terreno para la Pirólisis considera construcción cerca de la ciudad, y un requerimiento de 7.253 m ² de terreno.....	301
Tabla 12-17. Costos de Mano de Obra de la planta de Pirólisis.....	303
Tabla 12-18. Costo de operación y mantención del equipamiento de la planta de Pirólisis. Las mantenciones no son anuales, depende del equipo, se definen de acuerdo a las características del equipamiento.....	305
Tabla 12-19. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Pirólisis, para tratar 10.000 ton/año de RSDyA y Otros.....	305

Tabla 12-20. Inversión de la planta de Gasificación. El valor unitario de terreno para la planta considera construcción cerca de la ciudad, y un requerimiento de 30.000 m ²	307
Tabla 12-21. Costos de Mano de Obra de la planta de Gasificación.	308
Tabla 12-22. Costos de operación y de mantención del equipamiento de la planta de Gasificación.....	309
Tabla 12-23. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Gasificación, para tratar 100.000 ton/año de RDF.....	309
Tabla 12-24. Inversión de la planta de Pretratamiento. El valor unitario de terreno para la planta de Pretratamiento, considera construcción cerca de la ciudad.....	310
Tabla 12-25. Costos de Mano de Obra de la planta de pretratamiento de residuos.	311
Tabla 12-26. Costos de operación y de mantención del equipamiento de la planta de Pretratamiento de residuos. Las mantenciones no son anuales, se definen de acuerdo a las características del equipamiento.	311
Tabla 12-27. Resumen de las inversiones y costos operacionales de la tecnología de pretratamiento de residuos, para tratar 10.000 ton/año de RSDYA y Otros.	312
Tabla 12-28. Estructura de Costos de Plantas de Tratamiento	312
Tabla 12-29. Optimización técnica de Planta WTE Amsterdam.....	314
Tabla 12-30. CAPEX de Plantas de Digestión Anaeróbica (180.000 ton/año).....	315
Tabla 12-31. Visión Cualitativa de la Variación de Costos	315
Tabla 12-32. Distribución Porcentual tipo, de Costos en Gasificación	315
Tabla 13-1. Listado de entidades del Sector Público que fue entrevistado	316
Tabla 13-2. Listado del Sector Privado, actores expertos en temáticas de gestión de residuos y profesionales de Universidades que fueron entrevistados.....	317
Tabla 13-3. Listado de profesionales asistentes a la jornada de discusión.....	318
Tabla 14-1. Precio de comercialización de residuos reciclables.....	328
Tabla 14-2. Identificación de capacidad de planta de pretratamiento.....	329
Tabla 14-3. CAPEX y OPEX unitarios y totales de diferentes tamaños de planta.....	329

14-4. Estimación del Egreso Anual de la tecnología de Pretratamiento de los residuos.	330
Tabla 14-5. Estimación del Margen bruto de la planta de pretratamiento de residuos.	331
Tabla 14-6. Estimación del VAN de la planta de pretratamiento de residuos.	331
Tabla 14-7. TIR para las diferentes capacidades de pretratamiento de residuos, Macrozona Norte.	333
Tabla 14-8. TIR para las diferentes capacidades de pretratamiento de residuos, Macrozona Centro.	337
Tabla 14-9. TIR para las diferentes capacidades de pretratamiento de residuos, Macrozona Sur.	341
Tabla 14-10. Terreno requerido para las diferentes plantas diseñadas.	345
Tabla 14-11. Identificación de Capacidad de Plantas de Tratamiento por Compostaje.	346
Tabla 14-12. Estimación del Egreso Anual de la tecnología de Compostaje de los residuos.	346
Tabla 14-13. Estimación del Margen bruto de la planta de compostaje de residuos.	347
Tabla 14-14. Estimación del VAN de la planta de compostaje de residuos.	347
Tabla 14-15. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por compostaje, Macrozona Norte.	349
Tabla 14-16. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por compostaje, Macrozona Centro.	353
Tabla 14-17. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por compostaje, Macrozona Sur.	357
Tabla 14-18. Identificación de Capacidad de Plantas de Tratamiento por Digestión Anaeróbica.	362
Tabla 14-19. Estimación del Egreso Anual de la tecnología de Digestión Anaerobia.	363
Tabla 14-20. Estimación de generación de energía.	364
Tabla 14-21. Estimación del Margen bruto de la planta de Digestión Anaerobia.	364
Tabla 14-22. Estimación del VAN de la planta de Digestión Anaerobia.	365
Tabla 14-23. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Digestión Anaerobia, Macrozona norte.	366

Tabla 14-24. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Digestión Anaerobia, Macrozona Centro.	370
Tabla 14-25. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Digestión Anaerobia, Macrozona Sur.	375
Tabla 14-26.: PCI de Procesos Térmicos por Región representante de Macrozona.	381
Tabla 14-27 . Identificación de Capacidad de Plantas de Tratamiento por Incineración.	382
Tabla 14-28 . Estimación del Egreso Anual de la tecnología de Incineración.	383
Tabla 14-29 . Estimación de generación de energía.	383
Tabla 14-30 . Estimación del Margen bruto de la planta de Incineración.	384
Tabla 14-31 . Estimación del VAN de la planta de Incineración.	384
Tabla 14-32 . TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Incineración, Macrozona Norte.	385
Tabla 14-33. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Incineración, Macrozona Centro.	388
Tabla 15-1. Tabla resumen de fondos provenientes del FNDR, destinados para los Programas de Inversión Regional parte 1.	393
Tabla 15-2. Tabla resumen de fondos provenientes del FNDR, destinados para los Programas de Inversión Regional parte 2.	393
Tabla 15-3. Presupuesto identificado para programas de inversión de los Gobiernos Regionales, según Glosa 8.	396
Tabla 16-1. Legislaciones y medidas impulsadas por países europeos y asiáticos, para promover el uso de tecnologías de valorización de residuos.	409
Tabla 16-2. Impuestos de disposición establecidos en Europa para la disposición de residuos en rellenos sanitarios.	410
Tabla 17-1. Cronograma de la jornada de discusión.	414
Tabla 17-2. Listado de asistentes a la jornada de discusión.	415
Tabla 18-1. Cronograma del Seminario Taller.	418

Tabla 18-2. Listado de asistentes del sector privado.....	419
Tabla 18-3. Listado de asistentes del sector público.....	419
Tabla A-1. Carta Gantt del proyecto actualizada. La fecha de inicio corresponde al 22 de enero del 2019. Las fechas indicadas en la presente tabla corresponden a la semana de cierre. La tabla posee tres colores: amarillo corresponde a las actividades de inicio y cierre, el gris corresponde a la actividad, y el naranja a productos o reuniones.....	427
Tabla B-1. Datos Generales de la Encuesta (Parte 1).....	432
Tabla B-2. Estado actual de la gestión de residuos (Parte 2).....	433
Tabla B-3. Tecnologías (Parte 3).....	434
Tabla B-4. Recursos relacionados con gestión de residuos (Parte 4).....	435
Tabla B-5. Organización y cadena de suministros (Parte 5).....	435
Tabla B-6. Visión General de la gestión de residuos (Parte 6).....	436
Tabla B-7. Temas abiertos (Parte 7).....	436

Introducción

La Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (Subdere) del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, a través del Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) se ha planteado contribuir en el desarrollo territorial sustentable a nivel comunal, provincial y regional, por medio del análisis de la factibilidad de uso de alternativas de tratamiento integrales que permitan gestionar los residuos sólidos, mejorando la calidad ambiental y las condiciones de salud de los territorios, avanzando hacia la siguiente etapa de gestión de residuos.

La Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, como ejecutor del proyecto “*Estudio de Factibilidad del Funcionamiento de Tecnologías que Procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros*” de la Subdere, se encargó de analizar diferentes fuentes de información, entrevistar actores claves y analizar características territoriales, para determinar la factibilidad técnica, ambiental, legal y económica que permite implementar las tecnologías de tratamiento alternativas a Rellenos Sanitarios.

La clasificación de las tecnologías de tratamiento se separa en: tratamiento biológico (Compostaje y Digestión Anaerobia), tratamiento térmico (Incineración, Pirólisis, Gasificación) y tecnologías de pretratamiento de residuos para su reutilización o reciclaje (reducción de tamaño, compactación o densificación de residuos y separación manual o magnética).

El presente informe se divide en tres etapas:

Etapas 1 – en esta etapa se realizó una descripción de la disponibilidad y composición de residuos por región, identificando los Gobiernos Regionales que se emplean como representantes de Macrozonas en el territorio chileno.

Posteriormente se presenta un diagnóstico nacional de la gestión de residuos, identificando los sitios de disposición final, disponibilidad de residuos y proyectos futuros de tratamiento de residuos.

Para complementar los conocimientos de tratamiento de residuos, se procede a analizar el tratamiento de residuos a nivel internacional, determinando las principales tecnologías de tratamiento empleadas para la valorización de los residuos.

La información recabada se complementó con entrevistas con actores claves del sector público y privado, haciendo un primer acercamiento al análisis del tratamiento de los residuos, mediante un análisis FODA, análisis de Porter y análisis de Pestel.

La etapa 1 finaliza con la clasificación de las tecnologías, presentando una descripción, tipos de residuos que pueden tratar, condiciones ambientales y costos operativos identificados por fuentes bibliográficas.

Etapas 2 – esta etapa consistió en analizar la factibilidad técnica, económica, ambiental y legal del uso de las tecnologías. Para ello, se identificaron los roles de actores involucrados en el uso de la tecnología, el modelo de negocios de las tecnologías, CAPEX y OPEX de un tamaño tipo y se desarrollaron fichas tecnológicas que contienen los fundamentos de la tecnología, tecnologías disponibles, descripción, diagrama de flujo del proceso, madurez y capacidad de planta, vida útil, requerimientos operacionales, características y destino de productos

y/o residuos generados, requerimientos del sustrato, descripción de alternativas de tratamiento para la fracción de residuos no tratable, estabilidad operacional, requisitos técnicos del personal, requerimientos para desarrollo, restricciones de carácter territorial, Layout, aspectos legales y aspectos ambientales.

La etapa 2 finaliza con un taller FODA, en el cual se validaron los análisis FODA, Porter y Pestel con un grupo de expertos en la temática de tratamiento de residuos.

Etapa 3 – esta etapa presenta propuestas tecnológicas de las alternativas de tratamiento, evaluando económica y técnicamente su implementación en las diferentes regiones que componen la Macrozona norte, centro y sur de Chile.

Se presentan fuentes de financiamientos nacionales e internacionales, determinando la viabilidad de la implementación de las tecnologías con fondos públicos y los instrumentos de apoyo que puede implementar el estado para fomentar el uso de las tecnologías.

El cierre del proyecto consistió en dos jornadas, correspondientes a una jornada de discusión con actores gubernamentales y un seminario taller con actores del sector público y privado. En las jornadas se interactuó con actores claves para complementar la información y las principales conclusiones y recomendaciones del proyecto.

La estructura del informe esta ordenada de la siguiente manera:

- Introducción
- Objetivos y Alcances
- Etapa 1
 - Selección de Gobiernos Regionales Representativos a Macrozona.
 - Identificación de Actores Claves.
 - Revisión Bibliográfica Preliminar.
 - Diagnóstico Nacional.
 - Estado del Arte a Nivel Internacional.
 - Análisis de la Industria.
 - Clasificación de Tecnologías de Tratamiento.
- Etapa 2
 - Tecnologías de Tratamiento Biológico.
 - Tecnologías de Tratamiento Térmico.
 - Tecnologías de Pretratamiento de Residuos.
 - Análisis Económico de las Tecnologías.
 - Síntesis del Análisis de la Industria Actualizada.
- Etapa 3
 - Propuestas Tecnológicas y su Análisis Económico.
 - Fuentes de Financiamiento.
 - Instrumentos de Apoyo.
 - Jornada de Discusión.
 - Jornada Seminario Taller.
 - Conclusiones y Recomendaciones.
- Anexo 1: Programación del Proyecto.

- Anexo 2: Pauta de Entrevista.
- Anexo 3: Presentación de Jornada de Discusión.
- Anexo 4: Presentación de Seminario Final.
- Anexo 5: Bibliografía.

1 OBJETIVOS Y ALCANCES

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Diagnosticar y evaluar la factibilidad del funcionamiento de tecnologías que procesen residuos sólidos domiciliarios, asimilables y otros (RSDyA) en Chile.

1.1.2 Objetivos específicos

El proyecto está dividido en tres etapas globales. Como tal, se ha definido los siguientes objetivos específicos por etapa:

Etapas 1:

- Detectar y clasificar el funcionamiento de tecnologías que procesen residuos sólidos domiciliarios asimilables y otros, considerando alternativas de recuperación, tratamiento biológico, tratamiento térmico y disposición final.

Etapas 2:

- Evaluar la factibilidad técnica, legal, económica e institucional, considerando las distintas características territoriales del país.

Etapas 3:

- Generar y presentar propuestas y recomendaciones, para la implementación de las distintas tecnologías por cada territorio.

1.2 Alcance general

El estudio que se presenta en este informe se realizó básicamente en el primer semestre de 2019, teniendo como término el mes de Julio de este año. Para su elaboración se consideraron como referencia el diagnóstico elaborado por Subdere (2018) además de una extensa revisión bibliográfica de documentación nacional e internacional. Se desarrollaron reuniones, talleres y seminarios tanto en Santiago como regiones, complementado con opiniones de expertos y asesores.

Un estudio de esta naturaleza busca generar consensos en materias técnicas y económicas que sirvan de fundamento para conducir a Chile hacia una gestión más avanzada de sus residuos sólidos domiciliarios, donde

el estado actual ha logrado un manejo sanitario adecuado, pero requiere de la pronta incorporación de tecnologías que logran valorizar los RSDyA, en acciones coherentes con una visión sustentable de largo plazo.

Consecuente con este planteamiento, el estudio se ha focalizado hacia las tecnologías que pudiesen ser implementadas en cada una de las regiones del país, donde sobresale la necesidad de fortalecer el reciclaje, el compostaje y la segregación en origen. Las tecnologías de tratamiento presuponen que la gestión obedece a un sistema integrado, donde todas las acciones se enmarcan en conceptos de revalorización, mejor uso de recursos y proyectos ambientalmente positivos. Por ello, el estudio revisa y analiza tanto pretratamiento como tratamientos finales, incluyendo procesos físicos, químicos y biológicos, tratando de definir condiciones factibles para su uso en Chile.

La secuencia de presentación de este informe ha mantenido la estructura definida en las bases de la licitación, siguiendo el orden que dio origen a los informes parciales. En tal sentido se estima que las materias quedan ordenadas en forma lógica, que van desde el diagnóstico hasta las evaluaciones de nuevas tecnologías, utilizando información reciente debidamente validada.

Por tratarse de un estudio que pretende definir un marco de referencia para la implementación de tecnologías es relevante señalar que cada uno de los aspectos desarrollados puede progresivamente ser profundizado, tanto por información contenida en el informe, como por iniciativas que podrán surgir para avanzar en las soluciones propuestas a nivel de perfil de proyectos.

En todo estudio hay ciertos supuestos que es necesario declarar expresamente, los que surgen tanto de las bases de las cuales se inicia el trabajo como de su propio desarrollo. Estos se van presentando sucesivamente en el desarrollo del estudio.

Se hace notar que, si bien se ha organizado la información en un esquema común para cada temática, la disponibilidad de información no siempre es completa, lo que genera descripciones que pueden no ser homogéneas entre sí.

En el análisis de la industria se usan métodos alternativos que reflejan la visión de los distintos actores, parte de las aseveraciones que se entregan han sido obtenidas de entrevistas y reuniones con partes interesadas, a lo que se agregan antecedentes de publicaciones nacionales e internacionales y la propia posición del equipo de profesionales, autores del presente informe.

Para el desarrollo del proyecto, en cada etapa se emplearon las metodologías que permitieron cumplir con los objetivos específicos identificados.

1.3 Ajuste metodológico

1.3.1 Ajuste de programación del proyecto

La programación del proyecto se ajustó revisando los términos de referencia, y los respectivos tiempos de ejecución de las actividades definidas para el proyecto, en conjunto con la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.

La información correspondiente al ajuste de la programación se encuentra disponible en el Anexo 1.

1.3.2 Selección de Gobiernos Regionales

Se analizó información disponible bibliográficamente, tal como el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere*, y se presentaron propuestas de Gobiernos Regionales, con los respectivos análisis de disponibilidad de residuos.

En este trabajo se seleccionaron 3 regiones, las cuales representan a la Macrozona Norte, Macrozona Central y Macrozona Sur.

1.3.3 Identificación de actores relevantes

Se generó una propuesta de listado de empresas, instituciones, agrupaciones y profesionales expertos. Los actores relevantes pertenecientes a cada entidad fueron entrevistados para el levantamiento de información de carácter cualitativo y cuantitativo. La pauta de la entrevista se presenta en el Anexo 2.

Las entrevistas fueron realizadas durante la etapa 1, y se continuó durante parte de la etapa 2 del proyecto.

1.3.4 Revisión Bibliográfica

Se realizó un levantamiento de información que consideró:

- Terminología empleada en la gestión de RSDyA.
- Leyes y normativas.
- Procesos de tratamiento biológico, físico y químico de RSDyA.
- Valorización de RSDyA a nivel nacional.
- Valorización de RSDyA a nivel internacional.

1.4 Alcances de la Etapa 1

A. Conceptos y definiciones principales

Es importante considerar que el estudio propuesto es una aproximación al estado del arte basada en una visión técnica, económica y ambiental de la gestión de residuos, tanto en Chile como Internacional, para lo cual se usan términos con definiciones precisas de su alcance. Por esta razón y en beneficio del mejor entendimiento del estudio, se introducen definiciones de los conceptos principales que son utilizados en esta área del conocimiento.

Los principales términos que se usan en el estudio son los siguientes:

Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables (RSDyA): Residuo sólido o semisólido de origen exclusivamente residencial, generados por la actividad humana dentro de una vivienda.

Residuos Sólidos Urbanos o Municipales (RSU): residuos sólidos o semisólidos provenientes de las actividades propias de los núcleos poblacionales en general, que incluyan los residuos de origen domiciliario, comercial, de servicios, institucionales, de mercados, hospitalarios comunes o no peligrosos, oficinas, barrido de calles y áreas públicas, podas de plantas de calles, plazas y jardines públicos.

Generación de residuos: abarca aquellas actividades en las que se identifica que los materiales ya no tienen valor y se desechan o se recogen para su eliminación.

Segregación: Actividad que consiste en recuperar materiales reusables o reciclados de los residuos.

Segregadores: Persona que se dedica a la recuperación y venta de materiales desechados para su reuso o reciclaje como medio de vida. Los segregadores son trabajadores informales de la basura. En Chile son conocidos como “cartoneros”.

Recolección: incluye tanto la recolección de desechos sólidos y materiales reciclables como el transporte de estos materiales, después de la recolección, al lugar donde se vacía el vehículo de recolección, como una instalación de procesamiento de materiales, una estación de transferencia, vertedero o relleno sanitario.

Tratamiento: Proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial, a partir del cual se puede generar un nuevo residuo sólido con características diferentes.

Disposición final: Acción de depositar permanentemente residuos en diversos tipos de sitios e instalaciones.

Reciclaje: Actividad mediante la cual determinados residuos sólidos son separados, recogidos, clasificados y procesados para reincorporarlos a un ciclo doméstico, industrial o comercial

Valorización: Conjunto de acciones asociadas, cuyo objetivo es recuperar un producto o varios de los materiales que lo componen, mediante procesos de tratamiento que pueden permitir su reuso, reciclaje, obtención de subproductos y/o la generación de energía.

Análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas): es una herramienta del análisis de negocio, que permite identificar los factores internos y externos más importantes, para la definición de la estrategia del negocio. Su función es conocer a fondo el negocio para lograr una ventaja competitiva ante los demás que se le parezcan. Se clasifican como factores: internos, externos, positivos y negativos. La Matriz FODA es un marco conceptual para un análisis sistemático simple, que ayuda a diferenciar los factores relevantes de los que no lo son, para generar un diagnóstico que finalmente ayude a desarrollar estrategias y tomar decisiones.

Análisis PESTEL (Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos, Ecológico y Legal): identifica los factores del entorno general que van a afectar a las empresas u organizaciones. Utilizado para comprender los ciclos de un mercado, la posición de una empresa o la dirección operativa. Es una herramienta previa al análisis FODA, que presenta la empresa en el marco de la planificación estratégica. Los elementos del modelo se clasifican en 4 bloques: político – legales, económicos, socioculturales y tecnológicos.

Modelo de las 5 fuerzas de Porter (PORTER): consiste en analizar a la industria a la cual pertenece una empresa u organización. Es el marco más influyente y el que más se utiliza para la evaluación del atractivo de una industria, es un análisis estructural del sector industrial que se basa en 5 fuerzas básicas: intensidad de la rivalidad entre competidores, amenaza de nuevos participantes, amenaza de sustitución, poder de negociación de los compradores y poder de negociación de los proveedores. La acción conjunta de estas fuerzas determina la rentabilidad potencial en el sector industrial, en donde el potencial de utilidades se mide en términos del rendimiento a largo plazo del capital invertido.

Inversiones en bienes de capital (CAPEX): son gastos en capital que crean beneficios. Se ejecuta cuando un negocio invierte en la compra de un activo fijo o para añadir valor a un activo existente tales como equipamientos, propiedades o edificios industriales, con una vida útil que se extiende más allá del año imponible.

Gastos operacionales (OPEX): es el coste de desarrollo o el suministro de componentes no consumibles para el producto o sistema. Corresponde un gasto del día a día, tales como ventas y administración, o de investigación y desarrollo, en contraposición a la producción, costos y precios.

Nivel de Ingresos: el Banco mundial clasifica las economías del mundo en 4 grupos de ingreso en base al ingreso nacional bruto (INB) per cápita calculado usando el método del Atlas y expresado en dólares americanos a valor corriente. La Tabla 1-1 muestra la clasificación según el nivel de ingresos publicado por el banco mundial para el año 2019.

Tabla 1-1: Clasificación de los países según el nivel de los ingresos

Umbral	INB per cápita (USD a valor corriente)
Ingreso bajo	995 o menos
Ingreso mediano bajo	entre 996 y 3895
Ingreso mediano alto	entre 3896 y 12 055
Ingreso alto	más de 12 055

Fuente: Banco Mundial, 2019.

B. RSDyA en el contexto internacional

La situación internacional de la gestión de RSDyA, se presenta a través de la revisión de estudios mundiales recientemente publicados, que entregan información global sobre volúmenes de residuos, manejo de ellos, tecnologías actualmente en uso y tecnologías que poseen un potencial de ser desarrolladas, factores que determinan las condiciones de gestión en los distintos países y otros elementos de análisis que pueden ser relevantes de considerar para Chile.

C. Diagnóstico nacional

Para definir el estado del arte, se consideran aspectos cuantitativos y cualitativos, entendiendo que ambos son fundamentales de comprender para lograr una correcta aproximación a los aspectos estratégicos de la gestión de RSDyA, y en especial, referidos al uso de tecnologías de tratamiento.

Desde el punto de vista cuantitativo, la referencia que se ha considerado es el informe SUBDERE “*Diagnóstico y Catastro Nacional de Sitios de Disposición Final e Instalaciones para la Gestión de Residuos Sólidos*” publicado el 2018, que da cuenta a nivel comunal de la realidad nacional de la gestión de RSDyA. Adicionalmente, se plantea la revisión de otros estudios parciales o complementarios que puedan permitir ampliar la información disponible.

La aproximación cualitativa se ha logrado a través de entrevistas y reuniones con partes interesadas, cuyos puntos de vista han sido analizados de acuerdo con información de diversos estudios.

D. Análisis de la Industria

Desde los años sesenta, se han desarrollado diversos métodos para analizar cómo puede una empresa desarrollar su modelo de negocios sea cualquiera su orientación. Estos enfoques se han generalizado en especial por los procesos de innovación que dan origen a emprendimientos relacionados con nuevas tecnologías.

Por otra parte, cabe destacar que la visión que se utiliza tiene su origen en la teoría de sistemas, de la cual se hace notar su carácter holístico, muy apropiado para revisar y analizar lo que es y podría ser la gestión integral de residuos sólidos en el país. La industria de RSDyA considera el ciclo completo de los residuos, desde su generación domiciliaria hasta su destino final. El sistema incluye recolección, conducción, transporte, tratamientos y actividades de gestión.

Desde el punto de vista del Proyecto, se ha centrado la atención en los tratamientos y disposición final, pero estos se encuentran concatenados a los pasos anteriores. Así, por ejemplo, en un sistema moderno de tratamiento de residuos, se asume que existe segregación en el origen, lo que determina una logística muy distinta a la actualmente utilizada en Chile.

Para avanzar en el análisis de la industria que estaría asociada a los RSDyA, se plantea una síntesis basada en tres métodos de amplia aceptación, como son el FODA, PEST (o PESTEL) y PORTER. Se debe tener en consideración que los métodos presentados en la Etapa 1 serán analizados y validados en la Etapa 2, en una jornada de discusión, con diferentes actores claves.

E. Clasificación de tecnologías

Para efectos del diagnóstico, se considera que es necesario identificar qué factores externos son limitantes para la introducción de nuevas tecnologías. Estos pueden ser antrópicos o naturales. En los primeros se estima que es importante revisar aspectos ambientales, culturales y sociales, que puedan diferir de una región a otra, especialmente en el Norte y el Sur de Chile, que se puedan reflejar en cantidades y composición de residuos y disposición al mejor manejo de estos. En los aspectos naturales, se revisan efectos climáticos, territoriales u otros que puedan ser claves para introducir nuevas tecnologías.

Conceptualmente el uso de tecnologías no es independiente del medio en el cual se instalan. En particular para los RSDyA, se busca identificar qué factores locales deben ser considerados, sin perjuicio de incluir aquellos que son válidos en cualquier territorio.

Con el fin de ordenar la información técnica existente obtenida tanto de fuentes primarias como secundarias, la clasificación y análisis de las tecnologías consideran los siguientes aspectos:

- **Descripción de la Tecnología:** se informa tanto de sus condiciones de diseño como operacionales, destacando aquellos aspectos que han sido objeto de continuados procesos de mejoramiento, como asimismo de las fortalezas y debilidades que favorecen o limitan su desarrollo. Entre estos factores se encuentran el control operacional, los productos a obtener, sus características energéticas y de conversión de las materias primas utilizadas, y otros elementos de análisis que pueden ser útiles para seleccionar la tecnología. Se describen las tecnologías actualmente en operación a nivel mundial y los desarrollos que han permitido mejorar su eficiencia y eficacia. Se destacan las características que permiten su mejor uso y qué aspectos pudiesen ser complejos de abordar
- **Tipos de Residuos Sólidos:** aspecto relevante para analizar las condiciones pretratamiento que podrían ser obligatorias para usar la tecnología con RSDyA, donde es común que tengan materiales de diverso origen, no todos ellos compatibles con los procesos. Su eliminación puede ser un cuello de botella que impida el uso de la tecnología.
- **Costo de Operación e Inversión:** son tratados a través del OPEX (costo operacional) y el CAPEX (costo de capital), con valores obtenidos de fuentes secundarias nacionales e internacionales. Es un indicador importante que se debe destacar en el costo de tratamiento por tonelada de materia prima, valor que permite comparar las tecnologías bajo el concepto de evaluación privada. Cabe destacar que en la Etapa 2 del proyecto se separan las diferentes inversiones (CAPEX) y costos de operación (OPEX) involucrados para un tamaño tipo de las tecnologías y en el Etapa 3, se analizan diferentes tamaños de plantas que pueden implementarse en Chile, con su respectivo análisis económico.
- **Condiciones ambientales:** esta parte se aborda considerando las emisiones que produce la tecnología y adicionalmente las normativas que en Chile existen sobre ellas. Complementariamente, se informa de condiciones territoriales y locales que pudiesen ser restrictivas para los proyectos respectivos. En la etapa 2 del proyecto se profundiza este análisis de las tecnologías.

1.5 Alcances de la Etapa 2

A. Tecnologías de Tratamiento

El análisis de las tecnologías de tratamiento de los residuos está separado en tecnologías de tratamiento biológico, tratamiento térmico y pretratamiento.

Para cada tecnología identificada en estas categorías se desarrolló una ficha que contiene los siguientes puntos:

- Fundamento de la tecnología.
- Tecnologías disponibles.
- Descripción.
- Diagrama de flujo.
- Fotos de equipamiento y/o planta de tratamiento de residuos.
- Madurez tecnológica.
- Vida útil del proceso.
- Requerimientos operacionales.
- Características y destino de los productos y/o residuos generados.
- Requerimientos del sustrato o residuo a utilizar.
- Descripción alternativa para fracción RSD no tratable.
- Estabilidad operacional.
- Requisitos técnicos del personal.
- Requerimientos para desarrollo.
- Restricciones de carácter territorial.
- Layout de una planta tipo.
- Marco normativo (aspectos legales y ambientales)

El diagrama de flujo empleado para presentar las tecnologías es de carácter informativo, para comprender el proceso y los flujos que lo componen, comprendiendo como material valorizable, aquel que puede ser tratado por alguna de las tecnologías de tratamiento de residuos. La simbología empleada se presenta en la Tabla 2-2.

Tabla 1-2. Simbología empleada en los diagramas de flujo.

Símbolo	Representación
	Inicio del proceso.
	Fin del proceso.
	Operación: representa una actividad o procedimiento del proceso.
	Decisión: representa una decisión para alternativas del flujo del proceso.
	Conector: representa una conexión o enlace en el diagrama de flujo.
	Conector de página: representa una conexión o enlace con otro diagrama, en el cual continua el proceso.

Fuente: Programa Lucidchart.

Posterior a la presentación de las tecnologías en su ficha correspondiente se procede con su análisis, identificando sus alcances, las principales características que posee, análisis de su factibilidad técnica, legal y ambiental de poder ser aplicada en Chile.

El análisis de las tecnologías se complementa con la identificación de los roles de actores que están involucrados en el uso de la tecnología y el modelo de negocios que puede ser aplicado.

Los roles presentados de los actores involucrados en el uso de las tecnologías se respaldan con las respectivas normativas que otorgan diferentes funciones de gestión a las instituciones.

El modelo de negocios se presenta empleando la metodología Canvas para las tecnologías de tratamiento de residuos sólidos. En el esquema presentado se identifica el segmento de clientes, relación con los clientes, los canales por los cuales se presenta la propuesta y se impulsa, la propuesta de valor, las actividades claves y recursos claves, la red de aliados, la estructura de costos y la fuente de ingresos.

B. Análisis económico

En el análisis económico se estudió diferentes datos bibliográficos y datos propios, para poder desarrollar el desglose de los costos de inversión y de operación de las tecnologías de tratamiento. Adicionalmente, se implementó el análisis de las curvas de costos de inversión y operación de las tecnologías de Digestión Anaerobia, Incineración y Pirólisis, identificando la relación entre los costos y la capacidad de tratamiento de la planta.

Cada tecnología posee una tabla resumen con los principales costos de operación e inversión, para un tamaño tipo.

Para el análisis económico, se realizaron acotaciones pertinentes en los diferentes modelos empleados, para estimar el costo relativo al escalamiento de equipos y la actualización de precio al periodo actual. Complementariamente, se presenta una estructura de costos desglosada para plantas de tratamiento, identificando los costos directos e indirectos.

C. Síntesis de la Industria Validada

Durante la ejecución de la Etapa 2 del proyecto, se realizó un taller con la asistencia de actores relevantes relacionados al rubro de la gestión de residuos. Durante esta instancia, se analizó la información presentada en la Etapa 1, respectivo a los modelos FODA; PORTER y PESTEL, y se validó cada uno de los puntos presentados.

En esta sesión también surgieron nuevos puntos que fueron agregados a la información previamente presentada, robusteciendo el sistema.

1.6 Alcances de la Etapa 3

A. Planteamiento general de la evaluación económica

Para elaborar las propuestas y analizar técnico-económicamente las plantas de valorización de RSDyA, cabe considerar aspectos que podrían resultar claves en un proceso de análisis de su factibilidad. Estos aspectos incluyen conceptos técnicos, económicos y ambientales, de los cuales se destacan los siguientes:

Este proyecto se centra en las tecnologías de tratamiento para la valorización de los RSDyA, sin embargo, debe hacerse notar que la gestión de residuos corresponde a un manejo integral que al menos incluye un ciclo de vida desde la generación hasta su disposición final.

En nuestro país, la solución que se ha implementado corresponde a Rellenos Sanitarios. Esta tecnología convencional está operando satisfactoriamente en diferentes regiones, con la salvedad que aún hay territorios que no tienen implementada esta solución, incluso con déficit que son críticos.

En países desarrollados como los europeos, la disposición de residuos en Rellenos Sanitarios no se considera la mejor solución, especialmente si se trata de cargas orgánicas, pues eventualmente se convierten en focos generadores de contaminación. El análisis desarrollado durante este proyecto ha demostrado una clara

tendencia al desarrollo de tecnologías de valorización energética como son la Digestión Anaerobia y los procesos térmicos, empleando como primer nivel tecnológico, la implementación de Rellenos Sanitarios, plantas de reciclaje y de Compostaje.

Con relación a este cambio, es importante observar que los nuevos proyectos no obedecen sólo a un cálculo económico, sino que, a la necesidad de respuestas más eficientes frente a los daños ambientales, donde se plantea avanzar sostenidamente hacia la economía circular como base de la sustentabilidad de los países.

Con la intención de avanzar hacia mejores prácticas ambientales, es donde cabe referirse a nuevas tecnologías para el tratamiento de RSDyA, cuyo desarrollo se espera sea necesario en el futuro inmediato, en parte complementando a los Rellenos Sanitarios y, asimismo, lograr un cambio significativo en temas ambientales.

Consecuentemente, el análisis que se ha elaborado cumple con los objetivos del estudio al identificar en qué condiciones podrían plantearse nuevas tecnologías de tratamiento a las actualmente utilizadas en Chile. Estas condiciones provienen de distintos factores cuantitativos y cualitativos del desarrollo, de los cuales a continuación se hace referencia a los aspectos técnicos, territoriales y económicos que inciden en una evaluación.

B. Criterios Técnicos

Residuos: El análisis que se incluye en este proyecto, considera que se dispondrá de RSDyA segregados en su origen, de tal modo que la alimentación a las plantas incluye exclusivamente los componentes que serán procesados. En las tecnologías como Incineración, existen experiencias de plantas que se alimentan con residuos sin segregación, pero no suele ser la mejor práctica ya que disminuye ostensiblemente el rendimiento, y no se estima conveniente proponer esta alternativa. Aun así, se incluyen como parte del paquete tecnológico los procesos de pre y post-tratamiento, de tal modo que se incluyen sus costos.

Tamaño de Planta: el tamaño de una planta queda definido por varios factores, entre ellos la disponibilidad de residuos, los tiempos de transporte, sus propiedades, características fisicoquímicas y las alternativas de manejo y uso de los productos finales. Se ha optado por un criterio práctico que indica que al menos debe analizarse la condición de la planta de menor tamaño económico, la que está definida por las referencias de instalaciones comerciales que permitieron elaborar las gráficas de CAPEX y OPEX, y diseños de plantas realizados para las tecnologías de Compostaje y Pretratamiento.

A este análisis se agregan otros tamaños que eventualmente pueden permitir mejorar beneficios de la valorización. El procedimiento implementado permite simular tamaños de planta según se requiera para un mejor análisis.

El escalamiento de los equipos consideró el empleo del índice de escalamiento de costos:

$$Costo_{V2} = Costo_{V1} * \left(\frac{Tamaño_2}{Tamaño_1}\right)^{0,6}$$

Donde los subíndices 1 y 2 representan la misma tecnología en tamaños dados por los caudales tratados que tienen los costos con los respectivos subíndices.

Poder Calorífico: el cálculo del poder calorífico es fundamental para determinar la generación de energía en las tecnologías térmicas. La estimación del poder calorífico se realiza en base al Diagrama de Tanner de la Figura 1-1 siguiente:

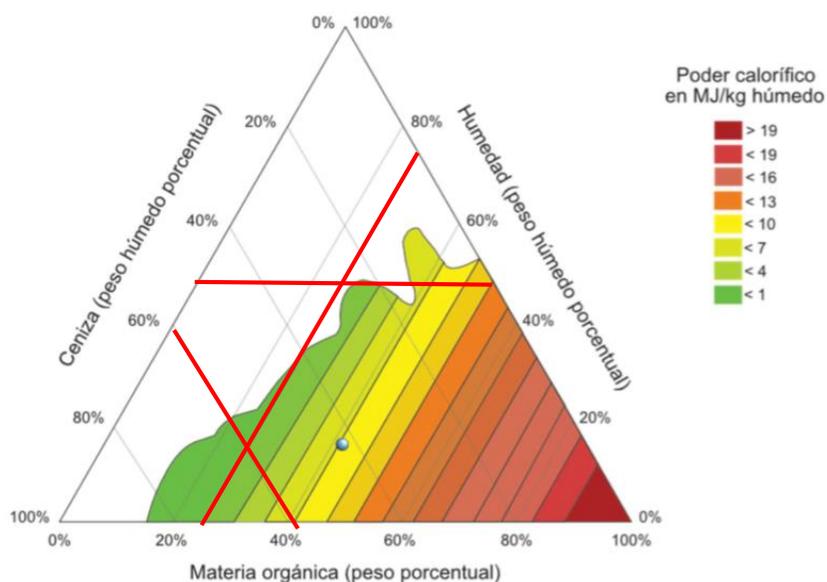


Figura 1-1. Diagrama de Tanner, materia orgánica v/s humedad, cenizas y poder calorífico.

Fuente: Dimitrios, K. et al, 2013.

Las líneas rojas que se observan en la Figura 1-1, se diseñaron para presentar los límites del área factible para procesos térmicos de residuos sólidos, correspondiendo a la siguiente condición: Humedad < 50%, carga orgánica > 25% y cenizas < 60%. Cualquier otra condición representa no factibilidad técnica del proceso. Respecto de la estimación de poder calorífico existen diversos métodos propuestos en literatura especializada, algunos incluyen expresiones matemáticas dependientes de los contenidos de orgánicos (en su sentido amplio corresponde a materia que puede ser combustionada, es decir es la suma de orgánicos+paples y cartones+plásticos), humedad, metales y vidrio (Themelis et al, 2013).

Eficiencia de Procesos: existe una gran disparidad de criterios cuando se hace referencia a eficiencias de conversión desde RSDyA a energía eléctrica o calórica (vapor). Al respecto, debe tomarse en cuenta que para plantas que sólo producen electricidad, la eficiencia varía entre 17 a 30%, mientras que para plantas que generan calor más electricidad, se tiene un rango entre 70 a 85%.

En plantas de incineración avanzada, se supera el 90%. Por este motivo se prefiere incluir como alternativas a evaluar plantas de cogeneración (ver Tabla 1-3).

Tabla 1-3. Eficiencia de Plantas de Incineración

Tipos de Procesos	Eficiencia (%)
Solo Generación Eléctrica	17-30%
CHP (Calor y Potencia)	70-85%
Estaciones de Vapor y Agua Caliente	90-100%
CHP avanzado	85-95

Fuente: Stantec 2014

Respecto a la vida útil se analizó la Resolución N°43 del Sistema de Impuestos Internos, y se hacen los siguientes alcances:

- La Resolución N° 43 del Sistema de Impuestos Internos no considera al tratamiento de residuos dentro del análisis de vida útil de las diferentes “*Actividades y bienes*”.
- Como tal, la pauta deja a criterio de la empresa el cómo plantear la vida útil, sujeto a una posterior aprobación por parte del SII.
- Se analizaron las opciones disponibles y se determina que, al tratarse de evaluaciones conceptuales, no cabe segregar partidas, es decir, se plantea una vida útil única para la depreciación como paquete tecnológico cerrado, considerando en su cálculo la eliminación de todo bien que no sea depreciable.
- De acuerdo con lo anterior, se puede optar por un sistema de depreciación normal o acelerado. El sistema de depreciación acelerado no se emplea usualmente, pues difiere el pago de impuestos y se acepta en casos especiales identificados en la Resolución N° 43 del SII.
- El paquete tecnológico posee bienes depreciables a 6, 10, 15, 20, 30 y más años. Como promedio ponderado de acuerdo con la inversión, se identificó una vida útil de 20 años.
- Las tecnologías se analizan a 20 años, por lo que no hay valor residual al terminar el periodo de análisis.
- La depreciación del paquete tecnológico considera que se elimina los términos no depreciables. Para el caso de compostaje y pretratamiento, tecnologías que fueron diseñadas, se puede calcular caso a caso la eliminación de los términos no depreciables. Respectivo a la Digestión Anaerobia e Incineración, al obtener los datos de inversión bibliográficamente, se determinó que un 2,1% de la inversión corresponde a terreno y un 5% de la inversión corresponde a mejoramiento de terreno (Peters y Timmerhaus, 2003; Stantec, 2011).

C. Aspectos Territoriales

Concentración Urbana: la generación de RSDyA está fuertemente concentrada, consecuencia de los asentamientos humanos de alta población que se observa en el territorio nacional. Esta situación obliga a pensar en soluciones distintas para comunas pequeñas. Por otra parte, la conurbación se presenta marcadamente en algunas regiones, lo que permite definir soluciones comunes.

Generación de RSDyA: las siguientes tablas muestran la composición expresada en toneladas anuales de las diferentes regiones que componen las macrozonas, observándose que la materia orgánica tiene grandes diferencias. Para efectos del diseño, se considera que el valor informado de Valparaíso no es correcto y que se posee una humedad de residuo similar, entre las regiones que componen la Macrozona. (Ver Tabla 1-4, Tabla 1-5, Tabla 1-6 y Tabla 1-7)

Tabla 1-4. Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Norte.

Componentes	Arica y Parinacota		Tarapacá		Antofagasta		Atacama		Coquimbo	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	18.120	12,9	23.260	13,5	20.221	6,7	13.562	12,5	39.813	11,7
Plásticos	13.950	10,0	31.145	18,1	33.680	11,2	14.228	13,1	51.036	14,9
Metales	2.810	2,0	2.393	1,4	9.360	3,1	2.998	2,8	7.807	2,3
Vidrio	8.509	6,1	3.724	2,2	17.041	5,7	2.878	2,7	8.812	2,6
Materia Orgánica	74.065	52,8	82.320	47,8	122.903	40,8	51.140	47,2	176.991	51,8
Otros Residuos	22.701	16,2	29.526	17,1	98.094	32,6	23.634	21,8	57.241	16,8
Total RSDyA	140.155	100	172.368	100	301.299	100	108.440	100	341.700	100
Humedad	< 30 %									

Fuente: Elaborado a partir del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.

Tabla 1-5. Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Centro.

Componentes	Valparaíso		Metropolitana de Santiago		Libertador General Bernardo O'Higgins		Maule	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	66.754	7,8	379.650	12,1	50.612	14,4	69.068	18,7
Plásticos	79.574	9,3	329.011	10,5	48.530	13,8	49.250	13,3
Metales	10.400	1,2	30.834	1,0	9.885	2,8	4.551	1,2
Vidrio	16.849	2	117.823	3,8	12.061	3,4	10.027	2,7
Materia Orgánica	606.174	70,2	1.750.526	55,9	173.365	49,3	185.593	50,3
Otros Residuos	79.266	9,2	525.665	16,8	57.042	16,2	50.482	13,7
Total RSDyA	859.017	100	3.133.509	100	351.495	100	368.971	100
Humedad	50-60 %							

Fuente: Elaborado a partir del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.

Tabla 1-6. Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Sur (parte 1).

Componentes	Biobío		Ñuble		Araucanía		Los Ríos	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	58.071	10,3	11.339	7,6	19.927	5,9	16.827	9,7
Plásticos	52.927	9,4	14.822	9,9	26.898	8,0	22.703	13,1
Metales	1.919	0,3	0	0,0	4.967	1,5	2.889	1,7
Vidrio	13.285	2,4	4.657	3,1	4.576	1,4	4.427	2,6
Materia Orgánica	322.087	57,0	96.533	64,7	225.334	66,8	86.364	49,8
Otros Residuos	116.298	20,6	21.898	14,7	55.480	16,5	40.235	23,2
Total RSDyA	564.590	100	149.249	100	337.182	100	173.445	100
Humedad	> 60%							

Fuente: Elaborado a partir del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.

Tabla 1-7. Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Sur (parte 2).

Componentes	Los Lagos		Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo		Magallanes y la Antártica chilena	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	26.646	8	3.629	6,3	9.110	9,2
Plásticos	36.639	11	7.778	13,4	6.832	6,9
Metales	13.323	4	2.592	4,5	6.832	6,9
Vidrio	9.992	3	1.230	2,1	0	0
Materia Orgánica	183.195	55	26.965	46,6	15.942	16,1
Otros Residuos	63.285	19	9.663	16,7	60.494	61,0
Total RSDyA	333.081	100	57.857	100	99.210	100
Humedad	> 60%					

Fuente: Elaborado a partir del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.

D. Análisis Económico

Método empleado: se plantea un análisis basado en teoría económica, donde se estima ingresos y egresos de acuerdo con la secuencia de cálculo que se muestra en la Tabla 1-8.

Tabla 1-8. Método para Análisis Económico de Alternativas

METODO		
Número	Actividad	Observaciones
1	Definir Tamaños por Tecnología	Se consideran tamaños menores a la disponibilidad de RSDyA
2	Estimar el Punto de equilibrio	Se compone del CAPEX anualizado y el OPEX (Egresos), que se igualan a los ingresos, de la siguiente forma: $FLUJO\ DE\ CAJA\ (FC) = (INGRESOS - EGRESOS = 0) \Rightarrow$ Punto de Equilibrio (PEq)
3	Construir un Flujo de Caja Libre, determinando el VAN	Se usa un periodo de análisis de 20 años, tasa de interés dependiente del tipo de tecnología, con una depreciación normal a 20 años. Se estiman los ingresos, de venta de energía (Precio Nudo Electricidad) u otro subproducto de la tecnología (compost o material para ser reciclado). Ingreso por tratamiento: se mantiene el valor actual de disposición de RSDyA, que considera la disposición del residuo, para ser tratado por la tecnología. Ingreso adicional: se considera como un valor de cobro extra por el uso de las tecnologías, que es de vital importancia para las tecnologías de Digestión Anaerobia e Incineración.
4	Construir gráficas	Permite identificar visualmente los parámetros analizados de las tecnologías.

Fuente: Elaboración propia

Costos relacionados con disposición final: se presenta la actual distribución de los costos asociados a la disposición de los residuos en tres regiones determinadas, para visualizar la situación regional. Nótese que al analizar caso a caso la implementación de la tecnología en la región pertinente de la Macrozona, se presenta el costo disposición final de la comuna correspondiente a la región (ver Tabla 1-9).

Tabla 1-9. Indicadores económicos de gestión de RSDyA

Ítem	Indicadores	Tarapacá		Valparaíso		Los Lagos	
		ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Economía		MM\$/año	%	MM\$/año	%	MM\$/año	%
	Derechos de aseo	1.363	18,6	15.503	42,9	3.031	23,0
	Gastos Servicios de Aseo	7.325		36.117		13.162	
	Déficit	5.963	81,4	20.614	57,1	10.131	77,0
			\$/unidad		\$/unidad		\$/unidad
	Costo por habitante (\$/hab)	22.160		19.889		15.883	
	Costo Total (\$/kg)	42,5		42,0		39,5	
	Costo Disposición Final (\$/kg)	12,2		7,5		7,8	

Fuente: Elaborado a partir del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.

Punto de Equilibrio (PEq): corresponde a la situación donde se igualan Ingresos con Egresos de un Proyecto, tal como muestra en la Figura 1-2.

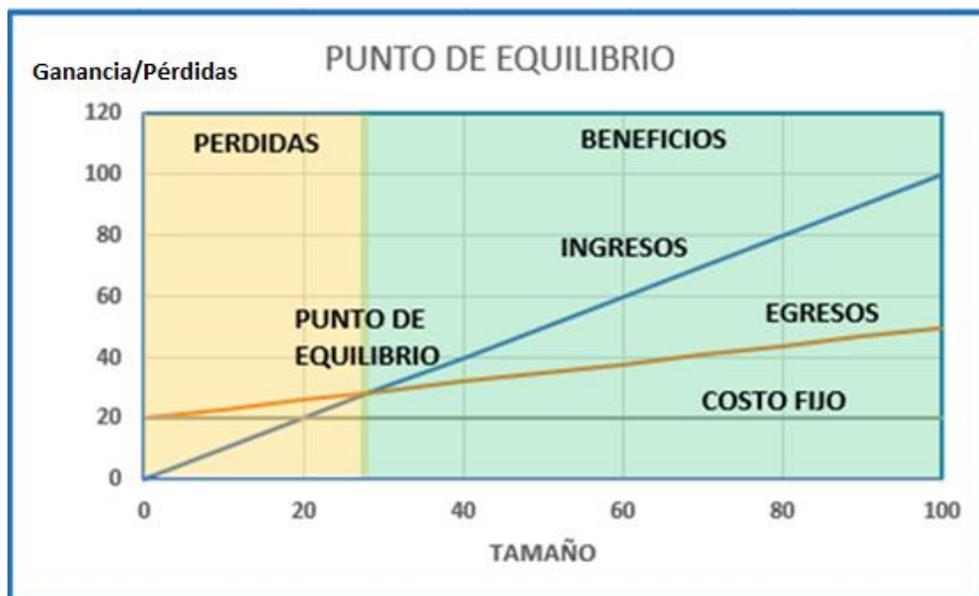


Figura 1-2. Relación entre Ingresos y Egresos de un Proyecto
Fuente: Elaboración propia

Estimación del PEq: utilizando las curvas de CAPEX y OPEX de las tecnologías se procede a estimar el costo anual del Proyecto; para ello se anualiza el CAPEX, usando la siguiente expresión, que relaciona su valor presente con sus respectivas anualidades:

$$A = VP / (((1 + i)^n - 1) / (i(1 + i)^n))$$

Donde:

A = anualidad CAPEX.
 VP = Valor Presente CAPEX
 i = tasa de descuento
 n = periodos

El valor de CAPEX anualizado se suma al OPEX, obteniendo el egreso anual de la tecnología, que se emplea para calcular el punto de equilibrio.

Punto de equilibrio: el punto de equilibrio es el punto en el cual los ingresos se igualan a los egresos. Se grafican los puntos obtenidos, para poder determinar los tamaños sobre los cuales la implementación de las tecnologías es factible.

Tasa de descuento: Para la evaluación de las tecnologías, se usará información presentada en el estudio de Plan de Negocio Planta de Tratamiento Mecánico Biológico de Residuos Sólidos Urbanos de la Universidad de Chile (Fuentealba, J. 2018) y valores estimados en el informe ASSET (2017), para el mercado de tecnologías de generación eléctrica de Chile, atendiendo a que son similares a las que se proponen en el estudio.

El método que se emplea para determinar la tasa de descuento con el modelo CAPM para las tecnologías de Pretratamiento y Compostaje es el siguiente (Fuentealba, J. 2018):

$$Re = rf + \beta e * (E(M) - Rf)$$

Donde:

rf = tasa libre de riesgo

βe = beta del patrimonio o beta apalancado

$E(M)$ = rendimiento de mercado

Rf = rentabilidad de cartera

Tabla 1-10. Estimación de Tasa de Descuento por CAPM para tecnologías de Pretratamiento y Compostaje.

Tecnología	Tasa Libre de Riesgo	Beta	E(M)	Rf	Tasa
Pretratamiento y compostaje	1,68%	0,8	38,50%	31,18 %	7,54 %
Antecedentes	BCU BTU a 20 años (año 2016)		IPSA (Periodo 2008 a 2016)		

Fuente: Fuentealba, J. 2018.

Mediante estos parámetros, se determina que la tasa de descuento aplicable a las tecnologías de Compostaje y Pretratamiento es de un 7,54%.

Por su parte, la información presentada por Asset (2017) se emplea para determinar la tasa de descuento que se aplica a las tecnologías de generación de energía.

El método que plantea la fórmula para determinar la tasa de descuento con el modelo CAPM, para las tecnologías de generación térmicas es la siguiente (Asset, 2017):

$$Re = rf + \beta e * MRP + CRP$$

Donde:

rf = tasa libre de riesgo

βe = beta del patrimonio o beta apalancado

MRP = premio por riesgo de mercado

CRP = premio por riesgo país

El informe de ASSET entrega la siguiente Tabla 1-11 para la tasa de descuento:

Tabla 1-11. Estimación de Tasa de Descuento por CAPM para tecnologías térmicas.

Tecnología	Tasa Libre de Riesgo	Beta	MRP	CRP	Tasa
Hidráulicas	2,8	0,5	6	1,74	7,54
Térmicas	2,8	0,63	6	1,74	8,32
ERNC	2,8	0,7	6	1,74	8,74
Cogeneración	2,8	0,7	6	1,74	8,74

Fuente: ASSET (2017).

Los proyectos que conforman el portafolio del estudio se pueden considerar similares a las tecnologías que provienen de procesos térmicos, ERNC y cogeneración, lo que permite definir que la tasa de descuento aplicable para todos ellos se obtiene como promedio alcanzando el valor de 8,60%.

Gate fee: internacionalmente se conoce por este término al pago que la municipalidad hace a las plantas de tratamiento de residuos, por cada tonelada de RSDyA de la que se hacen cargo. En el presente estudio se consideró que corresponde al costo de disposición final de residuos que hacen las Municipalidades, que, para efecto de las plantas de tratamiento, corresponde al Ingreso por tratamiento.

Ingreso por tratamiento: Es un parámetro que se propone como un valor con magnitud igual al costo de disposición para los primeros análisis de las tecnologías. Adicionalmente, se analiza por tecnología el cobro que debe realizarse por el tratamiento de los residuos que hace el VAN igual a 0.

Precio de la Energía: se ha optado por usar el precio de nudo del sistema eléctrico chileno propuesto para el 2019 por la CNE como escenario base, la situación de los proyectos energéticos considera un precio de venta de energía de 39,7 \$/kWh (60 USD/MWh). Para sensibilizar esta variable, se considera el precio de venta de energía a 40 USD/MWh y 90 USD/MWh.

TIR: se analiza la tasa interna de retorno, que corresponde a la tasa a la cual el VAN se hace 0. Cabe notar que en aquellos casos en los cuales se obtiene una TIR negativa, significa que el Flujo de caja libre llevado a valor presente, es menor a la inversión.

Flujo de caja libre: se calculan los Ingresos generados por la tecnología, y se le resta el OPEX, para obtener el margen bruto. Se calcula la depreciación de la inversión. Se resta la depreciación al margen bruto, obteniendo el EBIT. Se calculan los impuestos y se le restan al EBIT, para obtener la utilidad después del impuesto. Luego, se suma la depreciación, y se obtiene el FCL (ver Tabla 1-12).

Tabla 1-12. Desglose del cálculo del FCL

ITEM	SIMBOLO	FORMULA
INGRESOS	I	
COSTOS (OPEX)	C	
MARGEN BRUTO	MB	I-C
DEPRECIACION	D	
EBIT	EBIT	MB-D
IMPUESTOS	P	
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS	UDP	EBIT-P
DEPRECIACION	D	
INVERSION (CAPEX)	IN	
FLUJO DE CAJA LIBRE	FCL	UDP+D
VALOR ACTUAL NETO	VAN	Valor Presente del FCL - IN

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del VAN, sensibilidad y punto de equilibrio se realiza considerando un ingreso por tratamiento y/o ingresos adicionales que se obtuvieron para la región que representa la Macrozona. Como tal, la información de estos parámetros es de carácter informativo para esas condiciones establecidas y se puede emplear como primer parámetro de análisis de la implementación de la tecnología en la región analizada.

Para efectos de análisis de las regiones, además de analizar el cambio de VAN negativo a positivo bajo unas condiciones determinadas, se considera el análisis de la disponibilidad de residuos, el cobro por disposición de residuos y los Ingresos por tratamiento de la planta. Mediante el análisis del cobro por disposición, comparación con los ingresos por tratamiento de la tecnología y la capacidad de generación, se pueden analizar casos que puede permitir la implementación de la tecnología en casos particulares de cada región.

El cobro de disposición se obtiene del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere, costos de Contratos y Costos del Sistema de Recolección y Transporte, pues la gestión de los residuos corresponde al 70% de los costos totales.

Este análisis podrá permitir analizar el uso de la tecnología en casos puntuales. La diferencia entre el Ingreso por tratamiento y el cobro de disposición que pagan actualmente, en caso de ser un valor mayor a 0, podrá ser pagado por el estado en forma de un subsidio por el uso de la tecnología.

E. Criterios específicos por tecnología

Pretratamiento:

La tecnología de pretratamiento se emplea para preparar los residuos para poder ser reciclados. A continuación, se presentan los supuestos y criterios empleados para la evaluación económica de esta tecnología.

Para la evaluación económica de la tecnología de pretratamiento, se procedió a diseñar diferentes tamaños de plantas de tratamientos de material con potencial para ser reciclable. Para ello, se diseñó una planta tipo con capacidad de tratamiento de 5.000 ton/año de residuos y se procedió a escalar las inversiones necesarias para el tratamiento. Cabe notar que la estimación de la superficie de terreno también se escala de acuerdo al tamaño de planta, empleando un valor de la superficie de terreno de 1,5 UF/m², la cual corresponde a una superficie en un sector urbano.

Para la determinación de los porcentajes de la inversión total a los cuales corresponden la instalación de equipos, equipos eléctricos y su instalación, cañerías y su instalación, y contingencias, se usó información bibliográfica disponible en Peters, M y Timmerhaus, K (2003).

Por su parte, la determinación de mano de obra se analizó dependiendo de la capacidad de los trabajadores, incrementando su necesidad a medida que incrementa la capacidad de tratamiento de la planta.

Para efectos de la depreciación de las inversiones de la tecnología: Se analizaron las opciones disponibles y se determina que, al tratarse de evaluaciones conceptuales, no cabe segregar partidas, es decir, se plantea una vida útil única para la depreciación como paquete tecnológico cerrado, considerando en su cálculo la eliminación de todo bien que no sea depreciable. Al corresponder a un paquete tecnológico, el pretratamiento posee bienes depreciables a 6, 10, 15, 20, 30 y más años. Como promedio ponderado de acuerdo a la inversión, se identificó una vida útil de 20 años.

Posteriormente, se determina los bienes no depreciables. Analizando la tabla de vida útil de bienes depreciables del Sistema de Impuestos Internos, se determina que los bienes no depreciables para los casos presentados en esta tecnología corresponden a: terreno, infraestructura, instalación de equipos, instalación eléctrica e instalación de cañería, y los gastos por contingencias.

La evaluación económica de la tecnología de pretratamiento considera: CAPEX y OPEX de la tecnología de pretratamiento, y el análisis de la tecnología por macrozonas.

El análisis de la tecnología por Macrozonas considera el VAN de la tecnología, la TIR, punto de equilibrio, ingresos por tratamiento que permiten hacer el VAN igual a 0 y la sensibilidad de la tecnología ante diferentes tasas de recuperación de material, acorde a la eficiencia de la segregación en origen (50, 70 y 90%). Para las diferentes tasas de recuperación, se calcularon los diferentes ingresos por material que puede ser recuperado y los costos por la disposición de material que no puede ser pretratado.

Cabe destacar que el análisis del ingreso por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0 se emplea para determinar si es necesario aplicar algún subsidio por uso de la tecnología, de acuerdo al cobro de disposición de residuos en las diferentes regiones y la disponibilidad de residuos.

Compostaje:

La tecnología de compostaje se emplea para tratar la fracción orgánica de los residuos y producir compost. A continuación, se presentan los supuestos y criterios empleados para la evaluación económica de esta tecnología, considerando la operación de una planta de compostaje lento.

Para la evaluación económica de la tecnología de compostaje, se realizó el diseño de plantas de tratamiento de distintos tamaños. Para ello, se diseñó una planta tipo con capacidad de tratamiento de 5.000 ton/año de residuos y se procedió a escalar las inversiones necesarias para el tratamiento.

El compostaje lento requiere de una superficie disponible para que durante 3 meses la materia orgánica sea digerida y un mes adicional para la maduración del compost. Se diseñaron pilas de 7 metros de largo y de un radio de 1,5 m. El espaciamiento entre pilas considera una distancia de 4 m. Para determinar el volumen de materia orgánica a tratar, se empleó una densidad de 0,2 ton/m³ y se definió que las pilas están compuestas de un 25% chips (Roman, P. et al, 2013). Luego de determinar el área de la cancha de trabajo para digestión del compost y el área de trabajo de la cancha de maduración, se determina el área de la recepción de la materia orgánica, obedeciendo un escalamiento de acuerdo a la disponibilidad de materia orgánica a tratar.

Cabe notar que se empleó un valor de la superficie de terreno de 0,2 UF/m², la cual corresponde a una superficie en un sector rural.

El escalamiento de los equipos consideró el empleo del índice de escalamiento de costos, que permite escalar un costo de acuerdo al tamaño del equipamiento.

Para la determinación de los porcentajes de la inversión total a los cuales corresponden la instalación de equipos eléctricos, cañerías y su instalación, y contingencias, se usó información bibliográfica disponible en Peters, M y Timmerhaus, K (2003).

Por su parte, la determinación de mano de obra se analizó dependiendo de la capacidad de los trabajadores, incrementando su necesidad a medida que incrementa la capacidad de tratamiento de la planta.

Para efectos de la depreciación de las inversiones de la tecnología: se analizaron las opciones disponibles y se determina que, al tratarse de evaluaciones conceptuales, no cabe segregar partidas, es decir, se plantea una vida útil única para la depreciación como paquete tecnológico cerrado, considerando en su cálculo la eliminación de todo bien que no sea depreciable. Al corresponder a un paquete tecnológico, el tratamiento por compostaje posee bienes depreciables a 6, 10, 15, 20, 30 y más años. Como promedio ponderado de acuerdo a la inversión, se identificó una vida útil de 20 años.

Posteriormente, se determina los bienes no depreciables. Analizando la tabla de vida útil de bienes depreciables del Sistema de Impuestos Internos, se determina que los bienes no depreciables para los casos presentados en esta tecnología corresponden a: terreno, infraestructura, instalación eléctrica, instalación de cañería, y los gastos por contingencias.

La evaluación económica de la tecnología de compostaje considera: CAPEX y OPEX de la tecnología de compostaje, y el análisis de la tecnología por macrozonas.

El análisis de la tecnología por Macrozonas considera el VAN de la tecnología, la TIR, punto de equilibrio, ingresos por tratamiento que permiten hacer el VAN igual a 0 y la sensibilidad de la tecnología ante diferentes precios de venta del compost (5 a 10 USD/m³), de acuerdo a información reportada por Diaz, et al. 2007.

Cabe destacar que el análisis del ingreso por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0 se emplea para determinar si es necesario aplicar algún subsidio por uso de la tecnología, de acuerdo al cobro de disposición de residuos en las diferentes regiones y la disponibilidad de residuos.

Digestión Anaeróbica:

La tecnología de digestión anaeróbica se emplea para tratar la fracción orgánica de los residuos, y producir energía, además de un digestato semi estabilizado que puede comercializarse como compost. Para efectos de este análisis, se considera que el principal ingreso corresponde a la venta de energía. A continuación, se presentan los supuestos y criterios empleados para la evaluación económica de esta tecnología.

Para la evaluación económica de la tecnología de digestión anaeróbica, se procedió a analizar diferentes tamaños de plantas disponibles en bibliografía y los costos de operación asociados (Arcadis, 2009 y NBC, 2016). A partir de ello, se diseñaron gráficas desde las cuales se puede extraer la información del CAPEX y el OPEX de la tecnología a diferentes tamaños.

Para la depreciación de la inversión, se analizaron las opciones disponibles y se determina que, al tratarse de evaluaciones conceptuales, no cabe segregar partidas, es decir, se plantea una vida útil única para la depreciación como paquete tecnológico cerrado, considerando en su cálculo la eliminación de todo bien que no sea depreciable. Al corresponder a un paquete tecnológico, la tecnología de digestión anaeróbica posee bienes depreciables a 6, 10, 15, 20, 30 y más años. Como promedio ponderado de acuerdo con la inversión, se identificó una vida útil de 20 años. Para efectos de la depreciación de las inversiones de la tecnología, al obtener los datos de inversión de bibliografía, solo se consideró la eliminación de la inversión de terreno y la inversión por mejoramiento de terreno. De acuerdo a Peters y Timmerhaus, (2003), y Stantec (2011), se determinó que un 2,1% de la inversión corresponde a terreno y un 5% de la inversión corresponde a mejoramiento de terreno.

La evaluación económica de la tecnología de digestión anaeróbica considera: CAPEX y OPEX de la tecnología de digestión anaerobia, y el análisis de la tecnología por macrozonas.

El análisis de la tecnología por Macrozonas considera el VAN de la tecnología, la TIR, punto de equilibrio, ingresos por tratamiento que permiten hacer el VAN igual a 0 y la sensibilidad de la tecnología ante diferentes precios de venta de energía (40, 60 y 90 USD/MWh).

Cabe destacar que el análisis del ingreso por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0 se emplea para determinar si es necesario aplicar algún subsidio por uso de la tecnología, de acuerdo al cobro de disposición de residuos en las diferentes regiones y la disponibilidad de residuos.

Incineración:

En este estudio la tecnología de incineración se considera aplicable a los residuos que pueden ser objeto de combustión, es decir, la suma de orgánicos, papel y cartón, plásticos.

Para la evaluación económica de la tecnología de incineración, se procedió a analizar diferentes tamaños de plantas en el rango de la disponibilidad de residuos de cada región (WSP, 2013; SLR, 2008; Stantec, 2011; Ministerio de Energía y Gobierno Regional Metropolitano, 2018). A partir de ello, se diseñaron gráficas desde

las cuales se puede extraer la información del CAPEX y el OPEX de la tecnología a diferentes tamaños. Se analizó el comportamiento de los datos disponibles en las gráficas y se determinó ecuaciones para el CAPEX y OPEX de las tecnologías.

Para la depreciación de la inversión, se analizaron las opciones disponibles y se determina que, al tratarse de evaluaciones conceptuales, no cabe segregar partidas, es decir, se plantea una vida útil única para la depreciación como paquete tecnológico cerrado, considerando en su cálculo la eliminación de todo bien que no sea depreciable. Al corresponder a un paquete tecnológico, la tecnología de incineración posee bienes depreciables a 6, 10, 15, 20, 30 y más años. Como promedio ponderado de acuerdo a la inversión, se identificó una vida útil de 20 años. Para efectos de la depreciación de las inversiones de la tecnología, al obtener los datos de inversión de bibliografía, solo se consideró la eliminación de la inversión de terreno y la inversión por mejoramiento de terreno. De acuerdo con Peters y Timmerhaus, (2003), y Stantec (2011), se determinó que un 2,1% de la inversión corresponde a terreno y un 5% de la inversión corresponde a mejoramiento de terreno.

El análisis de la tecnología por Macrozonas considera el VAN de la tecnología, la TIR, la sensibilidad de la tecnología ante diferentes precios de venta de energía (40, 60 y 90 USD/MWh), y los ingresos por tratamiento que permiten hacer el VAN igual a 0.

Cabe destacar que el análisis del ingreso por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0 se emplea para determinar si es necesario aplicar algún subsidio por uso de la tecnología, de acuerdo con el cobro de disposición de residuos en las diferentes regiones y la disponibilidad de residuos.

F. Fuentes de Financiamiento

Se realizará un análisis bibliográfico de las principales fuentes financieras nacionales e internacionales, considerando financiamiento público y privado.

G. Instrumentos de apoyo

El análisis de los instrumentos de apoyo considera una revisión bibliográfica de las medidas actualmente implementadas a nivel internacional, mencionando las principales características que han permitido que las tecnologías de tratamiento de residuos puedan ser implementadas.

Posteriormente, se procede a presentar las recomendaciones del equipo de profesionales expertos, que pueden ser implementadas para poder fomentar la factibilidad de la inserción de estas tecnologías de tratamiento de residuos.

H. Jornada de Discusión

Para complementar la información presentada durante el primer segmento de la etapa 3, se desarrolló una jornada de discusión con diferentes entidades gubernamentales, para poder presentar los alcances del proyecto, validar la información presentada y obtener una retroalimentación que pueda ser empleada para mejorar las alternativas presentadas.

La jornada de discusión se dividió en 6 secciones principales, correspondientes a:

- Antecedentes de generación y disposición de residuos.
- Presentación de las alternativas tecnológicas de tratamiento de residuos.
- Macrozonas de estudio y los aspectos territoriales.
- Análisis de las tecnologías de tratamiento de residuos y casos estudio.
- Presentación de diferentes fuentes de financiamiento nacional e internacional.
- Recomendaciones de Políticas e instrumentos del Estado.

I. Jornada de Seminario Taller

Para complementar la información presentada durante el primer segmento de la etapa 3 y la retroalimentación obtenida en la jornada de discusión, se realizó un seminario taller en el cual se presentan los resultados del proyecto ante diferentes entidades públicas y privadas.

La jornada se divide en la presentación de resultados del proyecto y un taller coffee de networking.

La presentación de resultados del proyecto de la jornada del seminario taller abarca las siguientes temáticas:

- Presentación del Proyecto.
- Objetivos.
- Metodología.
- Establecimiento de las Macrozonas y sus características.
- Características de las tecnologías evaluadas.
- Análisis FODA.
- Criterios económicos.
- Curvas de evaluación económica de las tecnologías.
- Presentación de principales conclusiones y recomendaciones.

Posterior a la presentación de resultados, se procede a la actividad de taller coffee de networking. En la actividad, se agrupan equipos de profesionales de acuerdo con colores que le son asignados durante la acreditación. Los equipos tendrán acceso a las recomendaciones y conclusiones del proyecto, a las cuales les podrán hacer observaciones y/o recomendaciones. Luego de un periodo de 30 minutos de trabajo en equipo, un representante por color asignado presenta el punto de vista del equipo.

DESARROLLO ETAPA 1

2 SELECCIÓN DE GOBIERNOS REGIONALES REPRESENTATIVOS POR MACROZONAS

El trabajo en este proyecto consideró la selección de Gobiernos Regionales en los cuales se va a levantar información en terreno, considerando una representación dividida por Macrozonas de Chile. Las Macrozonas corresponden a la Macrozona Norte que está compuesta por las regiones de: Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo; la Macrozona Centro que está compuesta por las regiones de: Valparaíso, Metropolitana de Santiago, Libertador General Bernardo O'Higgins y Maule; y la Macrozona Sur que está compuesta por las regiones de: Biobío, Ñuble, Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y Magallanes y la Antártica chilena.

El equipo de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, en conjunto con la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, definieron las siguientes regiones como representantes de las Macrozonas:

- a. Región de Tarapacá: representa a la Macrozona de la Zona Norte.
- b. Región de Valparaíso: representa a la Macrozona de la Zona Central.
- c. Región de Los Lagos: representa a la Macrozona de la Zona Sur

2.1 Región de Arica y Parinacota

La Región de Arica y Parinacota está compuesta de dos provincias, correspondientes a la Provincia de Arica y la Provincia de Parinacota. La cobertura de disposición a Rellenos Sanitarios en la región es de un 0,2%, siendo dispuestos los residuos principalmente en vertederos. De acuerdo a la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario Camarones: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna de Camarones. El año 2017 recibió 248 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Quebrada: abarca la totalidad de los residuos provenientes de la Comuna de Arica y Comuna de Putre. El año 2017 recibió 139.807 ton/año de RSDyA.
- Vertedero General Lagos: abarca la totalidad de los residuos provenientes de la Comuna de General Lagos. El año 2017 recibió 100 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región, y se identificó que la principal comuna generadora de residuos corresponde a la Comuna de Arica. De acuerdo al *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 31% de los residuos que se generan en la comuna poseen el potencial de poder ser reciclados.

En la Figura 2-1 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Arica y Parinacota.

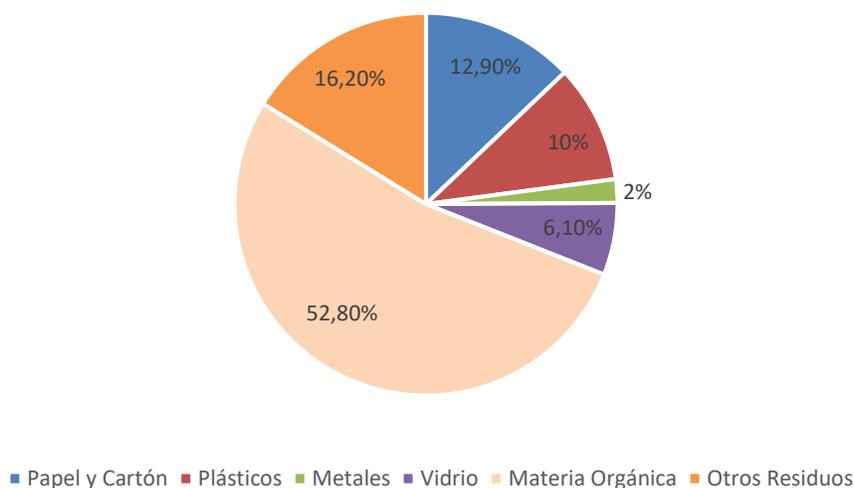


Figura 2-1. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Arica y Parinacota.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 140.155 toneladas de residuos el año 2017.

2.2 Región de Tarapacá

La Región de Tarapacá fue seleccionada como región representante de la Macrozona Norte. Posee dos provincias, correspondientes a Iquique y Tamarugal. Los residuos generados en la Región de Tarapacá tienen una cobertura total, y son dispuestos en:

- Relleno Sanitario Camiña: abarca a parte de la Provincia de Tamarugal (11%). El año 2017 recibió 965 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Manuel de Pica: abarca parte de la Provincia de Tamarugal (22%). El año 2017 recibió 1.874 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Municipal El Boro: abarca a la Provincia de Iquique (100%). El año 2017 recibió 165.937 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Municipal Pozo Almonte: abarca la generación de residuos de las comunas de Pozo Almonte (100%) y Colchane (100%). El año 2017 recibió 2.581 ton/año de RSDyA.
- Basural de Huara: abarca parte de la Provincia de Tamarugal (12%). El año 2017 recibió 1.011 ton/año de RSDyA.

Las dos provincias de la Región de Tarapacá son cubiertas por diferentes sitios de disposición. Actualmente, más de un 98% de los RSDyA son dispuestos en un vertedero. Situación preocupante por la posibilidad de cierre.

Actualmente, el Gobierno Regional se encuentra trabajando con la Comuna de Alto Hospicio, para el desarrollo del Proyecto *Centro de Tratamiento Integral de Alto Hospicio*, el cual corresponde a un proyecto mancomunado, que abarcará a las Provincias de Iquique y de Alto Hospicio. El Centro de Tratamiento considera tecnologías de tratamiento de residuos, tales como la tecnología de Compostaje y un centro de recuperación de materiales, para su reciclaje.

Se analizó la generación de residuos en la región, y se identificó que las principales comunas generadoras de residuos corresponden a Iquique (122.400 ton/año) y la Comuna de Alto Hospicio (54.537 ton/año). De acuerdo al *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, la Comuna de Iquique posee un potencial de valorización de residuos reciclables de un 31,3% y la Comuna de Alto Hospicio posee un potencial de valorización de residuos reciclables de un 46,6%.

Analizando los datos y el potencial reportado para la Región, hay 61.202 ton/año que pueden ser valorizados, correspondiente a un 35% del total de residuos generados. La Región aún debe mejorar su sistema de gestión, pues sobre el 95% de sus RSDyA van destinados a vertederos. Por ello, el proyecto *Centro de Tratamiento Integral de Alto Hospicio* mejorará la gestión de los residuos en la Región.

En la Figura 2-2 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Tarapacá.

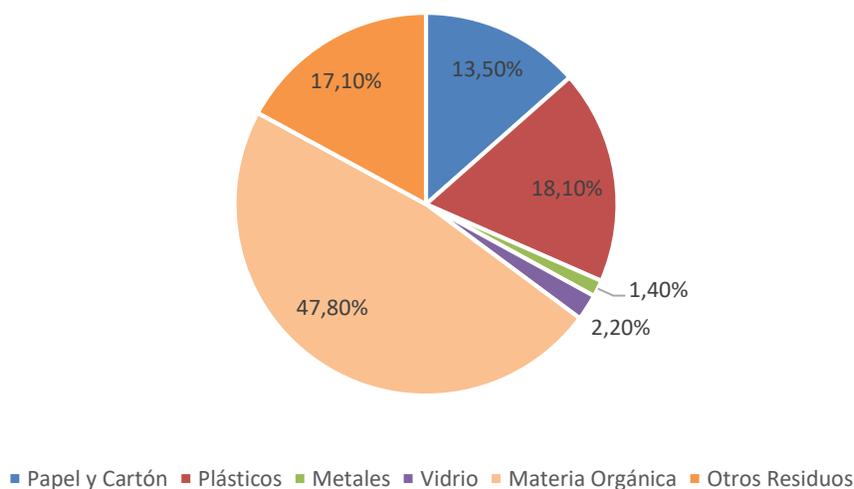


Figura 2-2. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Tarapacá.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 172.368 toneladas de residuos el año 2017.

Como actor representante de la Región, se considera al Gobierno Regional, e instituciones que se encarguen de la valorización de RSDyA.

2.3 Región de Antofagasta

La Región de Antofagasta está compuesta de tres provincias, correspondientes a la Provincia de Antofagasta, Provincia El Loa y Provincia de Tocopilla. La cobertura de disposición de residuos a Vertederos es de un 76,4%. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario Cerro Colorado: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna de Calama. El año 2017 recibió 57.740 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Manual de Ollagüe: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna de Ollagüe. El año 2017 recibió 60 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Quebrada Ancha: abarca la totalidad de residuos de las Comunas de Tocopilla y María Elena. El año 2017 recibió 13.194 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de La Chimba: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna de Antofagasta. El año 2017 recibió 176.528 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Municipal de Mejillones: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna de Mejillones. El año 2017 recibió 8.503 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Municipal de Sierra Gorda: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna de Sierra Gorda. El año 2017 recibió 3.010 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Taltal: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna de Taltal. El año 2017 recibió 7.540 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Municipal de SPA: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna de San Pedro de Atacama. El año 2017 recibió 34.724 ton/año de RSDyA.

En la Figura 2-3 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Antofagasta.

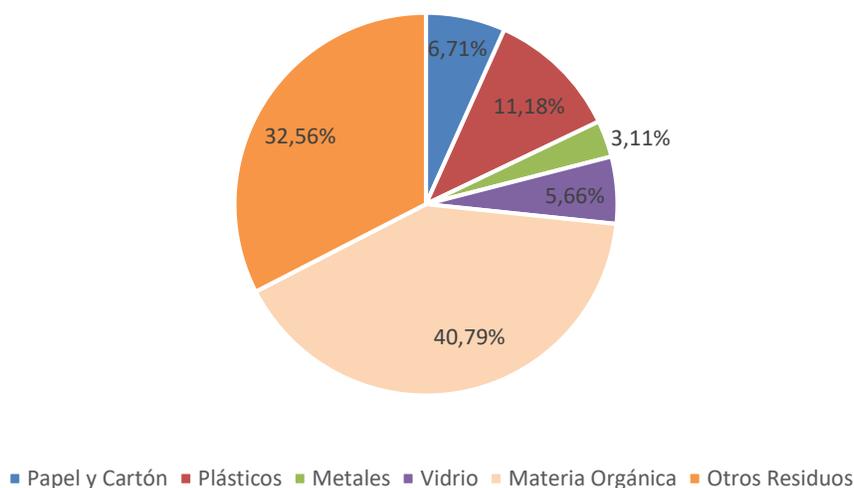


Figura 2-3. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Antofagasta.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 301.299 toneladas de residuos el año 2017.

Dentro del listado de proyectos futuros identificados por el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, la Región tiene los siguientes proyectos: Centro Integral de Residuos Chaqueta Blanca, Relleno Sanitario de Mejillones, Relleno Sanitario Spa y Relleno Sanitario Sierra Gorda.

2.4 Región de Atacama

La Región de Atacama está compuesta de tres provincias, correspondientes a la Provincia de Chañaral, Provincia de Copiapó y Provincia de Huasco. La cobertura de disposición de residuos a Rellenos Sanitarios es de un 90%. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario El Chulo: abarca la totalidad de residuos provenientes de las Comunas de Copiapó y Tierra Amarilla. El año 2017 recibió 62.326 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Cerro Montevideo: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna Caldera. El año 2017 recibió 11.976 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Provincial del Huasco: abarca la totalidad de residuos provenientes de las Comunas de Vallenar, Alto del Carmen, Freirina y Huasco. El año 2017 recibió 23.378 ton/año de RSDyA.
- Basural Municipal de Chañaral: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna Chañaral. El año 2017 recibió 4.320 ton/año de RSDyA.
-

- Vertedero Municipal de Diego de Almagro: abarca la totalidad de residuos provenientes de la Comuna de Diego de Almagro. El año 2017 recibió 6.440 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región y se identificó que la principal comuna generadora de residuos corresponde a la Comuna de Copiapó. De acuerdo con el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 35,7% de los residuos que se generan en la comuna, poseen el potencial de poder ser reciclados.

En la Figura 2-4 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Atacama.

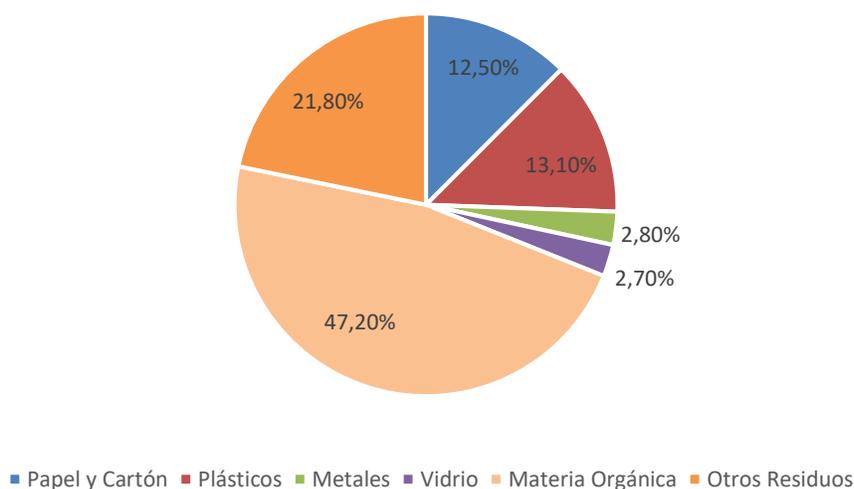


Figura 2-4. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Atacama.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 108.440 toneladas de residuos el año 2017.

Dentro del listado de proyectos futuros identificados por el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, la Región posee el proyecto: Relleno Sanitario Diego de Almagro.

2.5 Región de Coquimbo

La Región de Coquimbo está compuesta de tres provincias, correspondientes a la Provincia de Elqui, Provincia de Limarí y Provincia de Choapa. La cobertura de disposición de residuos a Relleno Sanitario es de un 55,6%. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario el Panul: abarca la totalidad de residuos provenientes de las Comunas de La Serena, Coquimbo, Andacollo y La Higuera. El año 2017 recibió 190.045 ton/año de RSDyA.

- Vertedero Quebrada El Mollaco: abarca la totalidad de residuos de las Comunas de Paihuano y Vicuña. El año 2017 recibió 23.767 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Lo Gallardo: abarca la totalidad de residuos de la Comuna de Illapel. El año 2017 recibió 16.750 ton/año de RSDyA.
- Vertedero El Gallo: abarca la totalidad de residuos de la Comuna Canela. El año 2017 recibió 3.805 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Municipal de Los Vilos: abarca la totalidad de residuos de la Comuna de Los Vilos. El año 2017 recibió 22.448 ton/año de RSDyA.
- Vertedero El Queñe: abarca la totalidad de residuos de la Comuna de Salamanca. El año 2017 recibió 6.925 ton/año de RSDyA.
- Vertedero El Incienso: abarca la totalidad de residuos de las Comunas de Ovalle, Punitaqui y Río Hurtado. El año 2017 recibió 56.911 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Sector Casas Blancas: abarca la totalidad de residuos de la Comuna de Combarbalá. El año 2017 recibió 10.000 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Cerro Manchado: abarca la totalidad de residuos de la Comuna Monte Patria. El año 2017 recibió 11.049 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región y se identificó que las principales comunas generadoras de residuos corresponden a la Comuna de Coquimbo y la Serena. De acuerdo con el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 34% de los residuos que se generan en la Comuna de Coquimbo poseen el potencial de ser reciclados y en la Comuna de La Serena, un 25,2% de los residuos poseen potencial de ser reciclados.

En la Figura 2-5 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Coquimbo.

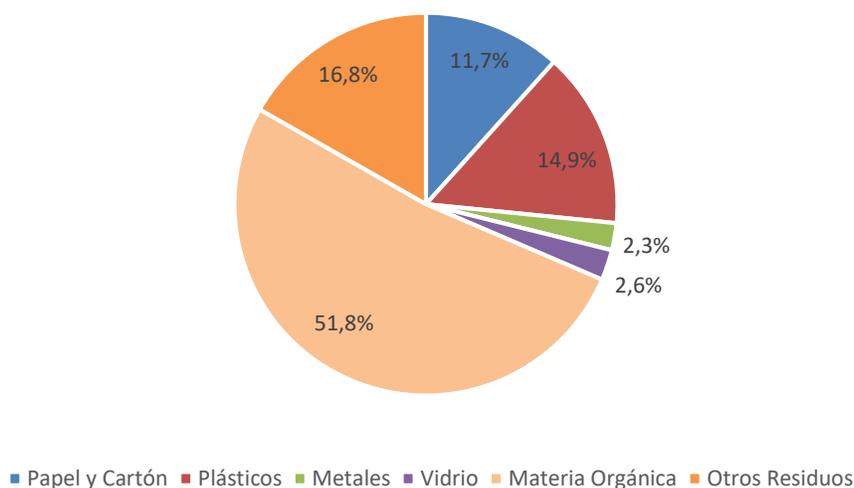


Figura 2-5. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Coquimbo.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 341.700 toneladas de residuos el año 2017.

2.6 Región de Valparaíso

La Región de Valparaíso fue escogida como Región representante de la Macrozona Central. Posee 3 Rellenos Sanitarios tradicionales (operan con maquinaria), 5 Vertederos, 2 Basurales, una estación de transferencia y una planta de trasvase.

Está compuesta de 8 provincias, correspondientes a la Provincia de Isla de Pascua, Provincia Los Andes, Provincia Petorca, Provincia Quillota, Provincia San Antonio, Provincia San Felipe de Aconcagua, Provincia Valparaíso y Provincia Marga Marga. La cobertura de residuos a Relleno Sanitario es de un 91%. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario el Molle: abarca las Comunas de las Provincias de Valparaíso (86%), San Antonio (100%) y Marga Marga (45,5%). El 2017 recibió 494.153 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario San Pedro: abarca las Comunas de las Provincias de Petorca (9,1%), Quillota (89,1%), y Marga Marga (50,37%). El año 2017 recibió 172.905 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario CTI La Hormiga: abarca las Comunas de las Provincias de Los Andes (90,3%) y San Felipe de Aconcagua (73,47%). El año 2017 recibió 25.444 ton/año de RSDyA.

- Vertedero Puchuncaví: abarca a la Comuna de Puchuncaví, de la Provincia de Valparaíso (5,3%), y recibió el año 2017, 19.275 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Quintero: abarca a la Comuna de Quintero, de la Provincia de Valparaíso (7,8%), y recibió el año 2017, 28.409 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Cabildo: abarca a la Comuna de Cabildo, de la Provincia de Petorca (28%) y recibió el año 2017, 9.416 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Chicolco: abarca a la Comuna de Petorca, de la Provincia de Petorca (8,5%), y recibió el año 2017, 2.876 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Tabolango: abarca a la Comuna de Santa María, de la Provincia de San Felipe de Aconcagua (14,7%), y recibió el año 2017, 7.462 ton/año.
- Vertedero Vai A Ori: es un basural que abarca la Provincia de Isla de Pascua (100%), y el año 2017 recibió 2.988 ton/año de RSDyA.
- Botadero de Juan Fernández: es un basural que abarca la Provincia de Valparaíso (0,08%), y el año 2017 recibió 312 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región y se identificó que las principales comunas generadoras de residuos corresponden a la Comuna de Viña del Mar y la Comuna de Valparaíso. De acuerdo al *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 19,8% de los residuos que generan en la Comuna de Viña del Mar poseen el potencial de ser reciclados y en la Comuna de Valparaíso, un 18,4% de los residuos poseen un potencial de ser reciclado.

En la Figura 2-6 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Valparaíso.

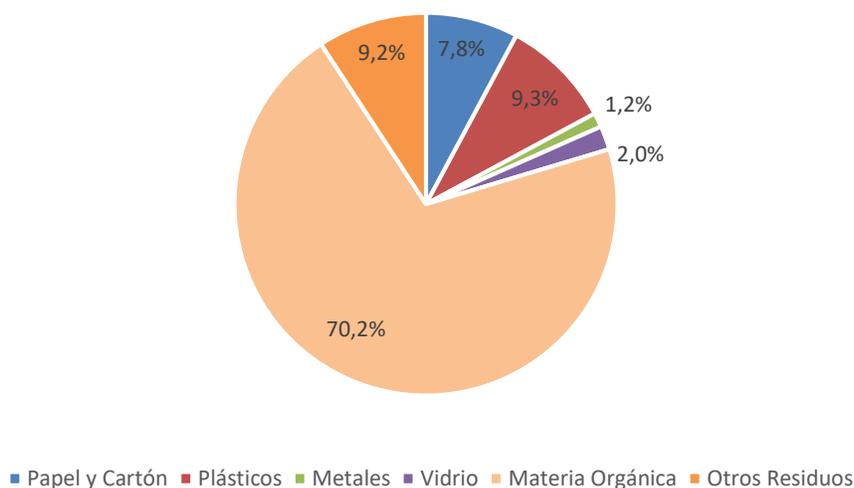


Figura 2-6. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Valparaíso.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 859.017 toneladas de residuos el año 2017.

Analizando los datos y el potencial reportado para la región, hay 175.700 ton/año que pueden ser valorizados, y que corresponde a un 20,5% de los RSDyA que se generan en la región. Como actor representante de la región, se considerará al GORE, e instituciones que se encarguen de la valorización de RSDyA.

2.7 Región Metropolitana de Santiago

La Región Metropolitana de Santiago está compuesta de seis provincias, correspondientes a la Provincia de Chacabuco, Provincia de Cordillera, Provincia del Maipo, Provincia de Melipilla, Provincia de Santiago y Provincia de Talagante. La cobertura de disposición de residuos a Relleno Sanitario es de 97,8%. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario Santiago Poniente: abarca la totalidad de los residuos provenientes de las Comunas de Cerrillos, Maipú, Peñalolén, El Monte, Isal Maipo, Padre Hurtado y Peñaflo. El año 2017 recibió 386.670 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Loma los Colorados: abarca la totalidad de los residuos provenientes de las Comunas de Santiago, Cerro Navia, Conchalí, Huechuraba, Independencia, La Cisterna, La Reina, Las Condes, Lo Barnechea, Lo Prado, Ñuñoa, Providencia, Pudahuel, Quilicura, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Miguel, Vitacura, Puente Alto, Colina, Lampa, Tiltil, Curacaví y María Pinto. El año 2017 recibió 1.666.945 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Santa Marta: abarca la totalidad de residuos de las Comunas de el Bosque, Estación Central, la Florida, La Granja, la Pintana, lo Espejo, Macul, Pedro Aguirre Cerda, San Joaquín, San

Ramón, Pirque, San Jose de Maipo, San Bernardo, Buin, Calera de Tango, Paine y Talagante. El año 2017 recibió 1.013.512 ton/año de RSDyA.

- Vertedero Municipal de Popeta: abarca la totalidad de residuos de las Comunas de Melipilla, Alhué y San Pedro. El año 2017 recibió 66.382 ton/año de RSDyA.

En la Figura 2-7 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región Metropolitana de Santiago.

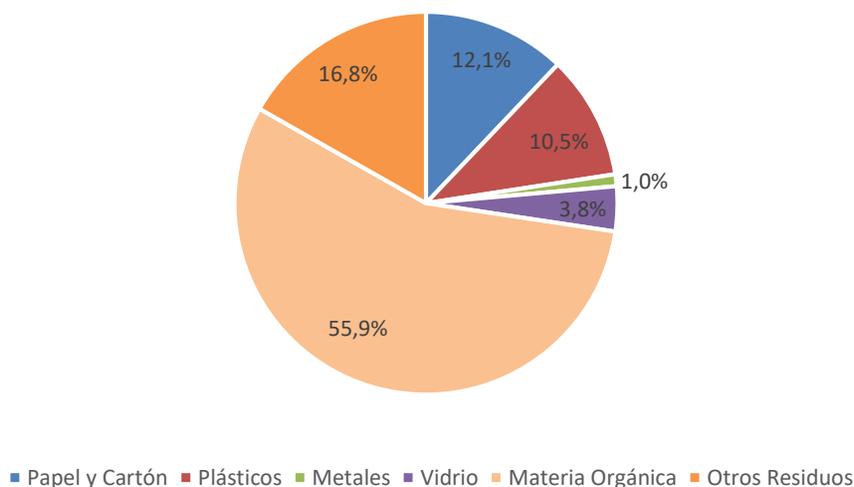


Figura 2-7. Composición porcentual de RSDyA de la Región Metropolitana de Santiago.
Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 3.133.509 toneladas de residuos el año 2017.

2.8 Región Libertador General Bernardo O'Higgins

La Región del Libertador General Bernardo O'Higgins está compuesta de tres provincias, correspondientes a la Provincia de Cachapoal, Provincia de Cardenal Caro y Provincia de Colchagua. La cobertura de recolección de residuos para la disposición en la región es de un 79,2 %, de los cuales, el 100% es dispuesto en Rellenos Sanitarios. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario Colihues La Yesca: abarca las Comunas de Rancagua, Codegua, Coinco, Coltauco, Doñihue, Graneros, Las Cabras, Machalí, Malloa, Mostazal, Olivar, Peumo, Quinta Tilcoco, Rengo, Requinoa, San Vicente y Chimbarongo. El año 2017 recibió 241.045 ton/año de RSDyA.

- Relleno Sanitario Las Quilas: abarca las Comunas de Pichilemu, la Estrella, Marchigue y Navidad. El año 2017 recibió 37.618 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región y se identificó que la principal comuna generadora de residuos corresponde a la Comuna de Rancagua. De acuerdo con el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 37,15% de los residuos que genera la comuna, poseen el potencial de ser reciclados.

En la Figura 2-8 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

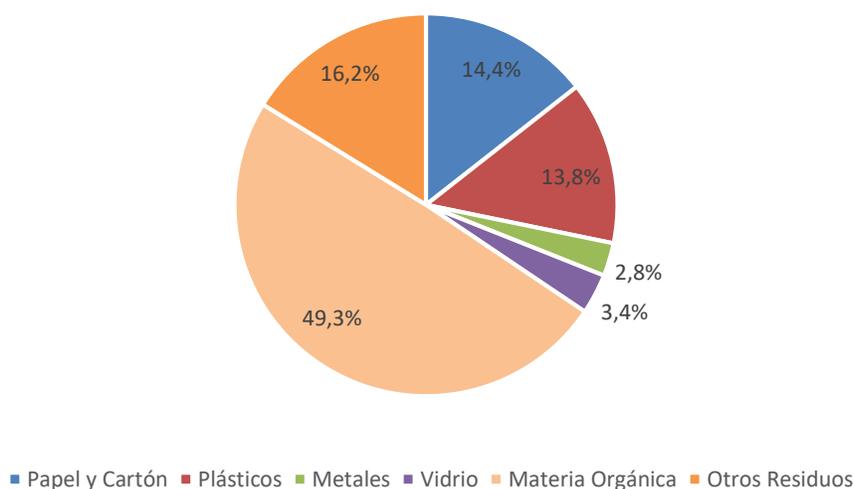


Figura 2-8. Composición porcentual de RSDyA de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.
Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 351.495 toneladas de residuos el año 2017.

2.9 Región del Maule

La Región del Maule está compuesta de cuatro provincias, correspondientes a la Provincia de Cauquenes, Provincia de Curicó, Provincia de Linares y Provincia de Talca. La cobertura de recolección de residuos para disposición en la región es de un 96,5%, de los cuales, un 93,9% es dispuesto en Rellenos Sanitarios. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario El Retamo: abarca las Comunas de Talca, Curepto, Empedrado, Maule, Pelarco, Pelluhue, Linares, Longaví, Parral, Retiro, San Javier y Villa Alegre. El año 2017 recibió 201.885 ton/año de RSDyA.

- Centro de Tratamiento Eco Maule: abarca las Comunas de Río Claro, Chancho, Curicó y Vichuquén. El año 2017 recibió 66.613 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Parque el Guanaco: abarca las Comunas de Hualañé, Licantén, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia y Teno. El año 2017 recibió 38.065 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Constitución: abarca la Comuna de Constitución y el año 2017 recibió 21.706 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región y se identificó que el principal generador de residuos corresponde a la Comuna de Talca. De acuerdo con el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 38,97% de los residuos que se generan en la Comuna de Talca poseen el potencial de ser reciclados.

En la Figura 2-9 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región del Maule.

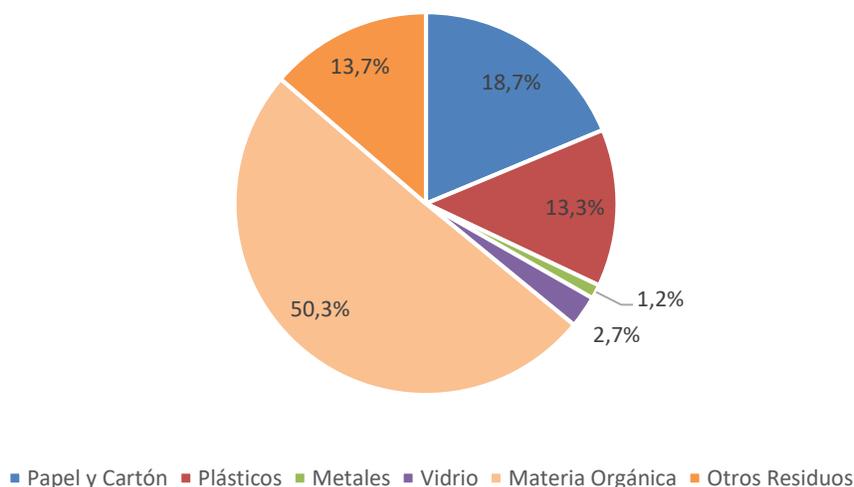


Figura 2-9. Composición porcentual de RSDyA de la Región del Maule.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 368.971 toneladas de residuos el año 2017.

Dentro del listado de proyectos futuros identificados por el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, la Región posee el proyecto: Planta Transferencia de Constitución.

2.10 Región del Biobío

La Región del Biobío está compuesta de tres provincias, correspondientes a la Provincia de Arauco, Provincia del Biobío y Provincia de Concepción. La cobertura de recolección de residuos que son dispuestos en la región

corresponde al 99,71%, de los cuales, un 94,4% es dispuesto en Relleno Sanitario. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario Copiulemu: abarca las Comunas de Florida, Lota, Talcahuano, Hualpén y Cabrero. El año 2017 recibió 127.371 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Cemar: abarca las Comunas de Concepción, Coronel, Chiguayante, Hualqui, Penco, San Pedro de la Paz, Santa Juana y Tomé. El año 2017 recibió 261.449 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario de Cañete: abarca las Comunas de Cañete, Contulmo y los Álamos. El año 2017 recibió 27.131 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue: abarca a las Comunas de Arauco y Curanilahue, y el año 2017 recibió 21.573 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Los Angeles: abarca las Comunas de los Ángeles, Antuco, Laja, Nacimiento, Quilleco, Santa Bárbara, Tucapel, Yumbel y Alto Biobío. El año 2017 recibió 94.440 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Lebu: abarca a la Comuna de Lebu y el año 2017 recibió 8.880 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Licura Mulchén: abarca a las Comunas de Mulchén, Negrete, Quilaco y San Rosendo. El año 2017 recibió 22.146 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región y se identificó que la principal comuna generadora de residuos corresponde a la Comuna de Concepción. De acuerdo con el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 24% de los residuos que se generan en la Comuna, posee un potencial de ser reciclado.

En la Figura 2-10 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región del Biobío.

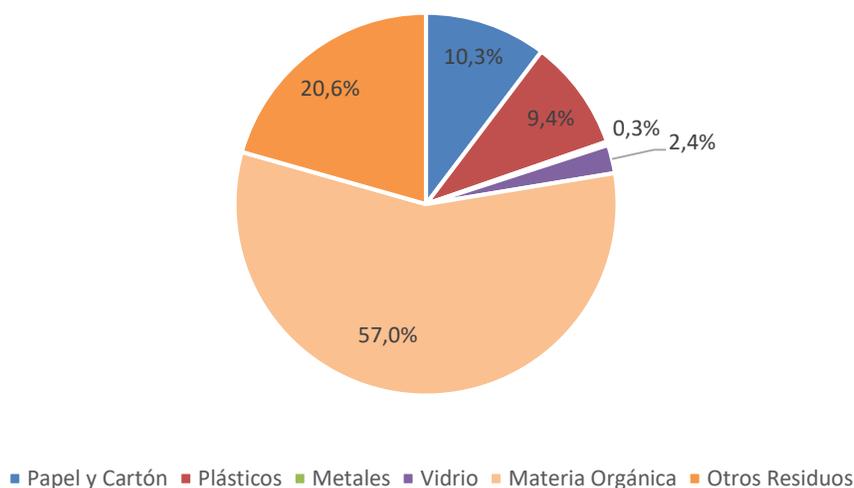


Figura 2-10. Composición porcentual de RSDyA de la Región del Biobío.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 564.590 toneladas de residuos el año 2017.

2.11 Región del Ñuble

La Región del Ñuble está compuesta de tres provincias, correspondientes a la Provincia de Diguillín, Provincia de Itata y Provincia de Punilla. La cobertura de recolección de residuos que son dispuestos en la región corresponde a un 96,65%, de los cuales, todos son dispuestos en el Relleno Sanitario las Cruces. El Relleno cubre las comunas de Chillán, Bulnes, Chillán Viejo, El Carmen, Pemuco, Pinto, Quillón, San Ignacio, Quirihue, Cobquecura, Coelemu, Ninhue, Portezuelo, Ranquíl, Trehuaco, San Carlos, Coihueco, Ñiquén, San Fabián y San Nicolás. El año 2017 recibió 144.261 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región y se identificó que la principal comuna generadora de residuos es la Comuna de Chillán. De acuerdo con el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 21,95% de los residuos que generan en la comuna, tienen el potencial de ser reciclados.

En la Figura 2-11 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región del Ñuble.

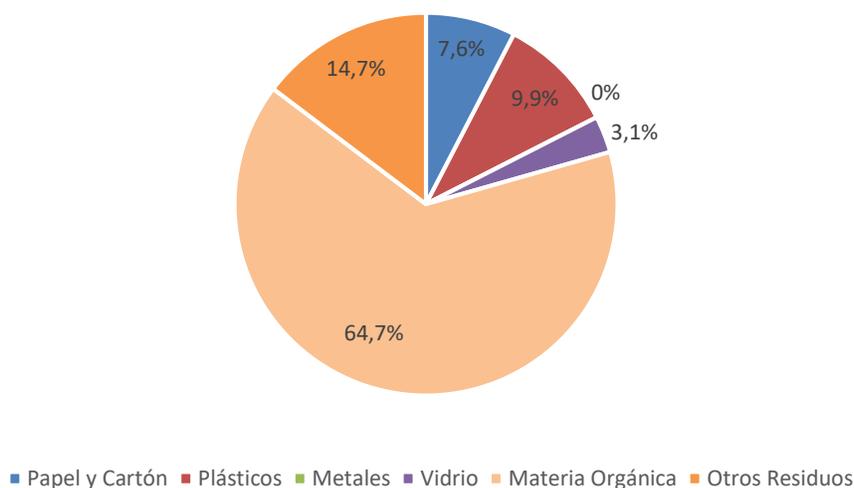


Figura 2-11. Composición porcentual de RSDyA de la Región del Ñuble.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 149.249 toneladas de residuos el año 2017.

Dentro del listado de proyectos futuros identificados por el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, la Región posee el proyecto: Centro de Manejo Ambiental Ñuble Sustentable.

2.12 Región de La Araucanía

La Región de la Araucanía está compuesta de dos provincias, correspondientes a la Provincia de Cautín y la Provincia de Malleco. La cobertura de recolección de residuos que son dispuestos es de un 50%, principalmente debido a que los residuos de algunas Comunas, como la de Temuco, son dispuestas en otras regiones. Del total de residuos recolectados para disponer en la región, un 28,78% son dispuestos en Rellenos Sanitarios. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Relleno Sanitario de Carahue: abarca las Comunas de Carahue, Nueva Imperial y Saavedra. El año 2017 recibió 16.651 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario de Coipue: abarca a la Comuna de Freire y el año 2017 recibió 4.320 ton/año de RSDyA.
- Relleno Villarica: abarca a las Comunas de Loncoche, Villarrica y Cholchol. El año 2017 recibió 27.568 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Cunco: abarca las Comunas de Cunco y Melipeico y el año 2017 recibió 8.680 ton/año de RSDyA.

- Vertedero de Gorbea: abarca a la Comuna de Gorbea y el año 2017 recibió 3.950 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Huallizada: abarca a la Comuna de Pitrufquén y el año 2017 recibió 7.700 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Los Nevados: abarca a la Comuna de Curarrehue y Pucón y el año 2017 recibió 12.895 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Alberto Sáez: abarca a la Comuna de Teodoro Schmidt y el año 2017 recibió 2.400 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Fundo Traiguén: abarca a la Comuna de Toltén y el año 2017 recibió 4.611 ton/año de RSDyA.
- Vertedero El Manzano: abarca a la Comuna de Vilcún y el año 2017 recibió 8.100 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Angol: abarca a la Comuna de Angol y el año 2017 recibió 25.920 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Curacautín: abarca a la Comuna de Curacautín y el año 2017 recibió 7,842 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Ercilla: abarca a la Comuna de Ercilla y el año 2017 recibió 3.333 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Lonquimay: abarca a la Comuna de Lonquimay y el año 2017 recibió 5.673 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Traiguén: abarca a la Comuna de Traiguén y el año 2017 recibió 6.284 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Victoria: abarca a la Comuna de Victoria y el año 2017 recibió 22.680 Ton año de RSDyA.

En la Figura 2-12 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de la Araucanía.

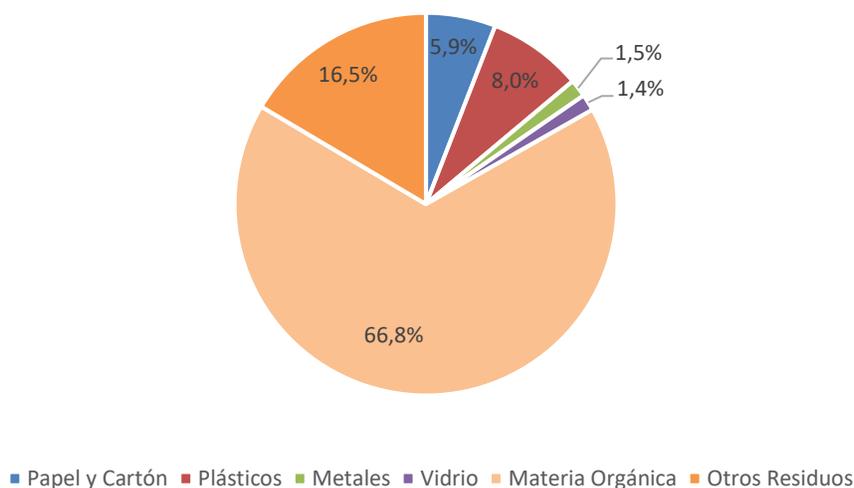


Figura 2-12. Composición porcentual de RSDyA de la Región de la Araucanía.
Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 337.182 toneladas de residuos el año 2017.

Dentro del listado de proyectos futuros identificados por el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, la Región posee los proyectos: Planta WTE Araucanía y Estación de Transferencia Gersa.

2.13 Región de Los Ríos

La Región de los Ríos está compuesta de 2 provincias, correspondientes a la Provincia de Ranco y Provincia de Valdivia. La cobertura de disposición de residuos en la región es de un 100% hacia vertederos. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Vertedero de Morrompulli: abarca a las Comunas de Valdivia, Corral, Lanco, Los Lagos, Máfil, Mariquina, Panguipulli, La Unión, Futrono y Lago Ranco. El año 2017 recibió 156.745 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Intercomunal Paillaco – Futrono: abarca a la Comuna de Paillaco y el año 2017 recibió 7.200 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Cachillahue: abarca a la Comuna de Río Bueno y el año 2017 recibió 9.500 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región y se identificó que la principal comuna generadora de residuos corresponde a la Comuna de Valdivia. De acuerdo con el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 27,9% de los residuos que se generan en la Comuna, poseen el potencial de ser reciclados.

En la Figura 2-13 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Los Ríos.

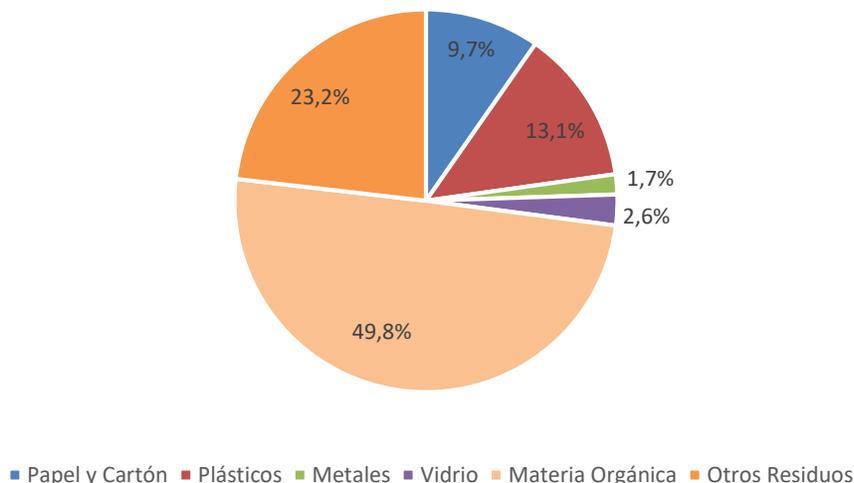


Figura 2-13. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Los Ríos.
Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 173.445 toneladas de residuos el año 2017.

2.14 Región de Los Lagos

La Región de Los Lagos fue seleccionada como Región representativa de la Macrozona Sur. Posee cuatro Provincias: Chiloé, Llanquihue, Osorno, Palena, con una cobertura total de sus RSDyA, y son dispuestos en:

- Relleno Sanitario La Laja: abarca parte de la Provincia de Llanquihue (90,5%). El 2017 recibió 112.488 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario CTI de RSD de Futaleufú: abarca parte de la Provincia de Palena (11,5%). El 2017 recibió 388 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Industrial: abarca a parte de la Provincia de Llanquihue (9,5%). El 2017 recibió 11.809 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Chonchi: abarca parte de la Provincia de Chiloé (2,3%). El 2017 recibió 1.785 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Curaco de Vélez: abarca parte de la Provincia de Chiloé (1,1%). El 2017 recibió 847 ton/año de RSDyA.

- Vertedero Dalcahue: abarca parte de la Provincia de Chiloé (14,8%). El 2017 recibió 7.738 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Puqueldón: abarca parte de la Provincia de Chiloé (2,7%). El 2017 recibió 2.142 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Queilen: abarca parte de la Provincia de Chiloé (0,9%). El 2017 recibió 700 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Quinchao: abarca parte de la Provincia de Chiloé (3,1%). El 2017 recibió 2.460 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Curaco: abarca parte de la Provincia de Osorno (97,5%). El 2017 recibió 123.353 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Pudahuel: es considerado un basural y abarca parte de la Provincia de Chiloé (33,9%). El 2017 recibió 26.825 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Ancud. Es considerado un basural y abarca parte de la Provincia de Chiloé (26,4%). El 2017 recibió 20.886 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Quellón: es considerado un basural y abarca parte de la Provincia de Chiloé (14,7%). El 2017 recibió 11.571 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Quemchi; es considerado un basural y abarca parte de la Provincia de Chiloé (5,1%). El 2017 recibió 4.000 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Río Negro: es considerado un basural y abarca parte de la Provincia de Osorno (2,5%). El 2017 recibió 3.100 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Chaiten: es considerado basural y abarca parte de la Provincia de Palena (8,2%). El 2017 recibió 276 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Hualihué: es considerado basural y abarca parte la Provincia de Palena (54,8%). El 2017 recibió 1.849 ton/año de RSDyA.
- Basural de Palena: abarca parte de la Provincia de Palena (25,6%). El 2017 recibió 864 ton/año de RSDyA.

La Región de Los Lagos está compuesta de 4 Provincias, las cuales son cubiertas en su totalidad por diferentes sitios de disposición. Según el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, actualmente se disponen alrededor de 33,8% de los RSDyA en Rellenos sanitarios, situación que se debe mejorar para poder implementar más adelante la tecnología de tratamiento de RSDyA, siendo este el primer paso que debiera tomar la Región.

En la Figura 2-14 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Los Lagos.

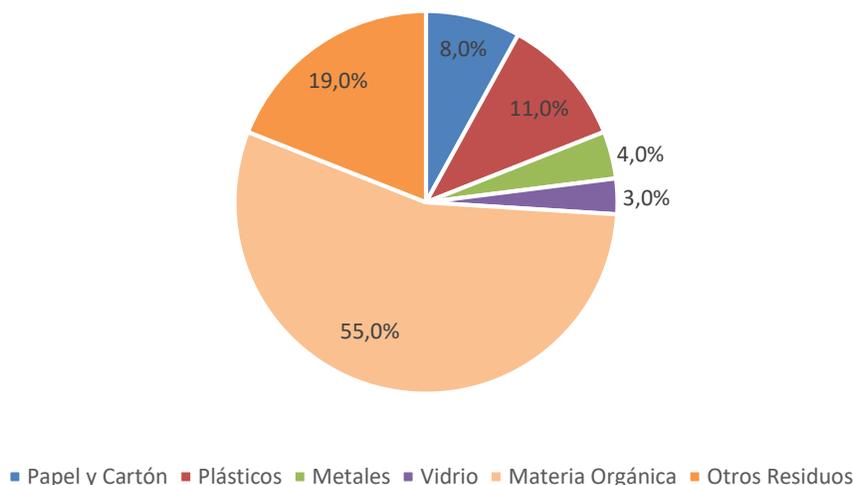


Figura 2-14. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Los Lagos.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 333.081 toneladas de residuos el año 2017.

La Provincia que posee la mayor producción de RSDyA corresponde a Osorno, con 126.453 ton/año. En segundo lugar, se encuentra la Provincia de Llanquihue con 124.297 ton/año. En tercer lugar, se encuentra la Provincia de Chiloé con 78.954 ton/año y en cuarto, la provincia de Palena, con 3377 ton/año. El potencial de valorización de residuos en la Región puede permitir revalorizar un total de 86.601 ton/año de RSDyA. Como actor representante de la Región, se considerará al Gobierno Regional, e instituciones que se encarguen de la valorización de los RSDyA.

Dentro del listado de proyectos futuros identificados por el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, la Región posee el proyecto: Relleno Sanitario Provincial de Osorno.

2.15 Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo

La Región de Aysén del General Carlos Inañez del Campo posee cuatro provincias, correspondientes a la Provincia de Aysén, Provincia del Capitan Prat, Provincia de Coyhaique y Provincia de General Carrera. La cobertura de disposición residuos a Relleno Sanitario es de un 56%. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Centro de Manejo de Residuos Coyhayque – Gemarc: abarca a la Comuna de Coyhaique y el año 2017 recibió 27.200 ton/año de RSDyA.

- Relleno Sanitario Puerto Ibañez: abarca a la Comuna de Río Ibañez y el año 2017 recibió 717 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Melinka: abarca a la Comuna de Guaitecas y el año 2017 recibió 1.075 ton/año de RSDyA.
- Relleno Sanitario Villa O'Higgins: abarca a la Comuna de O'Higgins y el año 2017 recibió 77 ton/año de RSDyA.
- Vertedero La Tapera: abarca a la Comuna de Lago Verde y el año 2017 recibió 815 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Puerto Aysén: abarca a la Comuna de Aysén y el año 2017 recibió 13.500 ton/año de RSDyA.
- Vertedero La Junta: abarca a la Comuna Cisnes y el año 2017 recibió 1.897 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Cochrane: abarca a la Comuna de Cochrane y el año 2017 recibió 4.044 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Tortel: abarca a la Comuna de Tortel y el año 2017 recibió 110 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Puerto Guadal: abarca a la Comuna de Chile Chico y el año 2017 recibió 2.422 ton/año de RSDyA.

En la Figura 2-15 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

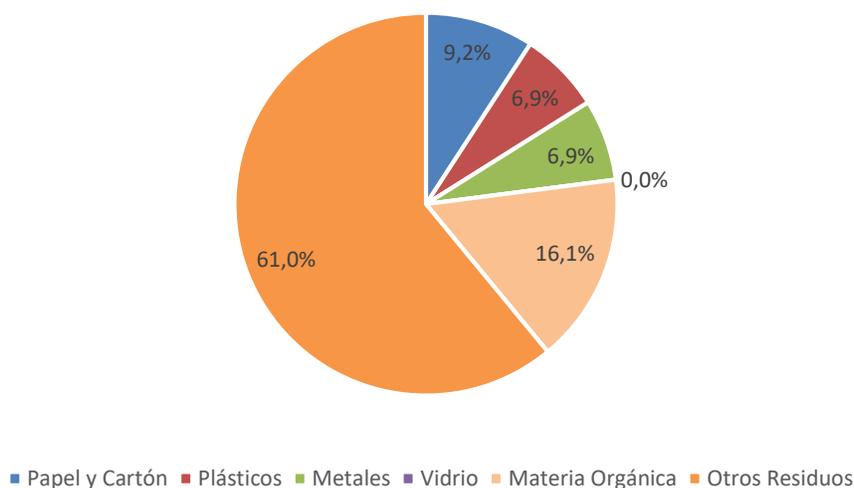


Figura 2-15. Composición porcentual de RSDyA de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.
Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 57.857 toneladas de residuos el año 2017.

2.16 Región de Magallanes y la Antártica Chilena

La Región de Magallanes y la Antártica Chilena está compuesta de cuatro provincias, correspondientes a la Provincia de Antártica Chilena, Provincia de Magallanes, Provincia de Tierra del Fuego, Provincia de Última Esperanza. La cobertura de disposición de residuos en la región es total, con disposición de residuos en Vertederos y basurales. De acuerdo con la información del *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, los sitios de disposición corresponden a:

- Vertedero Leñadura: abarca a las comunas de Punta Arenas, Laguna blanca, Río Verde y San Gregorio. El año 2017 recibió 46.113 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Cabo de Hornos: abarca la Comuna de Cabo de Hornos y el año 2017 recibió 406 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Provenir: abarca la Comuna de Porvenir y el año 2017 recibió 6.318 ton/año de RSDyA.
- Vertedero de Primavera: abarca la Comuna de Primavera y el año 2017 recibió 1.680 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Timaukel: abarca la comuna de Timaukel y el año 2017 recibió 85 ton/año de RSDyA.
- Vertedero Natales: abarca la Comuna de Puerto Natales y el año 2017 recibió 40.108 ton/año de RSDyA.

- Vertedero Cerro Castillo: abarca la Comuna de Torres del Paine y el año 2017 recibió 4.500 ton/año de RSDyA.

Se analizó la generación de residuos en la región y se identificó que la principal comuna generadora de residuos corresponde a la Comuna de Punta Arenas. De acuerdo con el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*, un 35,7% de los residuos que se generan en la Comuna de Punta Arenas poseen el potencial de ser reciclados.

En la Figura 2-16 a continuación, se presenta la composición de residuos de la Región de Magallanes y la Antártica chilena.

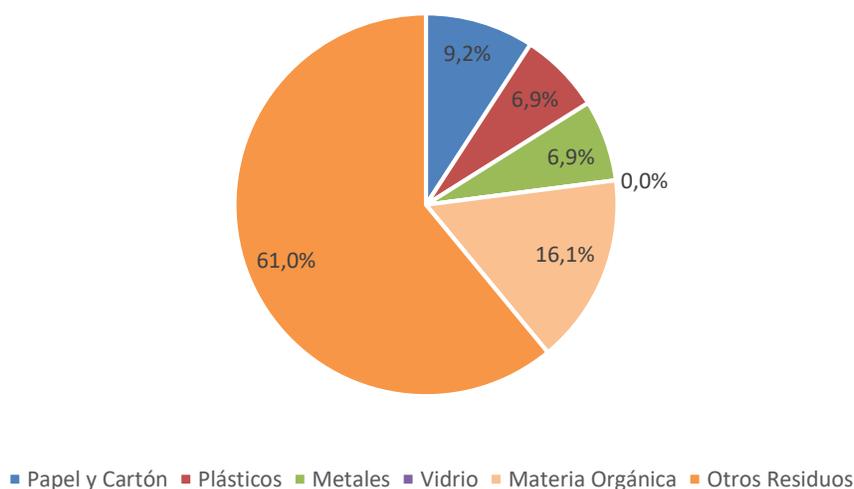


Figura 2-16. Composición de RSDyA de la Región de Magallanes y la Antártica de Chile.

Fuente: Diseño propio, con datos del Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere. La Región generó 99.210 toneladas de residuos el año 2017.

Dentro del listado de proyectos futuros identificados por el *Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere*, la Región posee los proyectos: Centro de Manejo de Residuos Sólidos de Natales, Centro de Manejo de Residuos Sólidos de Porvenir, Centro de Gestión de Residuos Sólidos de Magallanes.

3 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES CLAVES

De acuerdo con la información previamente levantada por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, se realizó una propuesta de empresas, instituciones y agrupaciones que poseían el potencial de colaborar con el proyecto, entregando una perspectiva cualitativa y cuantitativa de la situación actual de la gestión de los residuos. Cada una de las entidades identificadas posee un actor clave, el cual corresponde a la persona representativa de cada empresa, institución y/o agrupación.

Las entidades fueron divididas en sector público y sector privado. Para el sector público se consideró Ministerios, Gobiernos Regionales e I. Municipalidades. Mientras que, en el sector privado consideró a empresas, incluyéndose en esta categoría, a actores expertos en la temática de gestión de residuos y académicos de universidades. Estas se presentan en las Tabla 3-1. **Listado Propuesto del Sector Público** Tabla 3-1 y Tabla 3-2 a continuación.

Tabla 3-1. Listado Propuesto del Sector Público

Entidad del Sector Público	Profesionales identificados
Seremi Medio Ambiente	Christian Fuentes – Encargado de Residuos y Proyectos
Ministerio Desarrollo social	Orietta Valdes – Coordinadora de Evaluación Ex post de Mediano plazo. Alejandro Le Fort – Analista de Inversiones.
Ministerio de Energía	Viviana Avalos – Profesional Unidad de Sectores Productivos, División de Energías Renovables. Katherine Navarrete – Profesional Unidad de Sectores Productivos, División de Energías Renovables. Marcel Silva Gamboa – Jefe de la Unidad de Sectores Productivos, División de Energías Sostenibles.
Ministerio Medio Ambiente	Guillermo Gonzalez Caballero - Jefe de la Oficina de Economía Circular. Pablo Fernandois – Encargado del Área de Gestión de Residuos.
Gobierno Regional de Tarapacá	Paula Tejeda – Profesional de la División de Planificación y Desarrollo Regional.
I. Municipalidad de Iquique	Diego López – Director de Medio Ambiente.
I. Municipalidad de Alto hospicio	Pablo Oroz – Asesor Ambiental del Municipio de Alto Hospicio.
Gobierno Regional de Valparaíso	Carlos Vera - Profesional Unidad Gestión Ambiental.
I. Municipalidad de Valparaíso	Claudio Venegas – Encargado de residuos valorizables.
I. Municipalidad de Viña del Mar	Juan Pablo Gavilán - Encargado de Gestión Integral de Residuos.
Gobierno Regional de Los Lagos	María Ester Sepúlveda - Encargada del Departamento de Estudios y Ordenamiento Territorial.
I. Municipalidad de Puerto Montt	Domingo Jiménez – Jefe de la Dirección de Medio Ambiente, Aseo y Ornato.
I. Municipalidad de Osorno	Carlos Medina – Director de medio ambiente, aseo y ornato

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-2. Listado Propuesto del Sector Privado

Empresa y/o Profesión del Actor experto	Profesionales identificados
AESA Consultora Spa	Esteban Álvez - Gerente General.
Arcadis	Gerardo Canales - Coordinador Programa Reciclo Orgánico.
Asesor	Juan Carlos Giuffra - Asesor Higiene Ambiental Seremi de Salud Región de Valparaíso.
Asociación de Industriales de Iquique	Claudia Ramírez - Coordinadora Unidad de Proyectos y Desarrollo Empresarial
Asociación Nacional de la Industria de Reciclaje (ANIR)	Alejandro Navech - Gerente General
Esparza y Vega Ingenieros Limitada	Marcia Esparza. Cristian Vega
GRS Szanto Consultores Ltda	Jocelyn Szantó – Directora Proyectos.
Kdm	Arturo Arias - Subgerente de Ingeniería y Medio Ambiente Alejandro Keller - Gerente de Operaciones.
ORHMA INGENIERÍA	Guillermo Saavedra – Gerente Técnico Asesor de empresas sanitarias y comunas de riego.
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Alejandro Corvalan - Profesor Instituto de Geografía. María Cristina Schiappacasse - Directora Escuela de Ingeniería Civil Bioquímica. Marcel Szantó - Profesor PUCV y trabajó en ONU medio ambiente.
Servicios GEA	Rene Lizama. Luis Parra.
Solenor	Gonzalo Izquierdo - Gerente General.
Stericycle	Arturo Krell
Universidad Playa Ancha y Consejo Zonal de Valparaíso	Eva Soto - Profesor UPLA y Consejo Zonal Valparaíso – Colegio de Ingenieros de Chile A.G.
Universidad Viña del Mar	Oscar Vidal - Profesor Coordinador del Diplomado Gestión de Residuos Sólidos. Tito Parga - Abogado, posgrado en gestión integral en residuos sólidos.
Veolia	Carolina Ascui - Especialista Ambiental.
Waste To Energy Chile	---

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que, para el análisis final de las tecnologías y entrevistas, se consideraron más actores que los presentados en los listados propuestos.

4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta sección consiste en la revisión bibliográfica de los temas relevantes relacionados al manejo y gestión de los residuos sólidos domiciliarios y asimilables. Se presentan las definiciones de términos que se emplearán en el desarrollo del informe. Además, de enumerar las leyes y normativas asociadas y un análisis de la valorización de residuos sólidos a nivel nacional e internacional.

4.1 Definiciones

Relleno Sanitario: son lugares de disposición final de la basura o residuos sólidos domiciliarios, asimilables y otros (RSDyA). Es diseñado, construido y operado para disminuir problemas que puedan ocurrir a la salud y la seguridad de la población, por contaminación del medio ambiente. Cumple con el DS N°189 del 2008. Los desechos son esparcidos en el Relleno y cubiertos diariamente, reduciendo su volumen para que ocupe un área más pequeña. Los residuos se cubren con una capa de tierra y se compacta la superficie al terminar el día (Ministerio de Salud de Costa Rica, 1997). Mediante el drenaje y otras técnicas, permite que los líquidos, percolados y gases que produce el relleno, se puedan controlar, manteniendo sus condiciones de operación. Es importante destacar que los Rellenos Sanitarios y todo lugar de disposición final de los desechos, tiene una vida útil. Para determinarla, se requiere analizar 3 situaciones: población no crece, población se duplica en un periodo de tiempo, y la población crece exponencialmente (Loayza, J., 2016).

Relleno sanitario manual: Es un relleno sanitario que opera manualmente. Los residuos son depositados en el suelo, se procede a realizar la compactación y confinamiento de los residuos, sin emplearse máquinas. El trabajo se realiza con una cuadrilla de hombres, quienes, con algunas herramientas y compactadores manuales, hacen las labores que ejecutaría el equipamiento. Cumple con el DS N°189 del 2008. Este tipo de Relleno Sanitario se emplea para pequeñas poblaciones que producen hasta 15 toneladas diarias de basura (Organización Panamericana de la Salud).

Vertedero: son un lugar donde asentamientos o grupos humanos destinan la basura generada. Este lugar fue planificado para su uso, pero no cuenta con las medidas sanitarias mínimas que establece el Decreto Supremo N°189 (2008), razón por la cual puede ser foco de problemas ambientales. Por tanto, es común que se mezclen los diferentes tipos de residuos, llegando a producirse la descomposición de la materia orgánica y lixiviados, generando la atracción de vectores y malos olores. Dentro de los tipos de vertederos, se pueden diferenciar entre clandestinos y vertederos municipales o urbanos.

Vertederos clandestinos o basurales: son aquellos en que los grupos o asentamientos de personas depositan sus desechos sólidos, y que no poseen ningún tipo de control. Usualmente se ubican en depresiones naturales (quebradas) o sumideros. No poseen una gestión de los residuos o algún proceso de control sanitario o ambiental, por ello, este tipo de disposición final de los desechos sólidos atrae vectores, genera malos olores y es un peligro para la salud.

Vertederos Municipales o Urbanos: son aquellos que partieron como Vertederos clandestinos o basurales, y que, por el trabajo de Municipalidades, tras un previo estudio económico, social y ambiental, es gestionado por la municipalidad. Este sitio de disposición final considera: control de la disposición de descartes y una operación

similar a la de un Relleno Sanitario controlado, con la posibilidad de tener planes de extensión de recepción de residuos.

Residuos Industriales no peligrosos y asimilables a urbanos: Los residuos no peligrosos o RESNOPEL, corresponden a aquellos que no tienen transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, por lo que no presentan riesgos medio ambientales o sociales. Es por ello, que los RESNOPEL no son inflamables, ni reactivos, es decir, no caen dentro de la categoría de peligrosidad del DS 148/03. Dependiendo del tipo de RESNOPEL, se requerirán diferentes resguardos para su descarte, lo cual, en algunos casos, puede significar que se requieran aplicar medidas similares a la de los residuos peligrosos. (*Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*). Dentro de los RESNOPEL industriales, se pueden identificar aquellos que son asimilables a domiciliarios (RESNOPELyA). Estos residuos son generados por las industrias y poseen características similares a los residuos urbanos. Su gestión puede hacerse de forma conjunta con ellos. En general corresponden principalmente a residuos industriales que no proceden del proceso productivo en sí mismo, sino de actividades de apoyo (*Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*).

4.2 Tipos de residuos sólidos domésticos, asimilables y otros

De acuerdo con el informe presentado por el Ministerio de Desarrollo Social el 2013, se dividen los residuos sólidos en las siguientes categorías:

- a) Residuos Domiciliarios: Son aquellos que se generan en los hogares, se dividen en:
 - I. Residuos orgánicos biodegradables.
 - II. Vidrio, papel, cartón y metal (materiales que poseen el potencial de ser recuperados).
 - III. Pilas, envases de spray, químicos de hogar (residuos especiales).
 - IV. Residuos domiciliarios de tipo comercial.
 - V. Otros (madera, textiles, goma, cartón, higiénicos, muebles, chatarra).
- b) Residuos Comunales: Proviene de las actividades de aseo de áreas públicas:
 - I. Polvo de calle
 - II. Residuos del barrido
 - III. Desechos depositados en tachos de basura.
 - IV. Desechos vegetales (poda de árboles).
- c) Residuos de actividades comerciales y servicios
 - I. Residuos tipo domiciliarios: papel, cartón, metal o residuos orgánicos biodegradables.
 - II. Otros servicios (hospitales, escuelas, cárceles).
- d) Residuos de Actividades de Construcción: Escombros.
- e) Residuos Industriales Sólidos: residuos generados por la actividad industrial, y que se pueden clasificar de acuerdo con los riesgos asociados de su manejo:
 - I. Residuos Industriales Sólidos peligrosos.
 - II. Residuos Industriales Sólidos especiales.
 - III. Residuos Industriales Sólidos, que son asimilables a los domiciliarios (RESNOPELyA).

4.3 Normativa Ambiental

A continuación, se enumeran las leyes y normativas asociadas al manejo y gestión de los residuos sólidos domiciliarios y asimilables:

- a) D.F.L. N°725/67: Código sanitario – Ministerio de Salud Pública
establece las obligaciones de las municipalidades, respectivo a la recolección, transporte y eliminación de las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana, por métodos adecuados.
 - a. Se fijan las condiciones de saneamiento y de seguridad respectivas a la selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios. Procedimientos relativos a modificaciones en plantas de tratamiento.
 - b. Se requiere aprobación del Servicio Nacional de Salud para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamientos de basuras y desperdicios.
 - c. El Servicio Nacional de Salud autoriza la instalación y vigila el funcionamiento de los sitios destinados a la acumulación, selección, industrialización o disposición final de las basuras y desperdicios de cualquier tipo.
- b) Decreto Ley N° 3063/1979: Ley de Rentas Municipales – Ministerio del Interior
Se establece el cobro del servicio municipal de extracción de residuos sólidos domiciliarios. Se establecen criterios para cobro diferenciado, identificando frecuencia o volúmenes de extracción, criterios que cada municipio debe definir a través de ordenanzas locales.
- c) D.F.L. 1/2019: Texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695, sobre las Municipalidades – Ministerio del Interior
En las Municipalidades, la gestión de residuos se encuentra a cargo de la Unidad de Medio Ambiente, Aseo y Ornato. Dentro de las responsabilidades de la Unidad, se encuentra el servicio de extracción de basura, proponiendo y ejecutando medidas y programas asociados al medio ambiente.
El Decreto establece la posibilidad de que para aquellas Municipalidades que se encuentren en áreas metropolitanas, se pueda convenir con el Gobierno Regional, la gestión de los residuos en modalidad parcial o total.
- d) Resolución N °2.444/1980: Normas Sanitarias Mínimas para la Operación de Basurales – Ministerio de Salud.
Normas mínimas para la operación de basurales, respectivas a las características del lugar, la dotación necesaria, el personal necesario, condiciones para la operación del basural y la fiscalización por parte de las autoridades.
- e) Ley 18.695: Ley orgánica constitucional de municipalidades - Ministerio del Interior; Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo
Se atribuye a la unidad de medio ambiente, aseo y ornato, el servicio de extracción de la basura.
- f) Ley 19.300: Bases generales del medio ambiente - Ministerio Secretaría General de la Presidencia.
Se exige que proyectos vinculados al manejo de residuos, deban ser evaluados ambientalmente. Se establece que el MMA debe proponer políticas, y formular normas, planes y programas en materias de residuos.
- g) D.S 594/2000: Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo – Ministerio de Salud
Se definen las condiciones sanitarios y ambientales básicas en lugares de trabajo, para proteger la vida y la salud de los trabajadores.

- h) D.S. 189/2008: Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios – Ministerio de Salud
Define las condiciones sanitarias y de seguridad que son mínimas para los rellenos sanitarios.
- I. Cada relleno deberá contar con un proyecto de ingeniería aprobado por la autoridad sanitaria (descripción del sitio, diseño de ingeniería, plan de operación, plan de contingencias, plan de cierre, plan de monitoreo y control, documentación).
 - II. Cada modificación deberá ser aprobada por la autoridad sanitaria.
 - III. Se debe asegurar una zona de protección de 300 metros al interior del sitio.
 - IV. El sitio se debe ubicar a más de 600 metros de toda captación de agua existente y más de 60 metros de todo curso o masa de agua superficial.
 - V. No se puede emplazar un relleno sobre: afloramientos de agua, humedales, riberas húmedas y bordes costeros.
 - VI. Se debe demostrar que el sitio cuenta con superficie suficiente para la cobertura, a lo largo de toda su vida útil.
 - VII. Todo relleno debe contar con un sistema de registro de residuos que ingresan al relleno, en peso o volumen.
- i) D.S 40: Reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental. Ministerio del Medio Ambiente.
Se deben someter al Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental, los proyectos de saneamiento, que consideren rellenos sanitarios y plantas de tratamientos de residuos sólidos.
- I. Plantas de tratamiento y/o disposición de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, estaciones de transferencia y centros de acopio y clasificación que atiendan a una población igual o mayor a 5.000 habitantes.
- j) D.S 7: Reglamento del fondo para el reciclaje – Ministerio del Medio Ambiente
Fondo para la prevención de la generación de RSD, el fomento de la reutilización y la valorización de residuos, y para financiar total o parcialmente proyectos, programas y acciones que fomenten la separación en origen, recolección selectiva, reutilización, reciclaje y otro tipo de valorizaciones, ejecutadas por municipalidades o asociaciones de estas.
- k) Ley 20.920: Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje – Ministerio del Medio Ambiente.
Establece el marco para la gestión de residuos, para disminuir los residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otros tipos de valorización, en una modalidad de trabajo de responsabilidad extendida del productor (REP).
- I. Todo residuo potencialmente valorizable deberá ser destinado para tal fin.
 - II. Todo generador de residuos deberá entregarlos a un gestor autorizado para su tratamiento, de acuerdo con la normativa vigente, salvo que proceda a manejarlos por sí mismo. El almacenamiento de los residuos también deberá cumplir con la normativa vigente.
 - III. Los RSDyA deberán ser entregados a la municipalidad correspondiente o a un gestor autorizado para su manejo.
 - IV. Todo gestor deberá manejar los residuos de manera ambientalmente racional, aplicando las mejores técnicas disponibles (MTDs) y mejores prácticas ambientales (MPA), en conformidad a la normativa vigente. Adicionalmente, cada gestor deberá declarar a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, al menos, el tipo, cantidad, costos, tarifa de servicio, origen, tratamiento y destino de los residuos.
 - V. La ley REP define que se establecerán metas para los siguientes productos prioritarios, estableciendo obligaciones asociadas a: aceites y lubricantes, aparatos electrónicos y eléctricos, baterías, envases y embalajes, neumáticos y pilas.

- l) NCh 3322:2014: Estandarización de colores y elementos visuales en contenedores de residuos- Ministerio de Medio Ambiente
 - I. Azul: papeles y cartones.
 - II. Amarillo: plásticos.
 - III. Gris claro: metales.
 - IV. Verde: vidrio.
 - V. Beige: cartón para bebidas.
 - VI. Café: orgánicos.
 - VII. Rojo: desechos peligrosos.
 - VIII. Burdeo: aparatos eléctricos y electrónicos.
 - IX. Gris oscuro: resto de residuos.
- m) NCh 2.880: Compost: Clasificación y Requisito – Instituto Nacional de Normalización
Clasifica el Compost en categoría clase A y B, para identificar los mercados en los cuales se puede comercializar y las limitaciones respectivas.
- n) Decreto Supremo 119: Reglamento de Seguridad de plantas de Biogás – Ministerio de Energía.
- o) Decreto 1.191/96: Manejo de lodos generados por proceso – Ministerio de Justicia.
- p) Decreto Supremo 29/2013: Norma de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento – Ministerio del Medio Ambiente.
- q) Resolución 94/2015: Protocolo de validación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones – Ministerio de Medio Ambiente.
- r) Decreto 89/1989: Emisiones de polvo y material particulado – Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- s) Decreto Supremo 148/2004: Reglamento para el manejo de residuos peligrosos – Ministerio de Salud.

En la Tabla 5-1 y 5-2 presentan las metas establecidas para envases y embalajes, separadas en las categorías de domiciliarios y no domiciliarios, y las subcategorías que lo componen: cartón para bebidas, metal, papel y cartón, plásticos y vidrio. Cabe destacar que, salvo autorización del Ministerio a los respectivos gestores, la valorización de los residuos solo se podrá cumplir mediante operaciones de reciclaje del material, en la cual se aproveche o recupere la materialidad del residuo de envase o embalaje.

Tabla 4-1. Metas de Recolección y valorización de envases y embalajes domiciliarios.

Año	Cartón para bebidas	Metal	Papel y cartón	Plástico	Vidrio
2022	5%	6%	5%	3%	11%
2023	8%	9%	9%	5%	18%
2024	23%	23%	25%	16%	25%
2025	29%	28%	33%	21%	31%
2026	35%	34%	40%	26%	38%
2027	41%	39%	48%	30%	45%
2028	48%	44%	55%	35%	52%
2029	54%	50%	63%	40%	58%
2030	60%	55%	70%	45%	65%

Fuente: Resolución Exenta N° 544 – Anteproyecto de Decreto Supremo que establece metas de recolección y valorización y obligaciones asociadas de envases y embalajes. Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

Tabla 4-2. Metas de Recolección y valorización de envases y embalajes no domiciliarios.

Año	General	Metal	Papel y cartón	Plástico
2022	30%			
2023	40%			
2024	50%			
2025	53%			
2026		61%	71%	38%
2027		64%	74%	42%
2028		66%	78%	46%
2029		68%	81%	51%
2030		70%	85%	55%

Fuente: Resolución Exenta N° 544 – Anteproyecto de Decreto Supremo que establece metas de recolección y valorización y obligaciones asociadas de envases y embalajes. Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

4.4 Procesos de tratamientos biológicos de tratamiento de RSDyA

El estudio realizado por Aleluia, J., y Ferrao, P. (2017) sobre costos de las tecnologías de tratamiento de RSDyA en países en vías de desarrollo, pertenecientes a Asia, es posible identificar entre las tecnologías de tratamiento biológico la Digestión Anaerobia y el Tratamiento Biológico Mecánico.

La Digestión Anaerobia es un proceso en el cual conjuntos de microorganismos descomponen la materia orgánica, bajo un proceso que opera en condiciones anaeróbicas (Ren, Y et al., 2018). El proceso se puede dividir en 4 etapas: la ruptura de las macromoléculas en monómeros, correspondiente a la transformación de carbohidratos, proteínas, y grasas a azúcar, este proceso es conocido como hidrólisis (Ren, Y., et al, 2018). Para sustancias complejas, puede convertirse en una etapa limitante debido a la formación de compuestos tóxicos (Yuan y Zhu, 2016). La segunda etapa se llama acidogénesis, en la cual los monómeros se descomponen en ácidos grasos de cadena corta, dentro de los cuales se encuentra el ácido láctico, el ácido acético, el ácido pirúvico, y el ácido fórmico. En la siguiente etapa, llamada acetogénesis, los ácidos como el ácido láctico y pirúvico son digeridos y convertidos en ácido acético e hidrógeno. Finalmente, en la etapa de metanogénesis, el hidrógeno y el ácido acético se transforman en metano, por los microorganismos metanogénicos. Respecto a capacidades reportadas en los procesos aplicados a nivel de Asia (Aleluia, J., Ferrao, P. 2017), el promedio procesado es de 81 ton/día, con una máxima de 600 ton/día. El gas que se puede producir por este proceso se puede emplear posteriormente para la generación de energía. El gas que produce esta usualmente compuesto de un 50 a 75% de metano (CH₄), 25 a 50% de monóxido de carbono (CO) y un 1 a un 15% de otros gases, como vapor de agua, amoníaco (NH₃), y ácido sulfhídrico (H₂S) (Surendra et al., 2014).

El Tratamiento Biológico Mecánico trata los RSDyA que no han sido separados en el centro de recepción. Puede ser útil para incrementar la vida útil del relleno sanitario, pues reduce la carga que entra y previene la degradación de la fracción orgánica, la cual es tratada empleando tecnologías biológicas. El proceso está conformado por una etapa mecánica (separación) y otra biológica (Digestión biológica). En la primera etapa (mecánica), ingresan los RSDyA a un equipo separador, que separa el flujo entrante en reciclables, rechazados y materia orgánica. La corriente de materia orgánica ingresa al proceso de tratamiento biológico, donde podrá ser tratada por digestión anaerobia, digestión aerobia o una mezcla, dependiendo de la selección de los

parámetros de la planta procesadora y del producto que se desee obtener (Aleluia, J. y Ferrao, P. 2017; Trulli, E., et al. 2018).

4.5 Procesos de tratamientos Físico y/o Químico de tratamiento de RSDyA

De acuerdo con procesos reportados por Aleluia, J. y Ferrao, P. (2017) y Kumar, A. (2017), los principales procesos fisicoquímicos de valorización/tratamiento de los RSDyA, corresponden a los procesos térmicos de Pirólisis, Incineración, Gasificación; la producción de combustible sólido no recuperado (Refuse-derived fuel), y el proceso de separación de residuos para ser reciclado y/o reusado. Las técnicas de pirólisis, incineración, gasificación y combustible sólido recuperado son conocidas como opciones de producción de energía a partir de la fracción orgánica de los desechos, la cual debe tener un bajo contenido de humedad, y un alto porcentaje de materia orgánica no biodegradable (Kumar, A., 2017).

En esencia, los primeros pasos para la disminución de la generación de RSDyA y Otros, corresponde a la prevención de la generación de residuos (reducción), seguido de la recuperación del material (reuso y reducción) y el reciclaje de metales, vidrios, papeles, plásticos y el tratamiento biológico de la materia orgánica (Scarlat, N. et al. 2018). Posteriormente, consiste en la generación de energía y finalmente, para aquel residuo que no puede ser valorizado o tratado por los procesos anteriores, llegar a la disposición final en rellenos sanitarios. Bajo esta mira, a nivel de residuos sólidos municipales, o RSD, en Estados Unidos se ha reportado (2014) que se valorizó un 34,45% de sus residuos, por reciclaje (incluye compostaje) de reciclaje, y en Europa, un 45% (incluye compostaje), con metas de seguir incrementándolo, como medida de disminución de los residuos que son dispuestos en rellenos sanitarios y otras medidas de disposición final (US EPA; Scarlat, N., et al, 2018).

A nivel mundial, hay pocas plantas de tratamiento de RSDyA que operan con pirólisis y gasificación, siendo las que se encuentran disponibles, operadas con una alimentación de los RSDyA, y de otros tipos de desechos, como aquellos que provienen de la industria, desechos biomédicos y biomasa (Ionescu et al., 2013). La principal diferencia entre los procesos de incineración, gasificación y pirólisis, son las condiciones atmosféricas, es decir, presencia de oxígeno y la temperatura a la cual se opera, afectando en los productos intermedios y los reactores en los cuales se realiza el proceso (Kumar, A., 2017). En el caso de los tratamientos de incineración, no se suele emplear un pretratamiento a los RSDyA.

Los diferentes tipos de tratamientos térmicos generan por tanto diferentes productos. La Incineración produce un desecho inerte y calor/vapor, que puede ser empleado para generar energía y electricidad. La Gasificación genera Syngas, es decir, gas sintético que puede ser empleado para generar electricidad. La Pirólisis puede operar en modalidad lenta y rápida, obteniendo de producto un biocombustible, que se emplea para generar energía y electricidad (Kumar, A., 2017).

La incineración opera como una combustión completa, con temperaturas que varían entre 850 a 1.200°C. Requiere de la presencia de oxígeno para operar, sin la necesidad de un pretratamiento de los RSDyA. Se producen dos tipos de productos de este proceso (Kumar, A., 2017):

- a) Compuestos sólidos: ceniza de fondo y volante, y escoria. En caso de que el RSDyA posea vidrio y metales, también se encontrarán en la corriente de sólidos a la salida.
- b) Compuestos gaseosos: dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O), oxígeno (O₂) y nitrógeno (N₂).

En Asia se ha empleado la tecnología de Incineración de sus RSDyA, con plantas operativas que pueden llegar a tratar entre 1.022 (media) a 2.000 ton día de RSDyA (Aleluia, J., Ferrao).

La Pirólisis es un proceso térmico de degradación de la materia orgánica sin oxígeno, operando entre 400 a 800 °C. Se producen tres tipos de productos de este proceso (Kumar, A., 2017):

- a) Compuestos sólidos: cenizas, y un residuo compuesto de carbono y cenizas.
- b) Compuestos líquidos: condensado del gas producido por el proceso: bio-aceite, cera, y alquitrán.
- c) Compuestos gaseosos: hidrogeno (H_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos, agua (H_2O), nitrógeno (N_2).

La Gasificación requiere de un pretratamiento de los RSDyA que se ingresan al proceso, operando como una oxidación parcial, entre 800 a 1.600 °C, en la cual se controla la alimentación de oxígeno. Se producen dos tipos de productos de este proceso (Kumar, A., 2017):

- a) Compuestos sólidos: cenizas y escoria.
- b) Compuestos gaseosos: gas sintético hidrogeno (H_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), agua (H_2O) y nitrógeno (N_2).

Para la producción del combustible sólido no recuperado, se separa los materiales reciclables y no combustionantes, seguido de un proceso de trituración y/o un proceso de peletización de los desechos restantes. Este producto posee un alto valor calorífico. (Kumar, A., 2017). Según los datos obtenidos del estudio de Aleluia, J. y Ferrao, P., 2017, esta técnica se ha aplicado en Asia, para tratar una media de 389 ton/día de RSDyA y una máxima de 1.300 ton/día RSDyA.

4.6 Valorización de RSDyA a nivel nacional

En años recientes, Chile ha progresado en el incremento de la disposición de RSDyA en Rellenos Sanitarios, alcanzando un 78% del total de residuos generados. Pero tal como se ha visto a nivel mundial en países desarrollados, la disposición final debiese ser la última opción dentro del proceso por el cual deben pasar los RSDyA, partiendo por la prevención y minimización de la generación de residuos, reúso y reciclaje y otras formas de valorización de los RSDyA. Chile ha comprendido las necesidades que requiere, y es por eso que ha puesto una variedad de normas que buscan tanto valorizar los residuos, como también fomentar las tres R (reúso, reciclaje y reducción). Bajo este enfoque, el año 2016 se desarrolló la Ley 20.920, que se enfoca en la responsabilidad extendida del productor, la primera a nivel sudamericano.

Por su parte, la Política Nacional de Residuos Sólidos 2018 – 2030, establece productos prioritarios que deben ser gestionados, correspondientes a: aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías, envases y embalajes, neumáticos, y pilas; buscando llegar a una valorización del 30% de los RSDyA al año 2030. Esta situación conlleva a que las empresas, Municipios e instituciones, tengan que replantearse su modelo de operación, considerando que los residuos que gestionan deberán disminuirse y valorizarse, para poder cumplir con las metas y obligaciones que serán impuestas.

En el año 2009, el levantamiento de información realizado por CONAMA reportó que se reciclaron 23.994 toneladas, se compostó 28.682 toneladas, se incineraron 603 toneladas y se valorizaron 2.453 toneladas,

principalmente a partir de lombricultura. Sin embargo, la situación solo representaba un sector de la valorización y se requería recabar más antecedentes, pues la valorización también debería incluir a las industrias.

Mediante el Decreto Supremo N°1 el año 2013, se impulsó al desarrollo de un registro de emisiones y transferencias de contaminantes, que pudiese ser de libre acceso. A partir de esta medida y capacitaciones, se pudo ampliar la base de datos disponible.

De acuerdo con el último registro sobre residuos sólidos del RETC (2017), la valorización de RSDyA y Otros fue de un 25,7% del total de basura producida en Chile (Municipal y RESNOPEL). Este valor es cercano al propuesto para el 2030, pero aún se debe incrementar la disposición de los residuos sólidos en Rellenos Sanitarios, al igual que implementar mejores tecnologías disponibles en base al análisis del escenario específico por región y así obtener una tecnología sustentable.

Uno de los residuos más preocupantes, corresponde a la fracción orgánica. Para limitar los efectos en la salud y el medio ambiente, se requiere aplicar tecnologías de tratamiento biológicas o térmicas a los residuos. Actualmente, del total de RSDyA y Otros que son generados y que pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios, vertederos y basurales, solo el 2,2% corresponde al sector municipal.

Para lograr que se puedan valorizar los residuos de manera efectiva, se requiere separar por tipo y composición. Para ello es de vital importancia poseer de instalaciones de recepción y almacenamiento de los residuos, actividades que se pueden realizar en Puntos Verdes, Puntos Limpios o Centros de Acopio (*Diagnóstico y Catastro RS año 2017, Subdere.*).

Para la reutilización, se procede a reciclar materiales específicos, compostaje, aplicación al suelo, y valorización energética. Aquellos RSDyA que no puedan ser valorizados, pasaran por un proceso de eliminación, siendo dispuestos en vertederos, monorellenos y basurales; o destruidos, mediante tecnologías de incineración para recuperación de energía.

De acuerdo con los datos del RETC (2017) sobre disposición de residuos a nivel de suelo, el principal proceso de valorización de los RSDyA en Chile durante el año 2017 fue de reciclaje, reúso y reducción, procesando 4.059,2 mil toneladas, seguido del proceso de compostaje, con 1.060,4 mil toneladas y el proceso de valorizaciones varias, con 984,4 mil toneladas. En este escenario actual, las tecnologías de valorización de residuos con generación de energía alcanzan el 1,86% del total de valorización en Chile.

4.7 Valorización de RSDyA a nivel internacional

4.7.1 Valorización de RSDyA en América Latina

La producción de RSDyA en América latina y el Caribe corresponde al 10% de los residuos generados a nivel global. La composición de los RSDyA varía entre país, y se encuentra directamente relacionada a los ingresos que posee (tipo de economía), siendo reflejado en la composición de materia orgánica, entre un 75% para los países con bajos ingresos a un 36% para los países con altos ingresos.

De acuerdo con estudios de la ONU realizados el 2018, América Latina y el Caribe generaron más de 541.000 toneladas diarias de RSDyA el 2014, y se estima que se generará un incremento de al menos un 25% de la

producción de residuos al 2050. Los datos que entrega el estudio de la ONU son alarmantes, considerando que solo un 10% de los residuos generados son aprovechados, con tasas de reciclaje que varían entre un 1 a un 20%. Lamentablemente, más de 40 millones de personas carecen de acceso básico a servicios de recolección básicos y que alrededor de una tercera parte de los residuos que fueron generados el 2014 (145.000 ton) fueron dispuestos en basurales, generando graves impactos a nivel de salud y medio ambiente.

Una de las principales falencias a nivel latinoamericano y Caribe, es que los países poseen un débil funcionamiento institucional, pues se han otorgado diferentes competencias a diferentes áreas de un mismo gobierno, entorpeciendo los esfuerzos que se desean realizar en la materia de reciclaje y que algunos países aún carecen de tratamientos especiales para algunos tipos de residuos, tales como: residuos peligrosos, residuos provenientes de establecimientos de salud, residuos de construcción, residuos de alimentos y los residuos de aparatos electrónicos y eléctricos (ONU, 2018).

En Latinoamérica, muchos países han aplicado el reciclaje, reúso y reducción como tratamiento de los residuos domiciliarios, pero tal como se presentó previamente, este proceso solo corresponde entre un 1 a un 20% de los residuos, por lo que poseen un bajo alcance.

La tecnología de tratamientos de RSDyA que ha sido aplicada se basa en los centros de tratamiento de Estados Unidos y Europa. Aun requieren mejorar su operación, pues plantas de tratamiento en México, Brasil y Uruguay no cumplen con las condiciones sanitarias para operar. Por otra parte, plantas de compost en México (Puebla), Colombia (Medellín), Argentina (Rosa Rio), y Haití (Port-au-Prince), han debido cerrar porque no existe un mercado para el compost que producen. Esta última situación demuestra problemas con el modelo de negocios de las empresas que aún deben aprender a operar en este nuevo tipo de mercados. Las nuevas plantas deberán de aprender de los errores de las que han cerrado, enfocándose a mercados nichos, como podría ser la producción de sustancias húmicas a partir de la fracción orgánica de los RSDyA, en vez de compost.

En Argentina, de acuerdo con el estudio de la ONU (2018), se destaca el complejo ambiental Norte III en Buenos Aires, de carácter demostrativo. La instalación está conformada de 12 plantas de separación manual de RSDyA, creada para la inclusión social de recicladores. Por su parte, la sección productiva posee: 1 planta de reciclaje de neumáticos que procesa 700 toneladas al mes de RSDYA, 1 planta de compostaje que recibe 800 toneladas mes de residuos verdes, 1 planta de tratamiento mecánico biológico, que recibe 1.100 toneladas al día, 2 plantas de desgasificación con antorchas y 2 plantas de desgasificación que generan 15 MWh de energía. Todas las plantas de desgasificación se encuentran registradas en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

En Brasil (2014), los municipios recolectaron un total de 264.800 toneladas de RSDyA (incremento del 5%, respecto al año anterior). El destino de estos residuos correspondió a incineración (44,5%), autoclave (21,9%) y microondas (2,5%). El 31,1% restante tuvo como destino final una disposición en rellenos sanitarios, zanjas sépticas y basurales (Abrelpe, 2014).

Para fomentar el reciclado, Brasil creó un protocolo basado en la política europea, que se llama política Nacional de Residuo Sólido (PNRS). La política impulsa el cierre de los vertederos en Brasil, e impulsa alternativas para reducir la emisión al medio ambiente, reduciendo a la par, la cantidad de residuos que se destinaban a vertederos.

Tras el cierre de un vertedero en el Municipio de Sao Paulo, más del 97,5% de los RSDyA que producen (1.300 ton/d) eran destinados a las ciudades vecinas. Se analizaron diferentes casos; la producción de gas a partir de la incineración de los RSDyA, y biodigestión. El proceso de producción de biogás e incineración permite producir 817,2 MWh, suficiente para 2.783 residencias. Aun cuando puede satisfacer los requerimientos del proceso, la cantidad de energía generada es moderada y no hay disponibilidad de terreno. El mejor escenario correspondía a la biodigestión, por la incineración de los RSDyA, pues puede producir hasta 35 veces más energía (28.991 MWh), lo cual permite satisfacer las necesidades de 134.217 casas (Lino, F, 2016).

4.7.2 Valorización de RSDyA en Europa, Estados Unidos y Asia

Mundialmente, el incremento de la densidad poblacional, acoplado a la migración de la población rural a áreas urbanas, en conjunto con la expansión industrial, conlleva a un aumento en la generación de residuos, generando un impacto a nivel socio económico y ambientalmente (Moya et al., 2017). El proceso de gestión de los RSDyA varía entre los países que están en vías de desarrollo y los desarrollados, afectando en como recolectan, transportan y disponen de los residuos. En el caso de los países desarrollados, su enfoque está dirigido al empleo de tecnologías de tratamiento de residuos emergentes, buscando la producción de subproductos, tales como energía, compost y/o biocombustibles (Moya, et al., 2017).

El principal método de disposición que emplean los países en vías de desarrollo corresponde a la disposición en rellenos sanitarios, vertederos, y basurales, siendo las principales barreras que se enfrentan de: carácter financiero, conocimiento limitado de las tecnologías, políticas regulatorias inadecuadas, y falta de cooperación, al igual que experiencia de los trabajadores (AIT/UNEP, 2010). En promedio, la recolección de RSDyA puede alcanzar cerca de un 41% en países de bajos ingresos, pudiendo llegar hasta un 10% en países de África. En países con ingresos altos medios se obtienen recolecciones cercanas al 85% (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

El 2012, el banco mundial estimó que la producción de RSDyA era de 1.3 billones de toneladas al año, y se espera que llegue a 2.2 billones de toneladas por año, para el 2025 (Moya, et al., 2017; Hoornweg, D y Bhada-Tata, P. 2012).

En marzo del 2017, para acelerar la transición hacia una economía circular, el parlamento europeo ajustó las metas propuestas para la comisión, respectiva al reúso y reciclado de los RSDyA. La meta se fijó sobre un 60% para el 2025 y un 70% para el 2030. Las enmiendas estructuran obligaciones más estrictas para la recolección, removiendo del texto previamente formulado por la comisión, la causal que considera el tratamiento de los residuos para su reúso y reciclaje, en el caso de que fuese técnica, ambiental y económicamente aplicable (Malinauskaite, J, et al., 2017). Al 2013, de acuerdo con la legislación europea y las metas impuestas para el reciclaje y reúso de sus materiales, se impusieron metas para diferentes materiales para reciclar y reusar, tales como: madera (75%), metales ferrosos (85%), aluminio (85%), vidrio (85%), y papel y cartón (85%).

La producción de energía a partir de los RSDyA es atractiva para Europa, pues no solo genera una reducción del volumen de los residuos, sino que también provee una fuente local de generación de energía renovable, disminuyendo las emisiones de carbono (Smith, A., et al, 2001).

En el 2016, se identificaron 1.688 plantas de generación de energía a partir RSDyA a nivel mundial, de las cuales, 512 plantas de tratamiento de RSDyA están ubicadas en Europa: 251 plantas corresponden a

producción de calor y energía combinada, 161 para producción de solo electricidad, y 94 plantas para la producción de solo calor, las cuales proveen una capacidad de incineración de 93 millones de toneladas.

Por su parte, Japón posee alrededor de 922 plantas, China posee 166 y Estados Unidos 88 (Scarlat, N., et al, 2018; Zhang., et al, 2015; WTERT; Eurostat., 2017; ISWA, 2013; ETC/SCP, 2014; Coenrady, C; SVDU; ITAD). El análisis de sustentabilidad hecho por Scarlet, identifica que hay un potencial de implementar 330 nuevas plantas de tratamientos de residuos para generar energía en Europa, con una capacidad de tratamiento de 50 millones de toneladas, y generación de 352 PJ (8,4 Mtoe).

Estados Unidos (2014), reportó que se generaron 258 millones de toneladas de RSDyA, de los cuales, 136 millones de toneladas fueron dispuestas en rellenos sanitarios, 89 millones de toneladas fueron recicladas y empleadas para generar compost, y 33 millones de toneladas fueron quemadas para la generación de energía. A esa fecha, la generación de energía llegó a 14.310,2 GWh (US EPA). Para Estados Unidos, la disposición final en rellenos sanitarios es una opción viable, por su bajo costo económico comparado con una planta de tratamiento de RSDyA (Scarlat, N., et al, 2018).

En el caso de China, la incineración ha sido predominante desde su introducción en 1980, debido a la disponibilidad de la tierra y limitaciones ambientales, al igual que la producción de energía (Scarlat, N., et al, 2018). Entre el 2013 y el 2014, la capacidad de las plantas de producción de energía desde RSDyA llegó a 46 millones de toneladas al año, y una generación de energía de 18,7 billones de kWh (Scarlat, N., et al, 2015).

Tabla 4-3. Distribución del destino de los RSDyA en Europa (2015). Los datos son reportados en miles de toneladas.
EEA: European Economic Area.

	Generado	Compostado	Reciclado	Incinerado	Disposición en Relleno Sanitario
Bélgica	4708	901	1615	2043	43
Bulgaria	3011	311	573	82	1994
Republica Checa	3337	141	851	590	1755
Dinamarca	4485	852	1223	2359	51
Alemania	51046	9304	24414	15973	106
Estonia	473	17	117	243	35
Irlanda	2693	156	829	427	1028
Grecia	5585	209	869	0	4507
España	20151	3316	3393	2342	11101
Francia	33399	5764	7433	116	8603
Croacia	1654	28	270	0	1319
Italia	29524	5203	7649	5582	7819
Chipres	541	25	72	0	403
Letonia	857	47	182	0	494
Lituania	1300	132	298	150	702
Luxemburgo	356	70	101	121	63
Hungría	3712	231	963	525	1991
Malta	269	0	17	1	241
Países bajos	8855	2400	2179	4152	125
Austria	4836	1511	1196	1854	121
Polonia	10863	1750	2867	1439	4808
Portugal	4710	665	765	974	2307
Romania	4953	391	253	133	3558
Eslovenia	926	71	430	158	210
Eslovaquia	1784	130	136	191	1226
Finlandia	2738	341	770	1312	315
Suecia	4377	684	1417	2241	35
Reino Unido	31567	5124	8602	9907	7124
Islandia	175	15	37	7	116
Noruega	2187	365	572	1145	74
Suiza	6030	1256	1924	2850	0
Montenegro	332	0	18	0	304
FYROM	765	0	0	0	765
Serbia	1840	0	14	0	1360

	Generado	Compostado	Reciclado	Incinerado	Disposición en Relleno Sanitario
Bosnia y Herzegovina	1249	0	0	0	942
Unión Europea	242710	39774	69484	64399	62084
EEA	251102	41410	72017	68401	62274
Europa	255288	41410	72049	68401	65645

Fuente: Elaboración propia, Scarlat, N., et al, 2018.

De acuerdo con los datos de Scarlat 2018, en Europa, el 9,9% de los RSDyA son compostados, el 31,3% son reciclados, y el 27,2% son incinerados, lo cual va alineado con las necesidades que les han impuesto los reglamentos para llegar a las metas de reciclado, reúso y valorización de los residuos generados. (ver Tabla 4-3)

Información presentada por Kumar (2017), indica que los principales costos de inversión corresponden a plantas de Incineración y de Pirólisis (400 a 700 dólares, por tonelada de RSDyA al año que es procesada), con los costos operacionales de la Incineración, un poco menores que los de Pirólisis, con 40-70 y 50-80 dólares/tonelada de RSDyA a tratar por año, respectivamente.

Las plantas de Digestión Anaerobia poseen costos de inversión entre 50 a 350 dólares/ton de RSDyA a tratar por año, y costo operacional de 5 a 35 dólares/ ton de RSDyA a tratar por año y los Relleno Sanitario con recuperación de gas, poseen un costo de Inversión de 10-30 dólares/ton de RSDyA a tratar por año, costo operacional 1-3 dólares/ ton de RSDyA a tratar por año. Estas plantas son más baratas que las de tratamiento térmico en cuanto a costos, requerimiento técnico de profesionales, y productivo (generación de energía).

En países en desarrollo, incluidos Asia, el manejo de los RSDyA constituye uno de los principales gastos en los cuales incurren las autoridades de gobiernos locales (Aleluia, J., Ferrao, P. 2017). Dada esta situación, es que se han generado políticas para fomentar la gestión de los residuos:

- Bangladesh: se introdujeron políticas nacionales sobre los estándares de control de calidad del compost, para impulsar la confianza en agricultores.
- India: se entrega un subsidio a los productores de 22 dólares por tonelada de compost.
- Indonesia: Se implementan mecanismos de alimentación de energía, a aquellas plantas que poseen "cero desechos".
- Sri Lanka: Los pagos de la alimentación de energía están disponibles para aquellas empresas de conversión de RSDyA a energía. El pago de la cuota es directamente manejado por algunas municipalidades.
- Tailandia: se pagan algunas cuotas a aquellas empresas que procesen residuos en algunas municipalidades.
- Vietnam: existen regulaciones nacionales que restringen el uso de compost proveniente de los RSDyA para la agricultura, aunque algunas municipalidades poseen algunos programas que permiten la venta de estos compost, para la aplicación de jardines públicos.

Dentro del estudio realizado en Asia a 100 empresas nacionales, se identificó que las plantas con mayor capacidad de tratamiento correspondían a las de incineración, con un máximo de capacidad de tratamiento de 2.000 ton/día, y una media de 1.022 ton/día. El proceso de producción de RDF sigue en segundo lugar, con capacidad de producción máxima de 1.300 ton/día y una media de 389 ton/día. Luego se encuentran las plantas de compostaje, las cuales poseen una capacidad máxima reportada de 1.000 ton/día y una media de 258 ton/día. Para luego tener las de menor tamaño, que corresponden a las de digestión anaeróbica, con un tamaño máximo de capacidad de 600 ton/día y una media de 81 ton/día (Aleluia, J., Ferrao, P. 2017). Bajo este estudio, se puede visualizar claramente que, en Asia, también se prefiere la tecnología de tratamiento por incineración, por sobre las otras tecnologías disponibles en el mercado.

5 DIAGNOSTICO NACIONAL

5.1 Diagnóstico y Catastro Subdere

La situación chilena de RSDyA se presenta en el informe del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere, donde es posible distinguir entre el ingreso de proyectos para el tratamiento de residuos en el SEIA y el análisis de los datos de valorización de los residuos.

La cobertura urbana y rural de disposición de residuos en Chile es superior al 81% en todas las regiones, correspondiendo las menores coberturas a la Región de la Araucanía con un 81% y la Región del Ñuble con un 88,1%.

El país, posee Rellenos Sanitarios en todas sus regiones, con excepción de la Región de Los Ríos y la Región de Magallanes y la Antártica Chilena (ver Figura 5-1). Actualmente hay disponibles 128 sitios de disposición final, de los cuales, los rellenos sanitarios corresponden al 29,6%.

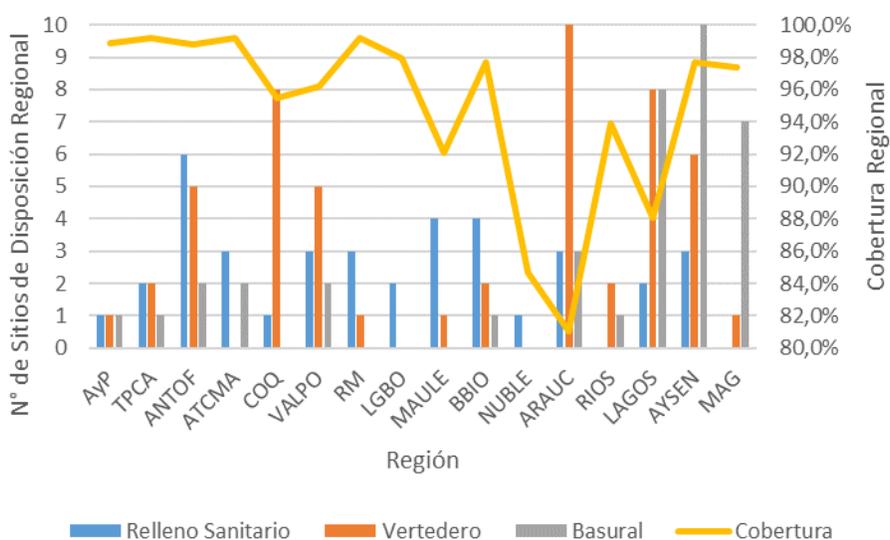


Figura 5-1. Análisis regional del número de sitios de disposición y la cobertura regional de recolección del año 2017.
Fuente: Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.

La centralización de Chile se refleja al contraponer la generación de RSDyA y el porcentaje de disposición de residuos a Rellenos Sanitarios (Ver Figura 6-2). La Región Metropolitana posee la mayor generación de residuos (3.133.510 ton/año), al igual que una de las mayores disposiciones en rellenos sanitarios (97,9%), seguida por la Región de Valparaíso, con una generación de residuos de 859.017 ton/año y una disposición en rellenos sanitarios de un 91,3%.

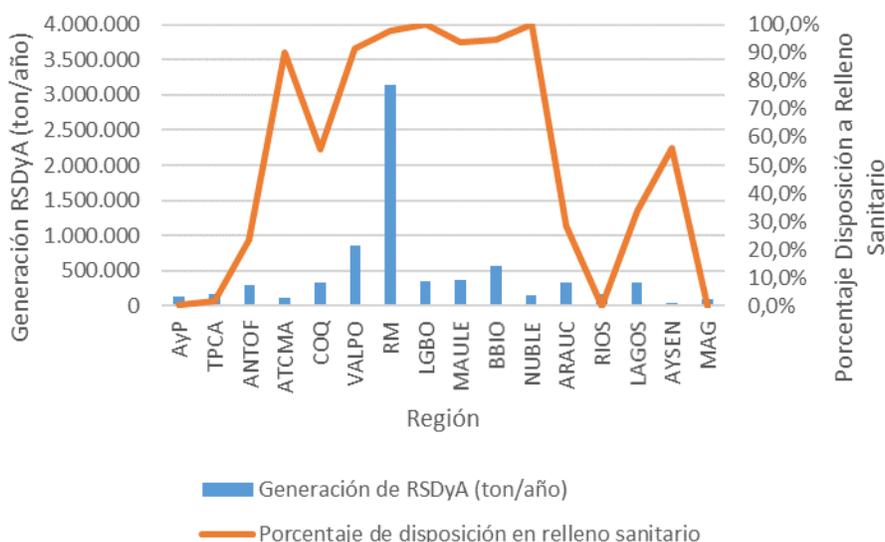


Figura 5-2: Generación de RSDyA (ton/año) y Porcentaje de disposición a Relleno Sanitario, por región año 2017.
Fuente: Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.

El escenario es completamente distinto al contrastar esas realidades entre las regiones de Arica y Parinacota, de Los Ríos y de Magallanes y la Antártica Chilena, en las cuales la disposición de residuos en Rellenos Sanitarios es muy baja o nula. La Región de Arica y Parinacota posee un Relleno Sanitario, pero cubre el 0,2% de la producción de residuos.

Al contrastar los ingresos obtenidos por derechos de aseo y los costos asociados al manejo de los RSDyA y otros, se puede apreciar que en todas las regiones de Chile se genera un déficit, pues los costos de disposición de los residuos son entre 1,99 a 7,22 veces superior a los ingresos generados por los derechos de aseo. Los costos por tonelada de residuos varían entre cada región por múltiples factores, entre los cuales se pueden destacar: contratos de servicios que se realiza con las compañías de gestión de residuos, localización de los sitios de disposición, el sitio de disposición final empleado (Relleno Sanitario, Basural o Vertedero), la cobertura de recolección y el volumen de generación de residuos (ver Figura 5-3). La localización de los sitios de disposición es de gran importancia, pues la distancia desde el sitio de generación al sitio de disposición varía de una comuna a otra, pudiendo alcanzar diferencias muy significativas que se traduce en que las empresas de recolección y transporte se encuentren un mayor porcentaje del tiempo en transporte hacia el sitio de disposición, que en la recolección de los residuos.

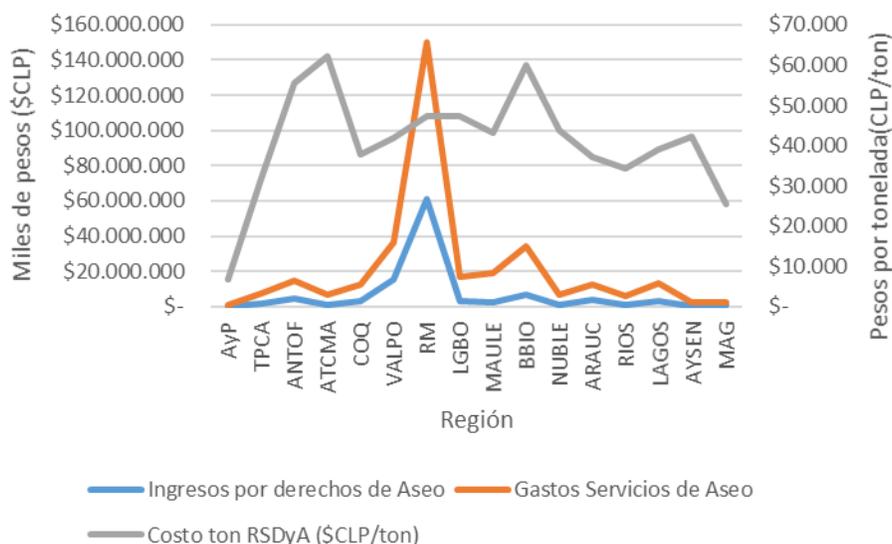


Figura 5-3: Costos e ingresos por el manejo de RSDyA año 2017.
Fuente: Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.

Se analizaron proyectos relacionados con la gestión de residuos, ingresados y aprobados en el SEA entre el periodo 2013 al 2019, donde se identificaron tres categorías: Rellenos Sanitarios, Centros de Tratamiento y Centros Valorización de Residuos. A continuación, se presentan los proyectos identificados:

5.2 Rellenos Sanitarios

- Relleno Sanitario Comuna de Diego de Almagro – Región de Atacama: es un proyecto que requiere de una inversión de 1,25 millones de dólares, y que puede atender a una población igual o mayor a 5.000 habitantes.
- Relleno Sanitario Santa Inés – Región de Tarapacá: es un proyecto que requiere de una inversión inicial de 3,787 millones de dólares, y que puede atender a una población igual o mayor a 5.000 habitantes.
- Relleno Sanitario de Pica – Región de Tarapacá: es un proyecto que requiere de una inversión inicial de 0,235 millones de dólares, y que puede atender a una población igual o mayor a 5.000 habitantes.
- Relleno Sanitario Comuna de Sierra Gorda – Región de Antofagasta: es un proyecto que requiere la inversión de 1,0697 millones de dólares, y que puede atender a una población igual o mayor a 5.000 habitantes.
- Relleno Sanitario Los Ríos – Región de Los Ríos: proyecto que requiere de una inversión de 18 millones de dólares y que puede atender a una población de 5.000 habitantes. El proyecto considera al relleno sanitario y el tratamiento de los lixiviados.

5.3 Centros de Tratamiento

- Centro de Tratamiento Integral de Residuos Sólidos de Alto Hospicio – Región de Tarapacá: puede abarcar 326.866 habitantes y se estima que, durante la vida útil del Centro de Tratamiento, se puedan recibir 4.625.889 toneladas, valorizando mediante el reciclaje y el compostaje, un 12,9% de los residuos. El proyecto requiere de una inversión de 19,8 millones de dólares.
- Centro de Manejo Ambiental Nuble Sustentable – Región del Biobío: es un proyecto que requiere de una inversión de 5 millones de dólares, que puede atender una población igual o mayor a 5.000 habitantes. Considera la construcción de una planta de reciclaje de residuos y un área de disposición final de residuos.
- Centro de Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables a Domiciliarios de la Comuna de Antofagasta – Región de Atacama: es un proyecto que requiere una inversión de 6,7 millones de dólares y que puede atender a una población igual o mayor a 5.000 habitantes. Considera la construcción de una planta de recuperación y reciclaje de residuos, una planta de compostaje, tratamiento del lixiviado y el sitio final de disposición.
- Centro de Manejo de Residuos Sólidos Malleco Norte – Región de La Araucanía: es un proyecto que requiere de una inversión de 3 millones de dólares, que puede atender a una población igual o mayor a 5.000 habitantes. Considera la construcción de un relleno sanitario y el tratamiento de los lixiviados producidos por el proceso.

5.4 Centros de valorización de residuos

- Planta de desarme y reciclaje de partes de vehículos y chatarra metálica.
Empresa: Ewaste Ltda. Inversión de 500 mil dólares, para una planta ubicada en la Región de Tarapacá.
- Planta de reciclaje de aceites, caucho y plásticos fuera de uso.
Empresa: Bionergia Spa. Inversión de 5 millones de dólares, para una planta ubicada en la Región Metropolitana de Santiago.
- Reciclaje de neumáticos para granulado.
Empresa: Sociedad Comercializadora Sanit Ltda. Inversión de 414 mil dólares, ubicado en la Región de Tarapacá.
- Planta de manejo, tratamiento y/o reciclaje de residuos.
Empresa: Tratamientos Líquidos y Sólidos Magallanes Spa. Inversión de 420 mil dólares, para una planta ubicada en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.
- Nueva planta de reciclaje y disposición de aceites vegetales.
Empresa: Bioils Spa. Inversión de 7 millones de dólares, para una planta ubicada en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.
- Planta de reciclaje de aceites derivados del petróleo.
Empresa: Franco Luchino Alfredo Andrei Said. Inversión de 596 mil dólares, para una planta ubicada en la Región Metropolitana de Santiago.
- Regularización planta de reciclaje de plástico, Comercializadora RECIPOL Ltda.
Empresa: Comercializadora RECIPOL Ltda. Inversión de 42° mil dólares, para una planta ubicada en la Región de Valparaíso.

Los sitios de disposición final de los residuos han incrementado con el tiempo. Estas tecnologías se enfocan principalmente, a incluir el reciclaje y compostaje de los residuos, además de estar ligados al cierre de vertederos y basurales. Por otra parte, al enfocarse en la valorización de residuos y su incremento en Chile, el ingreso de Centros de Tratamiento y de proyectos de valorización de residuos al SEIA, demuestra el enfoque a nivel empresarial y público, de buscar alternativas de tratamiento de los residuos. Respecto a la valorización de residuos en Chile presentada en la Etapa Global de inicio, se discutió el incremento que la valorización de residuos ha tenido en Chile, predominando la técnica de por reciclaje de los RSDyA y otros (incluye a la industria), con 4.059.209 ton/año procesadas el año 2017. La información recabada también indica que la valorización de la fracción orgánica por compostaje, es una de las tecnologías que predomina en Chile, con 1.060.487 ton/año procesadas el año 2017. Al analizar los datos de tratamientos de residuos que gestionan las Municipalidades y compararlos con las industrias, se puede notar que las principales diferencias en la valorización, corresponden al volumen total que se procesa por las técnicas de tratamiento alternativas a la disposición en Rellenos Sanitarios. En el sector Municipal se valorizaron 611.716 ton de residuos el año 2017, mientras que, en el sector industrial, se valorizaron 6.404.516 ton de residuos el año 2017 (Ver Tabla 5-1).

Tabla 5-1. Valorización de Residuos en Chile

Tipo de proceso de valorización	Cantidad procesadas (toneladas)	
	Sector Municipal	Sector Industrial
Compostaje	1.717	1.058.770
Degradación Anaerobia	0	10.306
Co-procesamiento	30.129	595.652
Incineración con recuperación de energía	556	129.632
Incineración sin recuperación de energía	300	386
Reciclaje, reúso y reducción	577.572	3.481.637
Valorizaciones varias	1.442	982.959
Otros procesos	0	145.174
Total	611.716	6.404.516

Fuente: RETC, 2017; ANIR, 2018.

6 ESTADO DEL ARTE DE LA GESTIÓN RSDYA

6.1 Valorización de RSDyA a nivel Internacional

El incremento de la densidad poblacional y la migración de la población rural a las áreas urbanas, en conjunto con la expansión industrial, conlleva a un aumento en la generación de residuos, produciendo un impacto a nivel socio económico y ambiental (Moya et al., 2017). La composición de los residuos dependerá directamente de las actividades del país y del nivel de ingresos que este posee. El proceso de gestión de los RSDyA varía entre los países que están en vías de desarrollo y los desarrollados, afectando en como recolectan, transportan y disponen los residuos.

6.1.1 Generación de Residuos

En el estudio del año 2012, el Banco Mundial estimó que la generación global de residuos fue de 1.300 millones de toneladas por año. Mientras que, en el año 2016, la generación de residuos alcanzó los 2.010 millones de toneladas (Moya, et al., 2017; Hoornweg, D y Bhada-Tata, P. 2012).

Los niveles de ingresos de los países están directamente relacionados a la generación de residuos, como tal, a mayor nivel de ingresos, mayor es la generación de residuos (ver la Tabla 6-1).

Tabla 6-1: Generación de residuos según nivel de ingresos

Manejo de RSU		Nivel de Ingresos		
		Bajo	Medio	Alto
Generación RSDyA (kg/cápita/día)		0,6-1,0	0,8-1,5	1,1-4,5

Fuente: Banco Mundial, 2018.

6.1.2 Recolección de residuos

La recolección de residuos es de vital importancia para mantener la salud pública en las ciudades, e implica la gestión de residuos desde los puntos de producción, hasta los puntos de tratamiento o disposición final. En promedio, la recolección de RSDyA puede alcanzar hasta un 41% en países de bajos ingresos, pudiendo llegar hasta el 10% en países como África; mientras que, en países con ingresos medios-altos alcanzan un 85% (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012). Además, estos valores difieren mucho entre las zonas urbanas y rurales (ver Tabla 6-2).

Tabla 6-2: Recolección de residuos según nivel de ingresos

Recolección RSU (%):	Nivel de Ingresos		
	Bajo	Medio	Alto
Urbano	48	71-85	100
Rural	26	33-45	98

Fuente: Banco Mundial, 2018

6.1.3 Composición de residuos

La composición de los residuos depende de factores como la cultura de la población, el desarrollo económico, el clima y las fuentes de energía. Estos impactos afectan en la toma de decisiones asociadas a su recolección y disposición final. En la Tabla 6-3 se observa que en los países con ingresos bajos se genera una mayor proporción de residuos orgánicos, mientras que los países con ingresos altos generan una mayor proporción de papel, plásticos y otros materiales inorgánicos. Tal como se ha señalado, la composición de los RSDyA depende del nivel de ingresos, donde la materia orgánica varía entre 75% para los países con bajos ingresos a un 36% para los países con altos ingresos.

Tabla 6-3: Composición de residuos según nivel de ingresos

Composición RSU (%):	Nivel de Ingresos		
	Bajo	Medio	Alto
Orgánico	64	57	28
Papel	5	12	31
Plástico	8	12	11
Vidrio	3	4	7
Metal	3	3	6
Otros	17	14	17

Fuente: Banco Mundial, 2018.

6.1.4 Disposición de residuos

En la disposición final, los países con ingresos bajos disponen sus residuos en Vertederos abiertos que pueden tener sus condiciones de operación controladas o no controladas. Por su parte, los países con niveles medios de ingresos cuentan con mayor cantidad de Vertederos controlados en conjunto con Rellenos Sanitarios. En el caso de los países de ingresos altos, predominan los Rellenos Sanitarios junto con el uso de tecnologías modernas y tratamientos más avanzados. En la Tabla 6-4 se muestran los porcentajes de uso de cada una de las tecnologías de disposición final de residuos por nivel de ingresos.

Tabla 6-4: Disposición de residuos según nivel de ingresos

Disposición RSU (%):	Nivel de Ingresos		
	Bajo	Medio	Alto
Vertedero	93	30-66	2
Relleno Sanitario	3	18-54	39
Compostaje	0,3	2-10	6
Reciclaje	3,7	4-6	29
Incineración	0	1-10	22
Otros métodos avanzados	0	0	2

Fuente: Banco Mundial, 2018.

6.2 Valorización de RSDyA en América Latina

La producción de RSDyA en América Latina y el Caribe, corresponde al 10% de los residuos generados a nivel global (Figura 6-1). En Latinoamérica, la distribución de los países según los ingresos corresponde a la siguiente clasificación:

- a) Ingresos bajos: Haití.
- b) Ingresos Medios Bajos: Bolivia, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Nicaragua y Paraguay.
- c) Ingresos Medios Altos: Argentina, Belice, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Ecuador, Granada, Jamaica, México, Panamá, Perú, República Dominicana, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía, Surinam y Venezuela.
- d) Ingresos Altos: Antigua y Barbuda, Bahamas, Barbados, Chile, San Cristóbal y Nieves, Trinidad y Tobago y Uruguay.

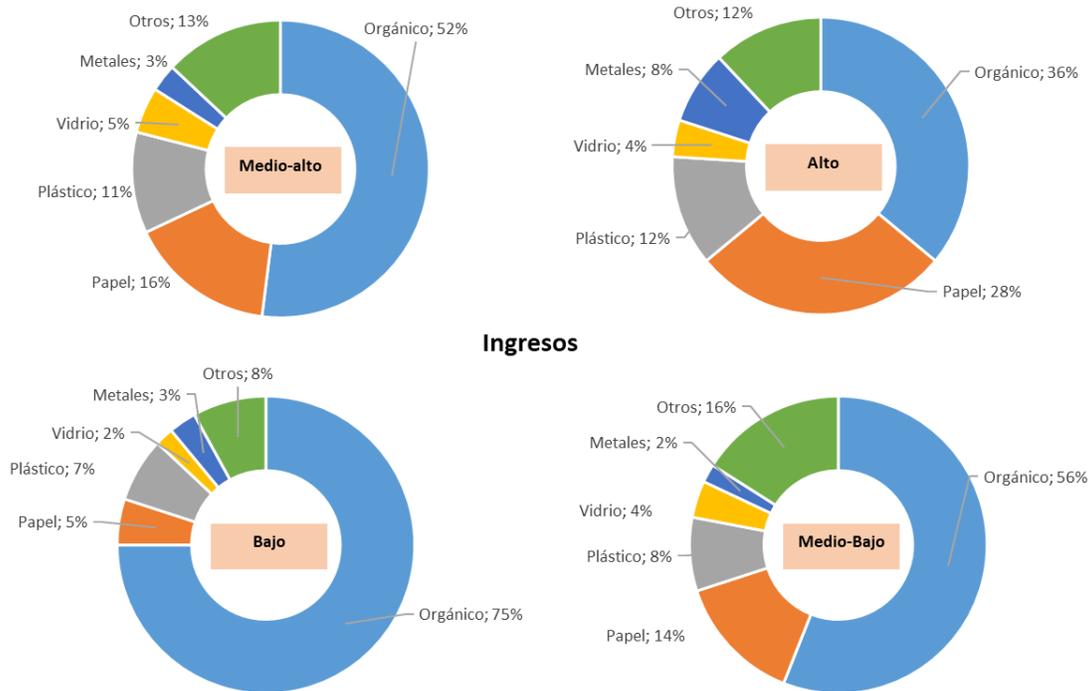


Figura 6-1. Variación en la composición de los RSDyA en función a los niveles de ingreso de los países.
Fuente: ONU, 2018.

En el año 2014, América Latina y el Caribe generaron más de 541.000 toneladas diarias de residuos. Se estima que para el 2050 se genere un incremento de un 25%. Kaza, S. et. al (2018) indica que en la región se generaron 0,99 kg/persona/día de RSDyA como promedio. Los datos que entrega el estudio de la ONU consideran que solo un 10% de los residuos generados son aprovechados, con tasas de reciclaje que varían entre un 1 a un 20%. Lamentablemente, más de 40 millones de personas carecen de acceso básico a servicios de recolección básicos y alrededor de una tercera parte (145.000 ton) de los residuos generados el año 2014 fueron dispuestos en basurales, generando altos impactos a nivel de salud y medio ambiente.

Una de las principales falencias regionales es su débil funcionamiento institucional, pues se han otorgado diferentes competencias a diferentes áreas de un mismo gobierno, entorpeciendo los esfuerzos que se desean realizar en la materia de reciclaje, con países que carecen de tratamientos especiales para residuos electrónicos, residuos clasificados como peligrosos, o residuos provenientes de actividades como construcción, alimentos y salud.

Las tecnologías de tratamientos de RSDyA que han sido aplicadas, se basan en los centros de tratamiento de Estados Unidos y Europa, pese a que plantas de tratamiento en México, Brasil y Uruguay no cumplen con las condiciones sanitarias para operar. Por otra parte, plantas de compostaje en México (Puebla), Colombia (Medellín), Argentina (Rosa Rio), y Haití (Port-au-Prince), han debido cerrar porque no existe un mercado para el compost que producen. Esta última situación demuestra los problemas con el modelo de negocios de las empresas, que aún deben aprender a operar en este nuevo tipo de mercados.

En Argentina destaca el complejo ambiental Norte III en Buenos Aires conformado por 12 plantas de separación manual de RSDyA, creada para la inclusión social de recicladores (ONU, 2018). Por su parte, la sección productiva posee: 1 planta de reciclaje de neumáticos que procesa 700 toneladas mensuales de RSDyA, 1 planta de compostaje que recibe 800 toneladas mensuales de residuos verdes, 1 planta de tratamiento mecánico biológico, que recibe 1.100 toneladas al día, 2 plantas de desgasificación con antorchas y 2 plantas de desgasificación que generan 15 MWh de energía. Todas las plantas de desgasificación se encuentran registradas en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

En Brasil, los municipios recolectaron un total de 264.800 toneladas de RSDyA en el año 2014 (incremento del 5%, respecto al año anterior). El destino de estos residuos correspondió a incineración (44,5%), autoclave (21,9%) y microondas (2,5%). El 21,1% restante tuvo como destino final, una disposición en rellenos sanitarios, zanjas sépticas y basurales (Abrelpe, 2014). Para fomentar el reciclado, Brasil creó un protocolo basado en la política europea, que se llama Política Nacional de Residuo Sólido (PNRS). Esta política induce el cierre de los vertederos en Brasil, e impulsa alternativas para reducir la emisión al medio ambiente, reduciendo a la par, la cantidad de residuos que se destinaban a vertederos. Tras el cierre de un vertedero en el Municipio de Sao Paulo, más del 97,5% de los RSDyA producido (1.300 ton/d) fueron destinados a ciudades vecinas. El proceso de producción de biogás e incineración permitió producir 817,2 MWh, suficiente para 2.783 residencias con requerimientos de 216 kWh/mes. El mejor escenario correspondía a la biodigestión, por la incineración de los RSDyA, pues puede producir hasta 35 veces más energía (28.991 MWh), lo cual permite satisfacer las necesidades de 134.217 casas (Lino, F, 2016).

6.3 Valorización de RSDyA en Europa, Estados Unidos y Asia

Para acelerar la transición hacia una economía circular, el Parlamento Europeo ajustó las metas propuestas para el reúso y reciclado de los RSDyA, definiendo al menos un 60% para el 2025 y un 70% para el 2030. Para el 2013 se se impusieron metas para el reciclaje y reúso de sus materiales, tales como: madera (75%), metales ferrosos (85%), aluminio (85%), vidrio (85%), y papel y cartón (85%). A continuación, en la Figura 6-2, se presenta la composición media de los RSDyA para Europa y Asia Central.

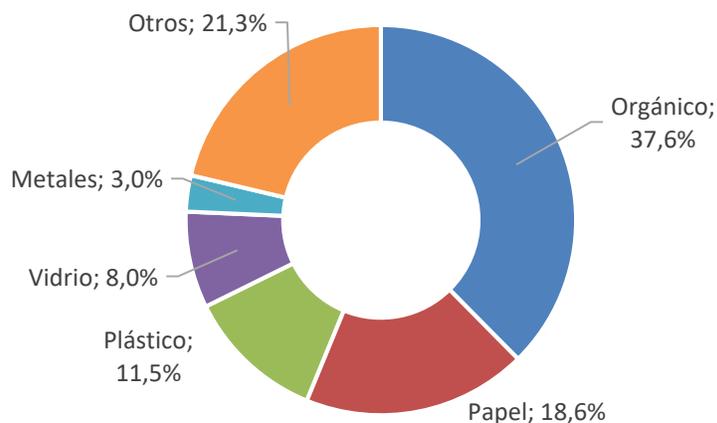


Figura 6-2: Composición de RSDyA y Otros en Europa y Asia Central.

Fuente: Kaza, S. et al, 2018.

En Europa y Asia Central, la producción de residuos alcanza en promedio 1,28 kg de RSDyA y Otros por cápita por día. La cobertura de la recolección de residuos es de un 90% como promedio, con una recolección del 96% del sector urbano y de un 55% para el sector rural (Kaza, S. et al 2018). Debido al incremento de reglamentos y políticas que impulsan el reciclaje y otras tecnologías de valorización de residuos, del total de RSDyA y otros generados, un 21,4% se disponen en rellenos, y un 25,6% en vertederos de techo abierto (Kaza, S. et al 2018)

La producción de energía a partir de los RSDyA es atractiva para Europa, pues no solo genera una reducción del volumen de los residuos, sino que también provee una fuente local de generación de energía renovable (ver Tabla 6-5), disminuyendo las emisiones de carbono (Smith, A., et al, 2001). En el 2016, se identificaron 1688 plantas de generación de energía a partir RSDyA a nivel mundial de las cuales 512 plantas de tratamiento de RSDyA están ubicadas en Europa: 251 plantas corresponden a producción de calor y energía combinada, 161 para producción de solo electricidad, y 94 plantas para la producción de solo calor, las cuales proveen una capacidad de incineración de 93 millones de toneladas; por su parte, Japón posee alrededor de 922 plantas seguido por China con 166 y Estados Unidos con 88 (Scarlat, N., et al. 2018; Zhang., et al, 2015; WTERT; Eurostat., 2017; ISWA, 2013; ETC/SCP, 2014; Coenrady, C; SVDU; ITAD). El análisis de sustentabilidad hecho por Scarlat, identifica que hay un potencial de implementar 330 nuevas plantas de tratamientos de residuos para generar energía en Europa, con una capacidad de tratamiento de 50 millones de toneladas, y generación de 352 PJ (8,4 Mtoe).

Tabla 6-5: Distribución del destino de los RSDyA en países europeos al año 2015.

Países	Generado (Mt)	Compostado (Mt)	Reciclado (Mt)	Incinerado (Mt)	Disposición en Relleno Sanitario (Mt)
Bélgica	4708	901	1615	2043	43
Bulgaria	3011	311	573	82	1994
Republica Checa	3337	141	851	590	1755
Dinamarca	4485	852	1223	2359	51
Alemania	51046	9304	24414	15973	106
Estonia	473	17	117	243	35
Irlanda	2693	156	829	427	1028
Grecia	5585	209	869	0	4507
España	20151	3316	3393	2342	11101
Francia	33399	5764	7433	116	8603
Croacia	1654	28	270	0	1319
Italia	29524	5203	7649	5582	7819
Chipres	541	25	72	0	403
Letonia	857	47	182	0	494
Lituania	1300	132	298	150	702
Luxembourgo	356	70	101	121	63
Hungría	3712	231	963	525	1991
Malta	269	0	17	1	241
Países bajos	8855	2400	2179	4152	125
Austria	4836	1511	1196	1854	121
Polonia	10863	1750	2867	1439	4808
Portugal	4710	665	765	974	2307
Romania	4953	391	253	133	3558
Eslovenia	926	71	430	158	210
Eslovaquia	1784	130	136	191	1226
Finlandia	2738	341	770	1312	315
Suecia	4377	684	1417	2241	35
Reino Unido	31567	5124	8602	9907	7124
Islandia	175	15	37	7	116
Noruega	2187	365	572	1145	74
Suiza	6030	1256	1924	2850	0
Montenegro	332	0	18	0	304

Países	Generado (Mt)	Compostado (Mt)	Reciclado (Mt)	Incinerado (Mt)	Disposición en Relleno Sanitario (Mt)
FYROM	765	0	0	0	765
Serbia	1840	0	14	0	1360
Bosnia and Herzegovina	1249	0	0	0	942
Union Europea	242710	39774	69484	64399	62084
EEA	251102	41410	72017	68401	62274
Europa	255288	41410	72049	68401	65645

Fuente: Scarlat, N., et al, 2018. EEA: European Economic Area.

Según Scarlat (2018), en Europa el 9,9% de los RSDyA son compostados, el 31,3% son reciclados, y el 27,2% son incinerados, lo cual va alineado con las necesidades que les han impuesto los reglamentos, para llegar a las metas de reciclado, reúso y valorización de los residuos generados. Kumar (2017) muestra los principales costos correspondientes a las plantas de Incineración y Pirólisis: los costos de inversión corresponden a 400 a 700 dólares/tonelada/año de residuos, los costos operacionales son de 40-50 y 70-80 dólares/tonelada/año de residuos respectivamente.

Las plantas de Digestión Anaerobia poseen un costo de inversión entre 50 a 350 dólares/ton/año y un costo operacional de 5 a 35 dólares/ton/año, por su parte, los de Rellenos Sanitarios con recuperación de gas poseen un costo de Inversión de 10-30 dólares/ton/año y un costo operacional 1-3 dólares/ ton/año.

En América del Norte, se genera la mayor producción promedio de residuos con 2,21 kg/cápita/ día (Kaza, S. et al 2018). La cobertura de sus programas de recolección de residuos alcanza un 99,7%, con una disposición en rellenos sanitarios, que alcanza al 54% del total de residuos generados (Kaza, S. et al 2018). En la Figura 6-3 se presenta la composición de residuos de Norte América.

Estados Unidos al año 2014, reportó que se generaron 258 millones de toneladas de RSDyA, de los cuales, 136 millones de ton fueron dispuestas en rellenos sanitarios, 89 millones fueron recicladas y empleadas para generar compost, y 33 millones fueron quemados, para la generación de energía. A esa fecha, la generación de energía llego a 14.310,2 GWh (US EPA). Para Estados Unidos, la disposición final en rellenos sanitarios es una opción viable, por su bajo costo económico comparado con una planta de tratamiento de RSDyA (Scarlat, N. et al., 2018).

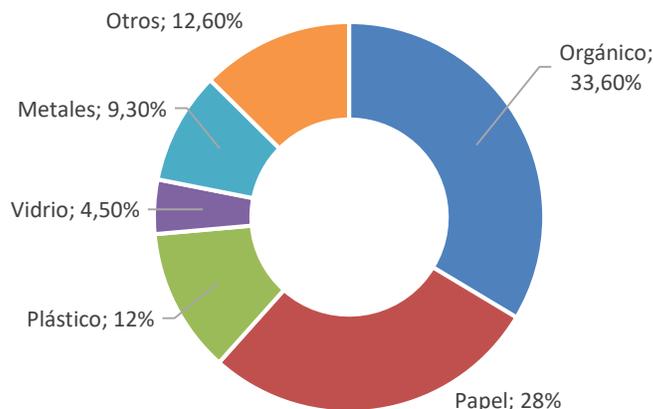


Figura 6-3: Composición de RSDyA y Otros de Norte América.

Fuente: Kaza, S. et al., 2018.

En el caso de China, la incineración ha sido predominante desde su introducción en 1980, debido a la disponibilidad de tierra y limitaciones ambientales, al igual que la producción de energía (Scarlat, N., et al, 2018). Entre el año 2013 y 2014, la capacidad de las plantas de producción de energía desde residuos llegó a 46 millones de toneladas al año, y una generación de energía de 18,7 billones de kWh (Scarlat, N., et al, 2015).

En países en desarrollo, incluidos Asia, el manejo de los RSDyA constituye uno de los principales gastos en los cuales incurren las autoridades de gobiernos locales (Aleluia, J., Ferrao, P. 2017). Dada esta situación, es que se han generado políticas para fomentar la gestión de los residuos:

- Bangladesh: introdujo políticas nacionales sobre estándares de control de calidad del compost, para impulsar la confianza en agricultores.
- India: entrega un subsidio de 22 dólares por tonelada de compost a los productores.
- Indonesia: implementa mecanismos de alimentación de energía a aquellas plantas que poseen “cero desechos”.
- Sri Lanka: entrega pagos en alimentación de energía para aquellas empresas que hagan conversión de residuos a energía. El pago de la cuota es directamente manejado por algunas municipalidades.
- Tailandia: pagan algunas cuotas a aquellas empresas que procesen residuos en algunas municipalidades.
- Vietnam: existen regulaciones nacionales que restringen el uso de compost proveniente de los RSDyA para la agricultura, aunque algunas municipalidades poseen algunos programas que permiten la venta de estos compost, para la aplicación en jardines públicos.

En la Figura 6-4 se presenta la composición de residuos del Este de Asia y el pacífico. Kaza, S. et al (2018), indica que se generan 0,96 kg/cápita/día de RSDyA.

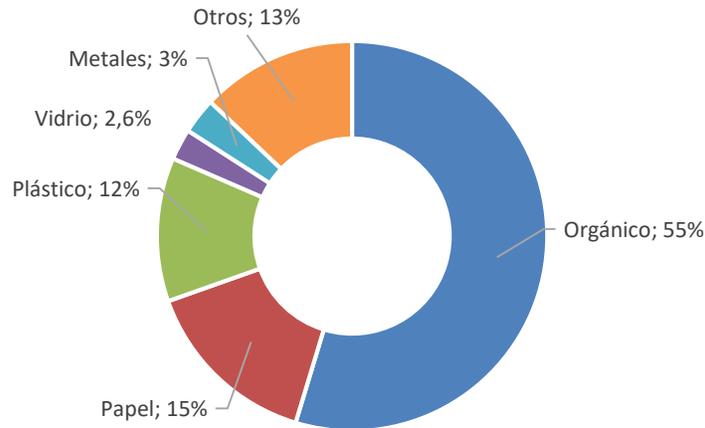


Figura 6-4: Composición de residuos en el Este de Asia y el Pacífico.
Fuente: Kaza, S. et al., 2018

En el este de Asia y el Pacífico, la cobertura de recolección es de un 71% como promedio, entre la recolección urbana (77%) y la recolección rural (45%) (Kaza, S. et al 2018). Del total de residuos generados, un 48% es dispuesto en rellenos sanitarios, y un 18% es dispuesto en vertederos de techo abierto (Kaza, S. et al 2018). En el sur de Asia, la generación de residuos es de 0,52 kg/cápita/día de residuos (Kaza, S. et al, 2018). En la Figura 6-5.5 se presenta la composición de residuos del Sur de Asia.

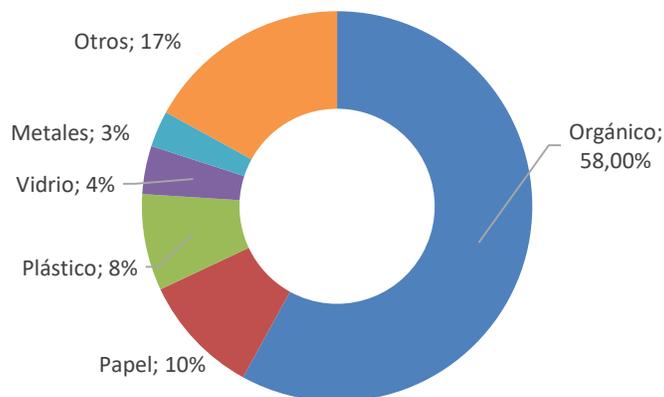


Figura 6-5: Composición de residuos en el Sur de Asia.
Fuente: Kaza, S. et al., 2018.

La cobertura de recolección en el Sur de Asia es de un 44% como promedio, con modalidad de recolección de puerta en puerta (Kaza, S. et al 2018). Del total de residuos generados, un 75% es dispuesto en vertederos a cielo abierto y un 4% es dispuesto en rellenos sanitarios (Kaza, S. et al 2018).

Dentro del estudio realizado a países asiáticos (97 empresas) se identificó que las plantas con mayor capacidad de tratamiento correspondían a las de Incineración, con un máximo de capacidad de tratamiento de 2.000 ton/día, y una media de 1.022. El proceso de producción de RDF sigue en segundo lugar, con capacidad de producción máxima de 1.300 ton/día y una media de 389 ton/día. Luego se encuentran las plantas de Compostaje, las cuales poseen una capacidad máxima reportada de 1.000 ton/día y una media de 258 ton/día. Las de menor tamaño, corresponden a las de Digestión Anaeróbica, con un tamaño máximo de capacidad de 600 ton/día y una media de 81 ton/día (Aleluia, J., Ferrao, P. 2017). Bajo este estudio, se puede visualizar claramente que, en Asia, también se prefiere la tecnología de tratamiento por Incineración, por sobre las otras tecnologías disponibles en el mercado.

A nivel administrativo en las Regiones de Asia y el pacífico, los sistemas de gestión de residuos se están privatizando en las municipalidades y ciudades, desarrollando sistemas por los cuales se pueda controlar la calidad del servicio y las responsabilidades de los actores. Estos tipos de operaciones que se están implementando, buscan reducir la superposición de responsabilidades, siendo fuertemente financiado el sistema de gestión de residuos por subsidios (Kaza, S. et al 2018).

A nivel mundial, la gestión de los residuos corresponde a una responsabilidad de los gobiernos locales, los cuales supervisan la gestión del 70% de los residuos, en modalidades de operación que también pueden incluir: acuerdos intermunicipales, mezcla de entidades público privadas o compañías privadas (Kaza, S. et al 2018). Estos modelos pueden operar de la siguiente manera (Kaza, S. et al 2018):

- a. Modelo de Administrativo - la supervisión del sistema es administrada por una entidad o entidades: descentralizadas (jurisdicción local), intermunicipales (dos o más municipios coordinados), municipal, mixto público privado u otro (privado, no gubernamental, o sistema no formal).
- b. Modelo de Operación - la gestión del servicio de residuos sólidos puede ser: directa (la organización es contratada directamente con el generador), descentralizada, intermunicipal, municipal, modelo mixto público privado u Otros.
- c. Acuerdo Contractual – acuerdo para la provisión de los servicios de gestión de los residuos sólidos: servicios municipales, concesión, licitación (gobierno contrata exclusivamente a privado/s por largos periodos, para la provisión de servicios en un área), arriendo (el proveedor privado le paga a la municipalidad, por el uso de los activos disponibles), gestor (gobierno contrata a operador privado para operar la planta), u otros.

El modelo de operación de los sistemas de gestión y tratamiento de los RSDyA, en aquellos países de bajos ingresos, es subsidiar la operación con los fondos nacionales o locales (municipalidades, alcaldías, y ayuntamientos). Los gobiernos locales proporcionan un 50% de su aporte en inversiones relacionadas a los servicios relacionados a los RSDyA, con el resto del aporte, entregado por el gobierno a partir de subsidios o el sector privado (Kaza, S. et al. 2018).

7 ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA

7.1 Aspectos generales del análisis de la industria

Para efectuar el análisis de la Situación actual en Chile respecto de la Gestión de los RSDyA, se analizarán las principales características correspondientes a la gestión de residuos del sistema público, las principales características de las tecnologías de valorización de residuos, y las principales características del escenario como país, respecto a la gestión de residuos y su tratamiento.

Para el análisis de estos tres enfoques, se empleará un análisis FODA para el análisis del sistema público, un análisis de PORTER para el análisis de las tecnologías de valorización, y un análisis PESTEL, para analizar el escenario como país, de la gestión y tratamiento de los residuos.

Algunas de estas aseveraciones serán progresivamente revisadas y ampliadas en la Etapa 2 del proyecto, en una jornada de discusión con diferentes actores claves.

Se hace notar que ninguno de los métodos propuestos es autosuficiente para comprender el Estado del Arte, como tampoco para diseñar políticas institucionales sobre los RSDyA. Por ello se debe entender que cada uno aporta elementos de juicio distintos que permiten generar una visión integral para el posible desarrollo de la industria.

7.2 Análisis FODA - Sistema Público

Fortalezas:

- Los RSDyA son un recurso valorizable no explotado en el país, que posee un bajo precio y se encuentra disponible en grandes cantidades. Asimismo, no hay restricciones tecnológicas en una gama amplia de la escala productiva.
- La cobertura del sistema nacional de gestión de residuos sólidos se considera alta, superior al 80%, lo que asegura que exista materia prima para posibles industrias derivadas.
- Seis de las dieciséis regiones de Chile poseen sistemas de gestión con una disposición a Rellenos Sanitarios, que es superior al 90%, cifra aún baja que permite observar que hay espacio para mejorar esta industria.
- Hay variedad de acciones donde caben mejoramientos sustanciales. Por ejemplo, los municipios no ofrecen frecuencias de recolección aceptables, excepto en comunas de altos ingresos. Los RSDyA se recolectan en bolsas o en contenedores, desapareciendo la recogida a granel. La recolección en el país en sus ciudades de mayor concentración de población, tiende a una recolección mediante contenedores. En estas actividades se observa que falta tecnología de mejor desempeño y, por otra parte, hay ausencia de estándares nacionales.
- Se dispone de la caracterización cualitativa y cuantitativa de los residuos lo que permite contar con los antecedentes más importantes para la propuesta de una adecuada gestión de los residuos. Pese a ello es necesario reforzar el análisis y caracterización de los RSDyA.
- Las encuestas y proyectos pilotos muestran una clara tendencia, en la cual la población presenta conciencia e interés en participar en una gestión de residuos en la que se considere, por ejemplo, una recogida segregada.

Oportunidades:

- Reforzar y mejorar el cumplimiento del DS N°189, que aprueba el reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los Rellenos Sanitarios.
- Se necesitan nuevos sitios de disposición final de tercera generación, tales como rellenos sanitarios con sólo materia orgánica para generación de biogás o disposición de solo rechazos, luego de implementar centros de acondicionamiento de residuos segregados en origen y/o centros de acopio.
- Hay necesidad de implementar Centros de Tratamiento que permitan tener diferentes opciones de valorización de los residuos que gestionan las Municipalidades, empleando las Mejores Técnicas Disponibles (MTD).
- La recolección en contenedores permite proponer dentro de la cadena de gestión de residuos, la valorización de los RSDyA y otros, implementando la recogida segregada.
- Si se dispone de los datos duros de composición, humedad, densidad, granulometría y poder calorífico, entre otros, se podrá lograr una mejor elección del modelo de gestión de residuos.
- La implementación de la ley REP generará mayores instancias de segregación de residuos.
- Hay buenos ejemplos de proyectos intercomunales, lo que permite obtener una escala que da respuesta a los métodos de gestión con diferentes tecnologías.

Debilidades:

- Siete de las dieciséis regiones de Chile poseen una disposición en Rellenos Sanitarios inferior al 40%, produciéndose escenarios con una disposición inferior al 2%, en cuatro de estas siete regiones.
- De estas cuatro regiones, hay dos que no poseen Rellenos Sanitarios, predominando la disposición en vertederos y basurales (Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.).
- El modelo actual de gestión de residuos genera pérdidas a las Municipalidades, con gastos que superan a los ingresos por 1,99 a 7,22 veces (Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.).
- Los métodos de gestión implementados por los Municipios, carecen de análisis técnicos económicos que permitan establecer el valor real de recolección, transporte y disposición final de residuos.
- Falta mejorar la gestión de los Municipios, los cuales no cuentan con planes integrales de gestión de residuos, además de concesionar la gestión sin participación ciudadana. Existe un déficit de capacidad técnica, en especial, en las comunas de menor tamaño.
- Dada las características topográficas de cada región, deja en evidencia los problemas de conectividad para establecer puntos mancomunados. Esta situación puede afectar en gran medida la factibilidad económica de la implementación de alternativas de disposición final.

Amenazas:

- Las regiones que no poseen sitios de disposición que cumplan con el DS N°189 del 2008, pueden generar problemas a la salud y seguridad de la población, debido a la atracción de vectores y la generación de malos olores.
- En los siguientes 10 años, se cierran 7 Rellenos Sanitarios y un Centro de Tratamiento de residuos, por lo que se requieren analizar alternativas de tratamiento y disposición de residuos (Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.). Dada las circunstancias actuales, es complejo disponer de nuevos sitios para futuros Rellenos Sanitarios.

- Las amenazas que no permiten la implementación de tecnologías de tratamiento, corresponden principalmente al: volumen generado de residuos, las distancias de transporte y la calidad del residuo.
- Una amenaza seria, es que después de haber escalado en la contención total de los residuos en Rellenos Sanitarios o Vertederos controlados, se siga insistiendo en este método como única solución, sin tratar de escalar en la solución de acuerdo con las políticas ambientales vigentes.
- No evaluar desde un punto de vista técnico, ambiental social y económico, las diferentes alternativas, dejándose llevar por propuestas foráneas con respuestas ambientales importantes, las que solo se conocen en proyectos pilotos.
- Una oferta de tecnologías extranjera que considera evaluaciones que no responden a la realidad del país, y que incluso, no han sido probadas a escala industrial. Muchas de las tecnologías que aparentemente son una gran solución, han sido implementadas en países desarrollados basadas en subsidios, que, en el caso europeo, alcanzan hasta el 70% del valor operacional del proyecto. Existe un riesgo de generar proyectos a partir de tecnologías ofrecidas por proveedores en un mercado de baja transparencia.
- En los países que están en procesos de desarrollo, no siempre se considera prioridad disponer de mejores tratamientos de residuos. Chile tiene déficit en temas sociales, de infraestructura y productivos que consumen la mayor parte de los recursos. Debe tomarse en cuenta que la mayor parte de la población no paga por la basura que genera, y que en general, los Municipios tratan de minimizar estos gastos, donde la obligación es esencialmente sanitaria y no ambiental.
- Oposición social a ciertos tipos de empresas, donde se manifiestan contrarios a su instalación en las cercanías de sus lugares de residencia (Not in my Backyard).

7.3 Análisis de Porter - Reciclaje y Valorización

Poder de negociación de los proveedores:

- El residuo sólido urbano, requerido por la empresa recicladora para implementar su proyecto, requiere de ciertas condiciones, tales como la cantidad y la calidad. Los proveedores de servicios pueden establecer estándares limitantes al desarrollo del negocio.
- Dada la forma en que se genera el residuo, se requiere de una segregación en origen o una acumulación en determinado punto o contenedor. Esta situación lleva a negociar con la denominada empresa informal que es sustentada por los denominados “cachureros”, hoy considerados en la ley como recicladores de base.
- Los consumidores deben ser vistos como agentes activos del desarrollo de esta industria. Es necesaria su participación en la segregación en origen y en el desarrollo de una cultura del reciclaje y la economía circular.
- Los Municipios sólo tienen poder de negociación en el llamado a propuesta para cumplir con el mandato por ley que tiene el alcalde.
- La situación actual de trabajo les impide usar tecnologías de punta, por falta de planes de manejo que le definan las mejores técnicas disponibles, además de no contar con los recursos para la implementación.
- El poder negociador sólo se basa en los adicionales que oferta la empresa.

Rivalidad entre competidores

- El mercado de RSDyA es prácticamente monopolístico, donde hay escasos competidores. La valorización de residuos ofrece espacio para competidores, todo ello dependiendo de la escala de producción. Es importante generar capacidades de asociación (cluster) que permitan la economía de escala.
- La rivalidad observada por la empresa, no se centra en la valorización. El valor del negocio está en adjudicarse la recolección y la disposición final, lo que obviamente al ser licitados por las toneladas recogidas, recolectadas o dispuestas, no existe interés por parte de la empresa para establecer una minimización. Solo existe la posibilidad que evolucionen hacia la recogida segregada, situación no desencadenada al no observarse una clara demanda por cada una de las fracciones.
- Se observa una competencia entre empresas, las que se implementan bajo el alero de “beneficios” (Coaniquem). Las empresas se concentran en determinados puntos, directamente asociado a la generación de residuos, y la cantidad que hace rentable en primer lugar el transporte y luego los subproductos.
- Existen múltiples empresas nacionales e internacionales que tratan de capturar el negocio de más alta rentabilidad, el cual se lleva un 70% del costo de la gestión de residuos. Este negocio corresponde al transporte de residuos.
- El transporte, al igual que la disposición, servicios que se pagan por tonelada, no incentivan a la minimización, ni menos al reciclaje.

Amenazas de entrada de nuevos competidores

- De las empresas que involucran al sector, ninguna de ellas alcanza una rentabilidad atractiva. Por este motivo se observa mínima venta de tecnología y un mercado incipiente para nuevos negocios.
- La negociación entre proveedores es muy baja. No existen antecedentes que muestren esta posibilidad, no hay registros de conflictos entre competidores, salvo algunas situaciones hace años en la Región Metropolitana de Santiago. Cabe considerar que los proyectos no responden a una evaluación privada y son considerados proyectos sociales
- Las empresas dedicadas a tratamiento de residuos deben ser innovadoras no solo en tecnología, sino en su gestión comercial, donde pueden ofrecer nuevos tratos a Municipalidades y usuarios. Este planteamiento aún no se observa, lo que limita el desarrollo de proyectos.
- En el mercado mundial se observa un sostenido crecimiento del número de empresas dedicadas a residuos, que además van abriendo nuevos mercados con productos novedosos. Es esperable que esta situación se replique en Chile.

Amenazas de productos sustitutos:

- Si el producto es energía, la amenaza más cercana son todas las fuentes de ERNC, y en particular la biomasa. En la medida que los precios de ERNC provenientes de viento y sol bajan, se hace difícil competir con biogás.
- En la tecnología de reciclaje no existe una amenaza de otros productos reciclados. Es importante ofrecer una amplia gama de opciones, con distintos productos.

7.4 Análisis de PESTEL – Perspectiva de País

Variables políticas:

- El Acuerdo de Cooperación Ambiental Chile Canadá impulsa el estudio y la aplicación de tecnologías de valorización de residuos, enfocados al tratamiento de la materia orgánica. Bajo este enfoque, se está potenciando en Chile el uso del Compostaje y la Digestión Anaerobia.
- El Plan de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014 al 2018 del Ministerio de Medio Ambiente, limita la implementación de tecnologías que emitan MP 10 y MP 2,5 en diferentes comunas.
- Chile ha firmado diferentes convenios internacionales para apalancar el abatimiento de la materia orgánica, el principal problema en la gestión de residuos. Un ejemplo de un convenio internacional, corresponde a NAMAS.
- Desde el punto de vista institucional, existe un gran impulso hacia las ERNC, a lo que se suman las políticas ambientales y sociales que se realizan a través del Estado, todo lo cual favorece el desarrollo de proyectos relacionados con residuos, incluyendo los urbanos. Se estima que se crearán nuevas empresas de reciclaje con apoyos Municipales y de distintos Ministerios. Por otra parte, la gestión de RSDyA que se efectúa en Chile está a cargo de las Municipalidades, al igual que la mayoría de los países desarrollados, siendo coincidentes algunos de los problemas que se han identificado.
- Respecto de subvenciones, no existe una política explícita hacia estos mecanismos de apoyo a la industria, sin embargo, se hacen esfuerzos para mejorar las condiciones de pymes, algunas de las cuales podrían buscar un espacio de desarrollo en el reciclaje. En general, la recogida de RSDyA está financiada por el Estado, a través de las Municipalidades, lo que es un factor a considerar en proyectos nuevos.
- Las resistencias locales son escasas y más bien apuntan hacia la dificultad de disponer residuos en las comunas por la oposición de las comunidades, sin embargo, la población va adquiriendo progresivamente mayor conciencia ecológica.

Variables económicas:

- De acuerdo con datos del SEIA, los principales proyectos corresponden a Rellenos Sanitarios, y Centro de Tratamiento. Las inversiones que están dispuestos a realizar llegan a los 20 millones de dólares, cifra relativamente modesta frente a la problemática nacional de gestión de residuos y al valor de los proyectos de valorización.
- Las tecnologías de Incineración, Gasificación, Pirólisis y Digestión Anaerobia generan energía mediante el tratamiento de los residuos. Estas tecnologías se encuentran con una barrera en su implementación, debido al costo de la venta de la electricidad. La inclusión de las tecnologías renovables en el mercado Spot, ha hecho que disminuya fuertemente el CM_g . Actualmente, su valor se encuentre entre 41,26 a 34,61 USD/MWh (Coordinador Eléctrico Nacional, 2019).
- Según el SEIA, en los últimos 7 años, la inversión total de proyectos de valorización de residuos corresponde a 14,38 millones de dólares, y la disposición final de los residuos corresponde a 58,84 millones de dólares. Por su parte, las Municipalidades y empresas han invertido por proyecto de disposición y valorización de residuos, montos entre 1,25 a 20 millones de dólares. El de mayor valor, corresponde al Centro de Tratamiento Integral, que considera el tratamiento anual de 231 mil toneladas y su valorización. Cabe considerar que una planta Digestión Anaerobia de 300.000 ton/año, tiene un CAPEX cercano a 15 millones de dólares, mientras que una planta de incineración de 330.000 ton/año requiere 180 millones de dólares (*Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana*,

del Ministerio de Energía - 1261-5-LP17). La inversión nacional es aún baja, lo que podría mejorar con un marco de referencia específico en este campo para nuevas inversiones, incluyendo las opciones de asociación pública privada.

- Respecto de factores macroeconómicos, no existen elementos de juicio para definir qué factores podrían estar afectando a la industria, sin embargo, temas contingentes que afectan a todo emprendimiento se refieren al efecto de impuestos y de las reformas tributarias, además de la disposición de inversión que exista en el país.

Variables sociales:

- Socialmente, el reciclaje y el compostaje son medidas de valorización de residuos conocidas por la población, que permiten que se involucren las personas en la cadena de la gestión de los residuos y conocer directamente los impactos generados.
- Los habitantes no se sienten cómodos viviendo cerca de focos de generación de malos olores. La generación de malos olores se puede producir por la operación de vertederos y basurales, al igual que durante el tratamiento biológico de los RSDyA y otros, cuando no se controlan sus variables operativas y de almacenamiento.
- El factor más complejo es la oposición de la población hacia rellenos sanitarios en sus cercanías. Existe una mala imagen de estas empresas que contribuye negativamente a su aceptación social, lo que se refuerza por eventos que han causado alarma pública, como vertidos, incendios y bajo control de vectores.
- Un elemento a favor es la mayor conciencia ecológica de la población, lo que puede generar disminuciones de residuos, aumento de reciclajes y menor oposición a proyectos ambientalmente sustentables.

Variables tecnológicas:

- Las tecnologías de Compostaje, Reciclaje, Digestión e Incineración son las más ampliamente empleadas en el tratamiento de residuos a nivel mundial, parte de las cuales son conocidas en Chile, incluyendo usos más bien a nivel piloto.
- La disponibilidad de proveedores de tecnología no es un factor limitante del desarrollo, existen muchas opciones para su adquisición, que incluso están operando en el país. Se estima que aumentará la inversión en proyectos relacionados con RSDyA, tanto por un mejoramiento sanitario del país, como por efecto del desarrollo económico que exige soluciones de mejor calidad y servicio.
- Se observa una ausencia de proyectos de I+D+i+e que aborden temáticas propias del país, entre las cuales cabe considerar la necesidad de disponer de tecnologías factibles a pequeña escala, atendiendo a localidades alejadas y que no cuentan con servicios adecuados para desarrollar proyectos.

Variables ecológicas:

- Al no comprender las medidas mínimas sanitarias, los vertederos y basurales son focos de problemas ambientales y a la salud. En Chile, actualmente hay un total de 90 vertederos y basurales sin considerar los microbasurales.
- Se deben controlar las emisiones de las tecnologías térmicas. Adicionalmente, no se pueden localizar plantas en las zonas declaradas como saturadas, sin la previa compensación de emisiones.

- La protección ambiental es una exigencia cada vez más fuerte en la sociedad, lo cual conlleva a generar nuevos estándares a las actividades. Es esperable respuestas más efectivas frente al cambio climático, aumento del reciclaje y procesos sustentables.
- La sustentabilidad local muestra una tendencia positiva tanto en Chile como en países desarrollados, donde se promueven técnicas de Reciclaje, Compostaje y Reúso de materiales, todo lo cual está fortaleciendo en comunas del país, con un rápido crecimiento de organizaciones ecológicas de carácter productivo.

Variables legales:

- La Ley 20.920 establece el marco para la Gestión Responsable de los Residuos por parte del productor o importador del producto, mediante el fomento del reúso, reciclaje y valorización de los residuos. Esta medida permitirá disminuir la cantidad de residuos que son destinados a Rellenos Sanitarios, y por consiguiente, aumentar su vida útil. Este marco legal es un hecho muy favorable que abre expectativas para negocios propios de la sustentabilidad, incluyendo aplicaciones basadas en el Principio de las 3R (reúso, reducción y reciclaje).
- El Decreto Supremo 29/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, regula las emisiones de las tecnologías térmicas, situación muy favorable en la gestión de residuos.
- Para poder comercializar el compost y aplicarlo a todo tipo de suelos, se debe cumplir con la categoría de Compost de clase A, de la NCh 2.880, situación que merece mayor análisis para una mayor implementación.
- La correcta operación de las plantas de Digestión Anaerobia, se encuentra regulada por el Decreto 119 del Ministerio de Energía. El decreto establece como operar la seguridad de las plantas de biogás, considerando: la recepción, preparación y almacenamiento de las materias primas, y la producción, almacenamiento, transferencia, tratamiento, suministro y uso del biogás.
- La resolución de calidad ambiental otorgada a los proyectos de disposición final está impedida de separar la materia orgánica para ser compostada.
- El marco legal chileno sobre propiedad intelectual, leyes laborales, tributación y requerimientos ambientales está en desarrollo, con cambios que pueden afectar a las empresas, sin embargo, el clima de negocios es favorable y no existen impedimentos para la instalación de empresas en el ámbito de los tratamientos de RSDyA.

8 CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO

8.1 Pretratamiento de residuos

8.1.1 Descripción de la tecnología

I. Control operacional

El reciclaje, reutilización y reducción de residuos es un ciclo que debiese implementarse permanentemente, pero su implementación efectiva no se puede aplicar a todos los residuos. La implementación de este proceso es un primer paso para poder aplicar la economía circular en la gestión de residuos, este proceso se puede fomentar mediante la aplicación de medidas de recolección segregada, y de esta misma forma, la separación de la fracción inorgánica de los residuos, en subsecciones tales como: papeles y cartones, plásticos, metales, vidrio, cartón para bebidas, desechos peligrosos, aparatos eléctricos y electrónicos, y resto de residuos, tal como se estandarizó en la NCh 3322 del 2014 (ONU, 2018). Se debe destacar que durante el proceso de reciclaje no es posible recuperar todo residuo sólido que es tratado, por ejemplo, el reciclado del papel se encuentra limitado en los ciclos que puede volver a procesarse, pues las fibras de la celulosa se van acortando (ONU, 2018).

A nivel mundial, hay diferentes alternativas para fomentar el reciclaje, desde leyes que obligan a la segregación de residuos, y que permite obtener los residuos que serán la materia prima de reciclaje, a enfoques económicos que impulsan a las personas mediante educación, a que se encarguen de depositar en puntos verdes sus residuos. Este es el caso del Municipio de Curitiba (Brasil) en el cual, al año 1991 (ya posee más de 20 años operando), se propuso el canje de reciclables por alimentos (ONU, 2018), comprando los Municipios, los excedentes de los agricultores que no pudieron comercializarse en el mercado (ONU, 2018; Banco Mundial; 2019).

A nivel mundial, es más usual la metodología de empresas como TOMRA (2019), quienes se enfocan en las máquinas de venta a la inversa/máquinas de reciclaje de botellas, o por su nombre en inglés “*Reverse Vending Machines*”. Este tipo de tecnología no se limita a envases de botella plásticos, sino que también a aquellos envases de lata y vidrio, retribuyendo al usuario monetariamente por la recompra del producto, o con vales que pueden ser empleados en tiendas, obteniendo tasas de retorno de botellas en formato plástico, vidrio o lata, que se encuentran entre el 70 al 100% (Tomra, 2019). Mediante este tipo de procesos, se asegura que las botellas ingresaran nuevamente al proceso para el envasado de bebestibles, disminuyendo la probabilidad de que sea empleada en otros procesos de valorización, y que requiera tras la separación, de otros tipos de tratamientos que permitan emplear el residuo sólido.

Dada su cualidad de inocuidad, el vidrio es un material que se emplea para diferentes confecciones, dentro de las cuales se encuentran bebidas y alimentos. En Chile, la producción de envases de vidrio para bebestibles acapara el 96,2% de la producción nacional de envases (Anir, 2018). Dentro de las principales empresas de reciclaje de vidrio en el país, se encuentran Cristalería Chile, Cristalería Toro y Verallia (Inversiones e inmobiliaria Huanquilar Ltda, 2018). De acuerdo con el catastro realizado el 2017, se identifica que fueron reciclados 87.313 toneladas de vidrio.

El plástico PET, PE y PP es altamente empleado en envases y embalajes, para una diversidad de aplicaciones, tales como cajas, sacos, tambores, botellas y otros formatos. A nivel nacional, ASIPLA representa sobre el 85% del mercado (ASIPLA, 2019). Entre ambos tipos de plásticos, según el informe de ANIR 2018, fueron reciclados un total de 23.322 ton de plásticos.

Dentro del reciclado de neumáticos, se emplean los neumáticos fuera de uso (NFU). Con el aumento de la cantidad de vehículos circulando en Chile, este descarte ha incrementado, al igual que la valorización, la cual se puede realizar para reciclaje y/o valorización energética (ANIR, 2018). Respecto al reciclaje para el recauchaje realizado en el año 2017, se reportó que 8.306 ton de NFU fueron valorizadas (ANIR, 2018).

De los diferentes materiales a reciclar, destaca el cartón, poseyendo uno de los mayores volúmenes que fueron valorizados el 2018 (ANIR, 2018). El cartón es empleado en envases y en embalajes, y dentro de algunas empresas encargadas al reciclado industrial, se puede destacar a Reciclados Industriales S.A (REINSA), RECUPAC y SOREPA. El año 2017 fueron valorizados 362.849 ton de cartón (ANIR, 2018).

El aluminio es un material que puede reciclarse en un 100%, siendo empleado principalmente para envases de bebidas y alimentos. En el mercado de reciclaje, se pueden nombrar a dos actores: Metales y Aluminios S.A, y Comercializadora de excedentes industriales (Inversiones e Inmobiliaria Huanquilaf Ltda, 2018). El periodo del 2017, se reciclaron 6.581 ton (ANIR, 2018).

El proceso de pretratamiento del reciclaje requiere de que exista una recolección de residuos que se encuentre establecida, y una capacidad de segregación en origen por parte de la población, para poder remover la fracción orgánica y separar los materiales en plástico, metal, papel y cartón, vidrio y voluminosos, para que en planta de pretratamiento, se pueda realizar una segunda remoción, disminuyendo los tiempos de operación requeridos para separar los materiales y el requerimiento de mano de obra.

Para poder realizar el reciclaje de los RSDyA y otros, se pueden emplear varios procesos y equipamientos específicos para poder separar residuos. En este proyecto, se consideró como el principal enfoque de estudio, las tecnologías de pretratamiento correspondientes a la separación (manual y magnética), la trituración y la compactación.

Debido a las características de los residuos, es que no todas las líneas de pretratamiento de los residuos son iguales, por lo que se diferenciaron las líneas para poder separar y poder reciclar plástico, metal, papel y cartón, vidrio y voluminosos (Urtubia, E. 2017). Se identifica a los residuos voluminosos como: madera, chatarra, baterías, recipientes, colchones y RAEE. La separación manual es un proceso de separación que realiza el trabajador manualmente, mientras los residuos son transportados por una cinta transportadora. Durante este proceso, se separan los residuos por sus características físicas y ópticas, en las diferentes categorías de productos: plásticos, metal, papel y cartón, vidrio y residuos de gran volumen.

El material de gran volumen que ingresa al proceso requerirá de una etapa secundaria, en la cual, dependiendo del residuo, se tendrá que desarmar antes de ingresar a la planta de reciclaje, y almacenar para su posterior venta o disponer en un relleno sanitario o en un relleno de seguridad.

La separación magnética es un proceso que consiste en la eliminación de impurezas y materiales magnéticos del metal, empleando un imán poderoso, el cual puede encontrarse en una superficie o suspendido de un techo (IMA, 2018). Como complemento al proceso se puede emplear antes de alimentar al equipo, una cinta vibratoria para distribuir los residuos y así, al ingresar al proceso, separar homogéneamente las capas de residuos metálicos.

La empresa Selter (2019) ofrece diferentes sistemas magnéticos, enfocados en la separación para el reciclaje de residuos metálicos provenientes de la industria, tales como: sistema de bandas, tambores separadores, rodillos magnéticos, bloques, cascadas y sistemas de separación de metales no férricos. Las principales diferencias entre los equipos están dirigidas a su operación, y al efecto sobre la fracción férrica del corriente de residuos metálicos.

La trituración es un tratamiento que se aplica a los residuos para reducir su volumen. Como proceso, permite obtener un tamaño de partícula menor y homogéneo, características que facilitan el transporte de los residuos. Después de la trituración se puede realizar la compactación de los residuos, o alternativamente, se puede realizar como etapa final de pretratamiento (Urtubia, E. 2017). La trituración se puede emplear no solo como pretratamiento para el material a ser reciclado, sino que también se puede emplear como pretratamiento para otros tipos de tecnologías de valorización de residuos, como lo es la Digestión Anaerobia o la Incineración (*Estudio de biodigestión anaerobia: comunas de la Ligua, Pucón y Cabo de Hornos*, ejecutado por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para la Subdere (2016) y el *Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana*, ejecutado por PÖYRY- EBP, para el Ministerio de Energía (2018)).

La siguiente alternativa de pretratamiento de los residuos, corresponde a la compactación. La compactación permite aumentar el peso específico de los residuos sólidos, mediante un proceso de prensado, por el cual, se podrá obtener diferentes disminuciones de volumen, acorde a la presión aplicada. La reducción de volumen entrega dentro de sus diferentes ventajas, la disminución del costo por transporte. Complementariamente a estos procesos, se puede realizar un lavado y secado de los residuos, enfocado a eliminar la materia orgánica que pueda quedar aun contenida en ellos, como en las botellas y envases, evitando la generación de malos olores y la atracción de vectores.

La tendencia a nivel de país demuestra que se está impulsando la inclusión de plantas de reciclaje dentro de lo que previamente se consideraba Relleno Sanitario, dando paso a los Centros de Tratamiento. Un ejemplo es la unión de los municipios de Iquique y Alto Hospicio para operar un Centro Integral de Residuos Sólidos, el cual considera dentro de la planta, el reciclaje. En Ñuble también existe un proyecto de Centro de Tratamiento Integral, el cual considera el reciclaje.

Se debe destacar que el proceso de reciclaje no es un proceso que continuamente se puede emplear, pues los materiales pierden algunas características durante el proceso de reciclaje. Adicionalmente, se generan pérdidas por el pretratamiento de los residuos, debido a la abrasión, desgaste o corrosión (ONU, 2018).

A continuación, se presenta una breve descripción de las cinco plantas de pretratamiento que se consideraron de acuerdo a las categorías identificadas de residuos que pueden ser reciclados:

- **Pretratamiento de los residuos de gran volumen:** Los residuos requieren ingresar a planta y que se realice una separación manual, generando los rechazos del proceso y la separación de residuos que se pueden valorizar en otra planta. Continúa con el proceso de desarme, del cual se genera un flujo que puede ser valorizado en otra planta, y una corriente que ingresa al triturador y/o compactador. El proceso finaliza con el almacenamiento, para después realizar la venta de los residuos tratados y clasificados.
- **Pretratamiento de los plásticos:** Los residuos requieren ingresar a planta y que se realice una separación manual, generando los rechazos del proceso y la separación de residuos que se pueden valorizar en otra planta. Se procede con el lavado y secado de los plásticos, removiendo la fracción orgánica que puede aún estar contenida. El proceso de trituración y/o compactación se emplea a continuación, almacenando los residuos tratados y clasificados, para su posterior comercialización.
 - Se puede emplear complementariamente, proceso de aglomerado para densificar plástico, mezclado y extrusión.
- **Pretratamiento de los metales:** Los residuos requieren ingresar a planta y que se realice una separación manual, generando los rechazos del proceso y la separación de residuos que se pueden valorizar en otra planta. El flujo ingresa a una separación eléctrica de los residuos, determinando cuales serán triturados y/o compactados. El producto es almacenado, para su posterior comercialización

- Se puede emplear complementariamente, hornos para derretir el acero y separar escoria y polvo de los residuos, y equipo para moldear el metal.
- **Pretratamiento de papel y cartón:** Los residuos requieren ingresar a planta y que se realice una separación manual, generando los rechazos del proceso y la separación de residuos que se pueden valorizar en otra planta. Posterior al proceso de separación manual, se realiza una trituración y/o compactación de los residuos. El producto es almacenado, para su posterior comercialización.
 - Se puede emplear complementariamente, una centrifuga para eliminar impurezas, un proceso de blanqueamiento del papel y equipo de secado.
- **Pretratamiento de vidrios:** Los residuos requieren ingresar a planta y que se realice una separación manual, generando los rechazos del proceso y la separación de residuos que se pueden valorizar en otra planta. Se realiza un lavado y secado de los residuos que se encuentren en contacto con materia orgánica, y se procede a triturar. El producto tratado y clasificado, es almacenado para su posterior comercialización.
 - Se puede emplear complementariamente, un proceso de separación de vidrio, de acuerdo al color del material.

Los rechazos de las líneas de pretratamiento podrán ingresar a otra línea, como es el caso de productos que no se ingresaron durante la segregación en origen en el contenedor designado. Aquellos rechazos que no se encuentren dentro de las categorías que puede tratar la planta, deberán ser dispuestos.

II. Pretratamiento para las plantas de valorización

Para la recepción de materia más sólida o fibrosa, como desechos de vegetales, debe distinguirse la zona de almacenamiento de la zona de alimentación. Para el almacenamiento de grandes cantidades de sustrato, pueden utilizarse superficies grandes para ensilaje. Estos silos están compuestos por una superficie asfaltada separada por muros verticales que crean las naves de ensilado. El sustrato se almacena en estas naves y va siendo retirado paulatinamente para su alimentación en el digestor.

Fundamentalmente, el tipo de sistema a utilizar para el almacenaje de la biomasa debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Accesibilidad para carga y descarga.
- Prevención de la descomposición.
- Minimización de olores.

Los equipos utilizados para la alimentación de los sustratos a los sistemas de valorización, dependerán de su consistencia y características. En caso de utilizar material más sólido, puede ser conveniente realizar una etapa de pretratamiento consistente en el prepicado de la biomasa, a fin de asegurar un tamaño de fibra tal que ofrezca suficiente superficie de contacto para la acción bacteriana.

III. Grado de estudio de la tecnología

El proceso de valorización del reciclado es una técnica que lleva mucho tiempo, y que ha ido incrementando a medida que se han ido implementando nuevos reglamentos que lo regulen y que fomenten este proceso. Los sitios de disposición final no debiesen ser la primera solución que se considere, tanto por la limitación de terreno disponible para poder disponer los RSDyA, como también, debido a que la valorización de los residuos posee un gran potencial.

Aproximadamente un 80% de las Municipalidades no han adoptado planes de gestión de desechos, pues no disponen de los recursos requeridos para aplicar programas de gestión, situación que se dificulta aún más, tomando en consideración que el costo de descarga de la disposición final disminuye, a medida que aumenta el volumen (OCDE y Cepal; 2016).

En Europa, el proceso de reciclado (sin incluir el compostaje), en el año 1995, fue de 24.782 mil toneladas de RSDyA, lo cual correspondía al 10.9% de los residuos sólidos totales generados a la época. Al año 2015, el reciclado de los residuos en Europa incremento, llegando a 69.484 mil toneladas de RSDyA, lo cual corresponde al 27.8% (Scarlat, N. et al, 2018). Los reglamentos se vuelven cada vez más exigentes en cuanto a la revalorización de residuos, dirigiéndose a un enfoque de economía circular. Las miras en el sector europeo, es obtener valores de reúso y reciclado de los RSDyA de al menos un 60% al año 2025 y 70% al año 2030, imponiendo a cada una de las categorías de materiales reciclables, entre un 75 a un 85% del total producido, a ser valorizado por el reciclaje y reúso.

Se parte por una cultura de reciclaje, con tecnologías y los modelos de negocios parecidos a “Reverse Vending Machine”, para que la segregación de basura pueda permitir la valorización por reciclaje y otras tecnologías, para posteriormente lograr inculcar el compromiso ambiental, y mejorar tasas de valorización de RSDyA y otros.

Respectivos a leyes que pueden afectar a esta tecnología a nivel de Chile, se puede mencionar el Reglamento del Fondo para el Reciclaje, D.S 7 del Ministerio del Medio Ambiente. Este decreto regula el fondo de reciclaje, para financiar programas y acciones de Municipalidades, que se encuentran enfocadas en el reciclaje y reúso de los residuos, estableciendo criterios para la selección de programas que sean seleccionados y la entrega de recursos.

Adicionalmente, se encuentra la Ley 20.920, que regula el *Marco para la gestión de residuos*, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje, del Ministerio de Medio Ambiente, que fomenta la disminución de la generación de residuos, reciclaje, reúso y valorización, extendiendo la responsabilidad al productor.

Como complementación de estas leyes, se busca la interacción de la población en la segregación de la basura, mediante la Norma Chilena 3322 de *Estandarización de colores y elementos visuales en contenedores de residuos*, del Ministerio del Medio Ambiente.

Estos esfuerzos, en conjunto con el enunciado de la Política Nacional de Residuos Sólidos 2018-2030, busca que se logre alcanzar al año 2030 una valorización del 30% de los RSDyA y Otros, situación que, como país, se está potenciando con las diferentes medidas implementadas por los gobiernos, traducido en nuevas políticas, que promueven el trabajo de la población y las empresas.



Figura 8-1: Picador rotatorio en tubería de transporte de sustrato (imagen superior). Mezcladores de Substratos fluidos y fibrosos: Mezclador con Picador y bomba de paletas rotatorias (inferior izquierda) y Mezclador con bomba de cavidad progresiva (inferior derecha).

Fuente: CYTED, 2018.

Para la alimentación de sustratos de bajo contenido de sólidos, se requiere el uso de bombas centrífugas apropiadas para el transporte de material contaminado con algún tipo de fibra (bombas para el transporte de purines con restos de paja y forraje, por ejemplo). Para el transporte de sustratos de mayor contenido de sólidos, también se pueden utilizar bombas de cavidad progresiva. Estas son ampliamente utilizadas en plantas de biogás en base a cultivos energéticos.

Para la alimentación con materiales sólidos (granos, ensilajes con tamaños de fibra grandes, etc.) conviene utilizar sistemas de tornillo sin fin. Una alternativa integrada consiste en un estanque de acero inoxidable con tornillo sin fin para transporte, la cual posee un cortador incorporado. Puede utilizarse la alternativa de alimentación directa del digestor o aplicarse un paso intermedio de mezcla con los sustratos más líquidos en un estanque de mezcla previa. Se recomienda el uso de acero inoxidable debido fundamentalmente al grado de acidez que se presenta en la descomposición primaria de los residuos. El uso de acero galvanizado sólo retrasa la corrosión en algunos años, debiendo cambiar con relativa frecuencia (2 a 3 años) partes importantes del equipo.

Otro sistema utilizado, de mayores costos, consiste en un bunker de hormigón con piso móvil y tornillos sin fin. En este caso, el material transportado por camiones tipo tolva es descargado directamente en el búnker y es transportado desde ahí por tornillos sin fin para su posterior procesamiento y alimentación.

IV. Madurez

El empleo de las tecnologías de pretratamiento de los RSDyA se podrá realizar complementariamente a los esfuerzos que realizan las Municipalidades, pero enfocados a los productos con potencial de reciclaje. La población requerirá enfocarse en la segregación de la materia orgánica de la reciclable, y después, en el Centro de Tratamiento, se podrá realizar la segregación de los residuos, posteriormente, realizando la venta y alianzas con empresas.

La experiencia a nivel internacional de empresas que han implementado plantas de pretratamiento para el reciclaje es amplia, al igual que la de empresas que entregan soluciones ajustadas a las necesidades de los residuos que se requieren tratar. A continuación, se menciona una empresa de reciclaje y una empresa internacional que ofrece servicios personalizados, para la construcción de plantas de pretratamiento.

A nivel internacional, la empresa Tersa (2019) de España, ha desarrollado soluciones para el pretratamiento de envases ligeros y residuos voluminosos, mediante la operación de los Centros de Tratamiento de Residuos Municipales (CTRM) (Tersa, 2019):

- El Centro de Tratamiento de Residuos Municipales de Gava-Viladecans (España) posee una planta para la selección de envases ligeros y una planta de tratamiento de voluminosos.
- El año 2018, la planta de selección de envases ligeros procesó 23.334 ton de residuos, de los cuales, pudo reciclar un 68,7% de los residuos que ingresó al proceso, correspondiente a plásticos, papel y cartón, aluminio, metales ferrosos y tetrapacks. El 31,3% restante de los residuos que fueron procesados por la planta, fueron empleados para producir RDF. El modelo de negocios considera tras la separación de los residuos, la venta a los gestores autorizados.
- En ese mismo periodo, la planta de tratamiento de voluminosos trató 62.878 ton de residuos, de los cuales, se obtuvo una recuperación del 83%, destinada a gestores autorizados, y el 17% restante, se destinó para producir RDF.

A nivel internacional, hay empresas que ofrecen soluciones globales para el tema de los residuos. Suez presenta una serie de soluciones de tratamiento de residuos, mediante la operación de sus soluciones integradas para la recuperación de residuos que complementan la operación de la planta, con cinco procesos, correspondientes a:

1. Planta de pretratamiento para el reciclaje, que opera en conjunto con la distribución del material que puede reciclarse.
2. Relleno Sanitario, para tratar los residuos rechazados (no pueden reciclarse o valorizarse).
3. Planta de producción de energía, a partir del biogás obtenido del Relleno Sanitario.
4. Planta de Compostaje, para tratar la fracción orgánica.
5. Planta de producción de RDF.

La operación de este tipo de plantas considera centros educativos, para enseñar la cultura de reciclaje, y segregación de residuos.

8.1.2 Tipos de residuos a tratar para el reciclaje o reúso

Se analizaron las propuestas operativas del proceso de pretratamiento presentadas por Urtubia, E. (2018), pudiendo identificar un proceso en serie de pretratamiento de los residuos.

Los residuos ingresan a la planta, de acuerdo con las diferentes categorías definidas para su segregación en origen, correspondientes a grandes volúmenes, plásticos, metal, papel cartón y vidrio.

Todas las líneas de procesamiento de los residuos consideran una separación manual inicial, mediante el transporte de los residuos en una cinta transportadora. El operario requerirá manualmente remover aquellos residuos que no correspondan a la categoría de ingreso a la planta, ingresando como rechazo a otra línea de proceso o, en caso de ser un producto que no posee potencial de ser reciclado, ingresar a la sección de rechazos que requiere ser dispuesta.

A continuación, basándose en el esquema operativo presentado por Urrutia, E. (2018), se separan los procesos de tratamiento por tipo de residuo, explicando los procesos unitarios en mayor detalle para los residuos de grandes volúmenes, considerando que las operaciones unitarias como trituración o compactación son similares entre procesos de pretratamiento:

1. **Grandes Volúmenes:** los residuos de grandes volúmenes, luego de ingresar por un proceso de separación manual, podrán ser desarmados, en caso de que corresponda a chatarra, colchones u equipos valorizables. La fracción de metales proveniente de los colchones y la chatarra, podrá ser compactada, y la fracción restante podrá ingresar al proceso de trituración. En caso de corresponder a madera y pasto proveniente de podas, podrá ingresarse al proceso de trituración y posterior compactación, mientras que, si ingresa baterías, tendrá que separarse de los residuos y enviarse a su disposición. Los RAEE podrán ser desarmados manualmente, y almacenarse, separándose por residuo valorizable de plástico y/o metal, con la posibilidad de ser compactado el metal y el plástico triturado y/o compactado. Luego de ser procesados los residuos, se procede al almacenamiento, para su posterior venta.
 - a. **Desarme manual** – el desarme manual es una operación que se realiza a algunos tipos de residuos, para poder subcategorizarlos e ingresarlos a las otras líneas de tratamiento, como en la planta de pretratamiento de metales o planta de pretratamiento de plásticos.
 - b. **Trituración** – se emplea esta tecnología para reducir el volumen de los residuos que no poseen un gran valor por si solos y para disminuir los costos de transporte. Dependiendo del tipo de residuo, se podrá emplear también la compactación, antes de ser almacenado para su venta.
 - c. **Compactación** – se emplea para aumentar el peso específico, y reducir el volumen de entrega, por lo que se puede emplear en conjunto con la trituración.
2. **Plásticos:** los residuos provenientes a la categoría de plásticos, y que han sido separados manualmente, podrán ser procesados por una trituradora o compactadora (formar pellets), dependiendo del fin último que pueda tener el residuo. Una vez finalizado, se podrá almacenar. Una etapa previa a la trituración o la compactación puede considerar el lavado y secado a alta temperatura de los plásticos, para remover la fracción orgánica que se encuentra disponible en los residuos.
3. **Metales:** luego de la separación manual, se emplea una separación con magneto, para subdividir por categorías, a los metales, respectivo a las industrias correspondientes con los cuales se pueden valorizar. Posterior a este proceso, se prosigue a emplear la trituración o compactación de los metales, para luego poder ser almacenados.

4. Papel y Cartón: después de la selección manual, se procede a la trituración de los residuos y/o compactación, para luego ser almacenados.
5. Vidrio: los vidrios serán procesados por una etapa de selección manual, seguida de una trituración del vidrio. Posterior a este proceso, se continua con un lavado y secado de los trozos, para remover la fracción orgánica que puede estar remanente. Después de la trituración y lavado, se continuará con el almacenamiento de los residuos.

Para la recepción y manejo de los residuos, debe tenerse especial cuidado tanto en su consistencia como en su proveniencia. En el caso de residuos con alto contenido de humedad, como algunos restos de frutas, pulpas vegetales, etc, la recepción y almacenamiento puede realizarse en fosos de recepción cerrados. La entrada de este tipo de residuos debe realizarse en camiones cerrados con descarga por manguera, la que es conectada al foso de recepción para realizar la transferencia. El foso debe contar con medidor de llenado y una bomba de vaciado para el transporte de sustrato hacia el digestor. Para casos en que se utilice otro tipo de sustratos, como restos de frutas o vegetales con contenido de cáscaras y otros sólidos blandos de tamaño más grande, puede utilizarse una bomba con picador incorporado.

8.1.3 Costos de operación y de inversión

El costo de la operación de reciclaje se obtuvo del estudio realizado por UNEP (2015), para una planta de reciclaje. El estudio analiza diferentes tecnologías, respectivo a los ingresos de los países. Estos datos son de carácter informativo, y se diferencian de acuerdo con los ingresos por país. A continuación, en la Tabla 8-1, se presenta la información del estudio de UNEP.

Tabla 8-1. Costos de operación de planta de reciclaje, relacionado a los ingresos, e inversión tipo.

Planta de reciclaje	Bajos ingresos	Ingresos bajos medios	Ingresos Medios Altos	Ingresos altos
Producto interno bruto (USD/cápita/año)	Menor a 2.700	2.700 a 5.400	5.400 a 8.100	Mayor a 8.100
Planta de reciclaje de la fracción seca (Costo de operación en USD/ton)	25-40	35-50	45-60	80-95
Inversión estimada en millón de USD, para planta con capacidad de 100.000 ton año.	8-10			

Fuente: UNEP, 2015.

8.1.4 Condiciones ambientales

A nivel ambiental, la valorización de residuos sólidos por técnicas de reducción, reúso y reciclaje, permiten disminuir la cantidad de basura destinada a los sitios de disposición final (Rellenos Sanitarios, Vertederos o Basurales), por tanto, permiten disminuir el impacto ambiental y el impacto a la salud, que estos residuos sólidos pueden generar. Por ello estas técnicas son las que se privilegian principalmente al momento de valorizar los RSDyA.

De acuerdo con experiencia de empresas que venden equipamiento para el reciclaje, como la empresa TOMRA (2019), es recomendada la valorización "in situ", como es el caso del modelo de negocios de *reverse vending machine*, pues permite que el descarte se encuentre segregado del resto de residuos sólidos y que se pueda incluir a la cadena de procesamiento de las empresas. Este escenario puede ser diferente si los residuos son separados por técnicas como puntos verdes o en los rellenos sanitarios, pues requerirán de otros procesos que encarecen el procedimiento y tiene

una factibilidad de ser empleados en otros tipos de productos, con el requerimiento de nuevas materias primas para emplear ese residuo reciclado, en el proceso en específico.

8.2 Tratamiento biológico: Compostaje

8.2.1 Descripción de la tecnología

El Compostaje es uno de los pretratamientos más comúnmente empleados a nivel mundial por su fácil implementación y operación, para la producción del compost a partir de la materia orgánica (Samaniego et al., 2017, Meyer-Kohlstock et al., 2015). Es un proceso aerobio que estabiliza la materia orgánica para producir el compost, el cual posee propiedades para mejorar el suelo. Las características del producto dependerán del origen de la materia orgánica y el control de las variables durante el proceso (Cesaro, A., et al., 2019).

El proceso de formación de compost consiste en la estabilización biológica de los desechos orgánicos por medio de una fermentación bacteriana de tipo termofílica en contacto permanente con aire. Como resultado de este sistema microbiológico, se obtiene luego de un período de tiempo un residuo de menor volumen, el cual posee aspecto diferente a la materia prima original que es de tipo húmico, es decir, corresponde a un abono orgánico que actúa como regenerador de suelos, sobre todo en tierras de bajo contenido en materia orgánica.

Existen muchas investigaciones al respecto y se sigue intentando mejorar el rendimiento y la productividad de estos procesos, lo que indica que es una buena alternativa a evaluar como tratamiento integral para los residuos sólidos. Sin embargo, aún existen algunas limitaciones para implementar plenamente este sistema, entre las que destacan:

- operación afectada por el clima
- difícil control de olores
- grandes requerimientos de terreno
- mercado del producto.

I. Microbiología del Proceso de Compostación

La compostación involucra la degradación de compuestos orgánicos por microorganismos que crecen naturalmente. La clave para la compostación comercial es proveer un ambiente favorable para que los microorganismos puedan descomponer la materia orgánica eficientemente y de esta forma se puede reducir el tiempo de compostación. Durante el transcurso de la compostación, los microorganismos que predominan van variando; algunas especies son más activas en las etapas iniciales de la compostación, modificando el medio ambiente, y permitiendo que otras poblaciones puedan sucederlas y continuar otros pasos en el proceso.

En la fermentación del compost se presentan dos fases químicas:

- mineralización de la materia orgánica que se descompone en CO_2 y NH_3 .
- oxidación del amoníaco, ácido nitroso, finalizando con una nitrificación para obtener nitrato.

De aquí se deduce la importancia del oxígeno en la fermentación, porque evitará la producción de amoníaco, que aparece igualmente cuando existe exceso de acidez y humedad.

Dentro de los procesos microbiológicos y bioquímicos que ocurren dentro de la compostación, se encuentra una fase aerobia y otra anaerobia no deseada. Los productos del proceso anaerobio (ácidos grasos, aldehídos, alcoholes y sulfuros de hidrógeno) sólo se oxidan parcialmente resultando notoriamente molestos. La fase anaerobia del proceso se produce cuando se posee un mal sistema de operación, ya que, si se cuenta con una óptima mantención operativa del sistema, se tendrá un proceso completamente aeróbico.

II. Control operacional

Dentro de los principales parámetros que influyen el rendimiento del Compostaje se encuentra la alimentación del oxígeno, pues asegura la actividad microbiana óptima, relacionada a su requerimiento de actividad biológica, y porque la aireación, afecta a la temperatura (Onwosi et al., 2017). Dentro del contexto de capacidad que identificaron los profesionales que levantaron información sobre los procesos aplicados a nivel de Asia (Aleluia, J., Ferrao, P. 2017), se identificó que la media de operación del proceso de compostaje en su realidad era de 258 ton/día, con una máxima que podría alcanzar hasta las 1.000 ton/día.

A continuación, se detallarán los parámetros de control y operación más importantes del proceso de compostación:

- **Temperatura:** uno de los parámetros más importantes usados para determinar el tipo de microflora presente, es la temperatura. Durante el desarrollo inicial de la compostación, la flora mesofílica (organismos capaces de crecer entre 10 y 30 °C) predomina y es responsable de la mayoría de la actividad metabólica que ocurre. El incremento de la actividad microbiana eleva la temperatura del compost con el subsecuente reemplazo de la población mesofílica por la termofílica (rango de temperatura entre 30 y 70 °C). Este aumento de la temperatura es controlado en gran parte por la cantidad de O₂ disponible, que es lógicamente dependiente de la cantidad de aire proveído.

De esta forma, un óptimo ambiente debe incluir una eficiente ventilación para que sobrevivan los microorganismos aeróbicos y la temperatura no sobrepase de 60 °C. Otro objetivo de las altas temperaturas radica en la eliminación de gérmenes patógenos, huevos y larvas de insectos nocivos para el producto final. Generalmente, una temperatura de 45 a 50 °C se alcanza en las primeras veinticuatro horas de digestión, temperatura que representa el límite superior para los organismos mesofílicos, y una temperatura de 60 a 70 °C se obtiene después de dos a cinco días. La declinación final de la temperatura es lenta e indica que el material ha sido digerido. Una caída de la temperatura antes de la estabilización de la materia prima refleja que empieza la evolución hacia una Digestión Anaerobia.

En climas fríos, la temperatura ambiente influye sobre la capa externa de la pila hasta unos 0,3 m de profundidad, la cual sirve de aislante y en cuyo volumen el proceso no es efectivo, a menos que periódicamente se de vuelta los residuos para que la capa exterior pase a ocupar el interior, como se estableció previamente. Por otra parte, si los montones son muy bajos no se alcanza la temperatura correspondiente para el desarrollo de los organismos termofílicos y la transformación no se efectúa satisfactoriamente.

La propiedad aislante de la basura conduce un gradiente de temperatura muy pronunciado en las primeras capas superficiales de la pila. Es posible efectuar con buen éxito una digestión bacteriana en climas helados, siempre que se tengan precauciones con el volteo, se evite la mezcla con residuos nuevos y se disminuya la frecuencia de las vueltas en relación con la operación de verano.

- **Nutrientes:** otro parámetro de proceso importante es el contenido de nutrientes disponibles en el residuo para el crecimiento de los microorganismos, lo que generalmente se mide mediante la razón C/N y C/P que posee el

desecho. Un bajo contenido de nitrógeno, es decir una razón inicial C/N mayor que 50, requiere que el microorganismo durante el proceso de descomposición recicle este Nitrógeno a través de muchas generaciones, como materiales carbonosos descompuestos a través de descomposición aeróbica a CO₂ y H₂O. Este proceso de regeneración es extremadamente lento e incrementará ampliamente el tiempo requerido para la digestión. Por otro lado, razones iniciales C/N menores que 30 provocan una pérdida de amonio.

La compostación, generalmente no tiene lugar en un ambiente en que la razón C/N es > 80. Es recomendable que la razón C/P sea de 100, para asegurar un apropiado crecimiento microbiano durante la digestión.

- **Humedad:** para obtener una óptima velocidad de descomposición, el contenido de humedad del residuo debe estar entre 60 y 80%. Si el contenido de humedad está sobre el 80%, el compost se vuelve más compacto, y de esta forma se reduce la cantidad de aire presente. Sin embargo, si no existe suficiente agua disponible, la temperatura total del compost disminuirá como efecto de una menor actividad microbiana, aumentando el tiempo de degradación.

Si bien lo anterior puede servir como referencia, el máximo contenido de humedad para una condición aerobia satisfactoria depende de las materias a digerir. Si las materias contienen una cantidad importante de materiales fibrosos resistentes, puede ser mayor al contenido de humedad, sin destruir la cualidad estructural o cause una compactación que impida contener suficiente aire entre los intersticios. Pero si los desperdicios cuentan con abundante material granular, como ceniza o polvo, o una considerable cantidad de papel y basura orgánica proveniente de desperdicios domiciliarios, que tienen pequeña resistencia estructural cuando se mojan, existen dificultades para mantener condiciones aerobias con un contenido de humedad superior a 70%.

- **pH:** otro parámetro importante es el pH del desecho. Como en el caso de la temperatura, el pH del compost varía con el tiempo del proceso de compostación y es un buen indicador del grado de descomposición del compost. El pH inicial del residuo sólido está normalmente entre 5 y 7 para desechos con 3 días de edad. Entre el primer al tercer día de compostación, el pH cae a 5 o menos y luego comienza a aumentar hasta llegar a alrededor de 8,5, cuando la temperatura de operación es máxima producto de la reacción alcalina por la liberación de amoníaco. Finalmente, en la etapa de maduración del compost, se vuelve a valores muy cercanos al neutro.
- **Tamaño de partícula:** A veces los residuos presentan una granulometría muy heterogénea con sólidos muy gruesos e irregulares que complican el funcionamiento del proceso, lo cual hace necesaria la trituración de los residuos al menos una vez, con el objeto de aumentar el área superficial tanto para el ataque microbiano, como para lograr una buena mezcla y homogenización de los desechos, dejando las moléculas expuestas para su descomposición.

El problema de triturar los residuos radica en que resulta más dificultosa la aireación a mayor grado de molienda. Es por esta razón que se recomienda que los volteos se ejecuten sobre toda la masa y que en forma global la totalidad de los desechos hayan recibido la misma aireación.

- **Microorganismos:** Es bastante amplio el espectro de microorganismos que se pueden encontrar en un proceso de compostación, independiente del sistema utilizado.

En cuanto al tipo de degradación, en las etapas iniciales del proceso ocurre la descomposición de los azúcares y almidones, moléculas que tienen una temperatura óptima de descomposición a los 35 °C. El tiempo de duración de esta etapa es de aproximadamente un día si el sistema se ejecuta aceleradamente. En pilas, la

digestión es más lenta pudiendo durar de dos a siete días dependiendo del grado de control que tenga el sistema. En las etapas intermedias y finales la temperatura aumenta rápidamente producto de la acción de bacterias termofílicas que tienen su óptimo de operación entre 50 a 55 °C. Las temperaturas medidas en fermentación y maduración del compost fluctúan entre 60 a 65 °C, donde se descomponen las proteínas y el material nitrogenado. Cuando la temperatura comienza a descender, se indica la finalización del proceso producto del aumento de hongos actinomicetos que degradan la celulosa.

- **Aireación:** La frecuencia de la aireación o número total de vueltas de la pila, depende principalmente del contenido de humedad y del tipo de material. Una humedad excesiva reduce los espacios o intersticios disponibles para el aire y la resistencia estructural del material, presentando mayor compactación. Residuos con alta razón C/N o que contienen importantes cantidades de cenizas u otros materiales inertes, no requieren ser aireados en forma tan frecuente como aquellos que se descomponen más activa y rápidamente.

Un buen criterio para considerar satisfactoria la aireación en el proceso de descomposición, debe considerar los siguientes factores: evitar condiciones anaerobias, mantención de temperatura elevada, control de las moscas.

- **Tiempo de operación:** El tiempo que se requiere para completar el proceso de compostación depende de muchos factores, pero son dos los principales:
 - Factores que pueden ser controlados en la operación del proceso: tamaño de la partícula, mantenimiento de las condiciones aerobias y contenido de humedad.
 - Razón inicial de C/N: Los factores anteriormente mencionados tienen que ser debidamente controlados en todo proceso racional de digestión bacteriana, y, por consiguiente, la razón C/N determina el tiempo necesario para lograr el compostaje.
- **Producto final:** La estabilización es satisfactoria cuando el compost obtenido tiene características de humus, no tiene olor, baja la temperatura alrededor de 50 °C, humedad de 60 a 70%, y la razón C/N es tal, que puede ser aplicado al suelo, es decir, 70 a 78.

Un compost ideal posee las siguientes características:

- El color debe ser entre café oscuro y negro, prácticamente sin existencia de partículas del residuo original.
- El contenido de materia orgánica debe ser al menos de un 80% (base seca). Por tanto, la ceniza debe oscilar entre un 10 al 20%.
- La capacidad de retención de agua debe estar entre 150 a 200%.
- El contenido de nitrógeno debe estar entre un 2,5 y un 3,5%. La disponibilidad de este nitrógeno debe ser entre 50 y 70% que la del sulfato de amonio.
- El contenido de P_2O_5 debe estar entre un 1 y un 1,5%.
- El contenido de K_2O debe estar entre un 1 y un 1,5%.
- La capacidad de intercambio catiónico debe estar entre un 75 y 100 me por 100 gramos.
- El pH debe estar entre 5,5 y un 6,5.
- Sin olor, partículas fáciles de quebrar.
- Temperatura: Entre 20 y 25 °C, Relación C/N: 15, Granulometría: 15 [mm].

III. Metodología de la Compostación

El proceso de elaboración del compost consta de 5 etapas:

- Preparación del material.
- Digestión.
- Curado.
- Acabado.
- Almacenamiento.

La etapa de preparación considera granulometría, con un tamaño de partícula entre 25 y 75 mm; clasificación del desecho en orgánicos e inorgánicos e inoculación con lodos de aguas residuales, cuando los residuos no disponen de inóculo natural.

La etapa de digestión puede dividirse en dos tipos: Compostación en pilas abiertas, y compostación mecánica, en digestores cerrados. Siendo el primer el proceso en general más económico. Las etapas de curado y acabado sirven para acondicionar el compost, para obtener un producto más homogéneo en cuanto a su humedad y razón C/N. En el caso de mejorador de suelo, no se requieren estas dos etapas.

En cuanto al tipo de compostaje los diferentes procesos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Compostación lenta o natural o fermentación en pilas: Se coloca el producto a fermentar en pilas de 1,2 a 2 m. La fase principal de fermentación dura 2-3 meses, removiéndose periódicamente la fracción madura de los montones, para eliminar olores y renovar los microorganismos encargados de la descomposición. Los volteos de las pilas deben realizarse en el momento apropiado, que coincide con una disminución de la temperatura de fermentación y se conoce mediante termómetros colocados al efecto.

Este sistema de fermentación no produce calidad de compost constante por las variaciones meteorológicas que inciden en el proceso, y requiere de una gran superficie de terreno. El proceso puede ser en pilas sin proporción previa o con formulación del residuo. El primero no presenta gran interés, por no ser homogénea la calidad del compost. Ha sido utilizado este compostaje para lodos de decantación, mezclados con residuos urbanos hasta una proporción del 50 a 55%. El compostaje de las pilas dura 2 a 3 meses. En el segundo existe una formulación del material a compostar, de manera de lograr una adecuada humedad y razón C/N.

Compostación acelerada: El producto a fermentar se coloca en torres o celdas de fermentación, siendo la fase activa de 2 a 7 días. El final de la maduración se efectúa al aire por espacio de un mes. Las celdas de fermentación o digestión tienen una capacidad de 20 a 40 toneladas y están divididas en pisos, cada uno de ellos con una capacidad igual al volumen diario de alimentación. La alimentación se efectúa por la parte posterior del digestor, donde es convenientemente humedecida. Cada día desciende un piso y en cada uno de ellos se airea adecuadamente. El producto obtenido en el fondo es compost bruto. Durante la fermentación se produce un aumento de densidad, disminución de volumen y reducción en peso de un 20%.

El procedimiento Earp-Thomas consta de torre de fermentación, con 8 a 9 pisos, en que la materia se mueve constantemente. La descomposición es rápida por la intensa ventilación. Se efectúa después una fermentación al aire libre. El procedimiento Humnsol desarrollado para basuras utiliza un cribado para los elementos no deseables, un imán para los elementos ferrosos y un molino de martillo para reducir el tamaño. En este proceso acelerado frecuentemente

se añaden algunas bacterias para acelerar la fermentación que se realiza en torre vertical. En el primer día, la alimentación alcanza una temperatura de 50 °C, aumenta hasta 70 °C durante el cuarto o quinto día y desciende a unos 45 °C durante el sexto. El aire caliente y húmedo obtenido en la última fase de fermentación, se inyecta en la parte superior del digestor para activar la primera parte de la operación.

IV. Proceso de Elaboración del Compost

Todos los sistemas de compostación siguen un diagrama global en sus operaciones que son las etapas de recepción, separación, fermentación y maduración del producto que se describen a continuación en la Figura 8-2. Lógicamente y de acuerdo con el tipo y característica del residuo, algunas de estas etapas pueden obviarse.

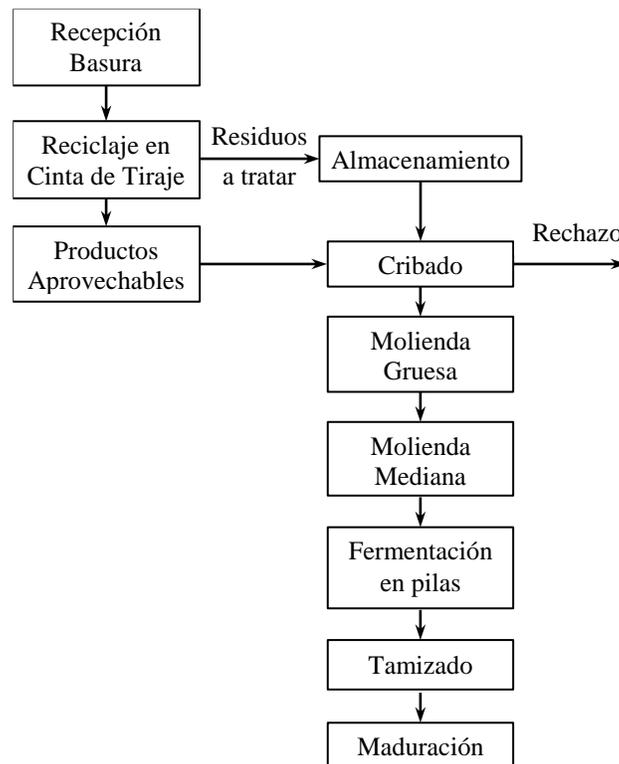


Figura 8-2. Proceso de elaboración de compost.

Fuente: Elaboración propia

- **Recepción:** Recibe los desechos provenientes del galpón de reciclaje para alimentar fosos de recepción desde donde se descargan los residuos en la sección de separación. Es conveniente tener los residuos perfectamente caracterizados ya que es primordial realizar un adecuado balance de C, N y humedad.
- **Separación:** Su objetivo fundamental es la selección de subproductos de los desechos indeseables para el compost, y la trituración de la materia orgánica cuando su tamaño es grande. El residuo puede ser recogido por medio de cintas transportadoras que los llevan hasta la primera operación de separación que ocurre en esta fase, normalmente el cribado. Las cribas vibratorias son diseñadas especialmente para la selección de

componentes de la basura y tienen un efecto doble, en primer lugar, se produce una separación por tamaños propia del cribado y se suma a lo anterior una selección por densidades.

- **Molienda:** En esta operación se debe contemplar que la trituración no sea ni muy gruesa ni muy fina. Si el producto obtenido es muy grueso, la fermentación aerobia se produciría sólo en la superficie de la masa y en el segundo caso, el triturado se aglomeraría impidiendo la entrada de aire en su interior. En ambos casos, existirían zonas de ambiente anaerobio lo cual se traduce en generación de gases, desprendimiento de malos olores, destrucción de sustratos útiles como oligoelementos y bacterias. Normalmente los residuos industriales no requieren molienda ya que poseen una granulometría adecuada para el proceso de compostación.
- **Fermentación:** El proceso normalmente se lleva a cabo en una cancha de compostaje de superficie asfáltica o de arcilla compactada (Proctor 90). Los desechos destinados a compostar se manejan en formas de pilas, que permiten un adecuado nivel de control de humedad y aireación. El material se apila en forma de cordones a lo largo de la cancha que se recomienda sea techada.

El volteo de las pilas se puede realizar en forma manual o mecanizada. La maquinaria que se requiere para mover el material corresponde al compostero, que cumple con las condiciones de mezclamiento aireación y riego durante el volteo. Se pueden utilizar cargadores frontales, pero originan un mezclamiento menos uniforme y pilas poco ordenadas.

Con este procedimiento sencillo, se consigue la perfecta aireación de toda la masa de residuos que asegura una buena fermentación aerobia, etapa clave que determina la calidad del producto final. Otro sistema de oxigenación adicional resultará inefectivo e incluso perjudicial, porque deja zonas en las que el producto fermenta anaerobiamente con las consecuencias que ello trae.

- **Tamizado:** El producto obtenido en la fermentación (compost bruto) puede ser directamente utilizado como mejorador de suelos o bien, pasa a una batería de toneles donde tiene lugar la separación del producto fino, los rechazos se reciclan y comienzan el proceso nuevamente a partir del segundo molino y el producto que pasa por el tamiz pasa a la etapa de maduración donde se obtiene el compost maduro listo para su comercialización.
- **Maduración:** El compost bruto que ha pasado por el tamiz se lleva a otra cancha de compostaje más pequeña que la de fermentación, en donde el producto adquiere la madurez necesaria para ser considerado como abono orgánico. El producto permanece en esta sección durante treinta días con temperaturas de 45 a 50 °C. En esta etapa continúa la fermentación muy lentamente, no siendo necesario aportar oxígeno externo debido a que se encuentran huecos suficientes en la masa de compost.

Finalizada la maduración, el producto está en perfectas condiciones de venta, pues se ha conseguido la destrucción total de semillas y productos nocivos para el abono.

V. El Compost como Producto

El compostaje como sistema de eliminación de residuos en sí, no tiene desventaja significativa. Los problemas radican en que el compost es un producto de venta libre y, como tal, está sometido a la ley de la oferta y de la demanda. En sus comienzos, los inversores planificaron sus acciones bajo el prisma "vender lo que se produce", en lugar de "producir lo que se vende y al mejor precio posible". Por una serie de causas técnicas, económicas y sociales la implantación y comercialización del compost constituyeron un rotundo fracaso.

Teóricamente, la fabricación de compost a más de 100 km de los centros de consumo no se considera rentable. No obstante, existen casos de ventas regulares a más de 3 a 5 veces la cifra citada, lo que indica que la venta del compost depende de una política de mercado seriamente estudiada.

Para poder realizar una estimación de la demanda del compost producido, resulta vital realizar un estudio de la comercialización de fertilizantes a nivel nacional tener estos datos sectorizados por Región, Provincia y Comuna de acuerdo al lugar de producción del compost. El problema es que muchas veces estos valores no están disponibles. Resulta trascendente proyectar esta demanda de nitrógeno durante el lapso de vida útil de 12 años que tiene la planta de compost. Si toda la basura de Valparaíso y Viña se derivara a compost, la oferta máxima teórica de nitrógeno en el compost oscilaría entre las 1.600 y 1.700 [ton/año], y la demanda real de este componente en la Quinta Región para ser utilizado como fertilizante varía entre 15.000 y 20.000 [ton/año].

Se considera una superficie total aplicable al compost para la provincia de Valparaíso de 9.780 [Há], que representan el 10,5% del total de terreno cultivado en la región correspondiente a 93.100 hectáreas (I.N.E., 1992). Estimando un rendimiento promedio de 40 toneladas por hectárea, se tiene que existiría una demanda potencial de compost de 390.000 Ton/año aproximadamente, cantidad muy superior a la ofertada, lo cual refleja la potencialidad de abrir un mercado para el abono orgánico.

De acuerdo con la NCh 2880, existen dos clasificaciones de compost, lo cual determina la calidad y los fines para los cuales puede ser empleado:

- Compost clase A: Producto de alta calidad, que posee concentraciones de metales pesados baja, conductividad eléctrica menor a tres decisiemens por metros y que tiene una relación de carbono/nitrógeno de 25. Este tipo de compost puede ser empleado sin ninguna restricción.
- Compost Clase B: Debe cumplir con tener concentraciones de metales máximo pesado, de acuerdo con la Norma, conductividad eléctrica menor a 8 decisiemens y relación carbono/nitrógeno menor o igual a 3. Este producto posee restricciones en su uso. En países como España, este compost puede ser empleado para el sellado de vertederos, recuperación de suelos degradados por actividades industriales o mineras (Ansorena, J. et al. 2019).

8.2.2 Tipos de residuos sólidos que puede tratar

El proceso de compostaje trata la fracción orgánica proveniente de los RSDyA, por lo cual, de acuerdo con el estudio de Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad superior del 40% de los residuos que son actualmente dispuestos.

Es una técnica que requiere de una segregación previa para poder tratar los residuos, por lo que una segregación en origen puede permitir disminuir los costos de inversión asociados a equipamiento de pretratamiento y disminuir los rechazos que se generen del proceso y que deberán ser dispuestos.

8.2.3 Costos de operación y de inversión

El costo de la operación de compostaje se obtuvo del estudio realizado por UNEP (2015), para compostaje en pilas. El estudio analiza diferentes tecnologías respecto a los ingresos de los países. Estos datos son de carácter informativo, y se diferencian de acuerdo con los ingresos por país. En la Tabla 8-2 se presenta la información obtenida del estudio de UNEP (2015).

Tabla 8-2. Costos de operación de compostaje en hileras, relacionado a los ingresos, e inversión tipo.

Compostera en Hilera	Bajos ingresos	Ingresos bajos medios	Ingresos Medios Altos	Ingresos altos
Producto interno bruto (USD/cápita/año)	Menor a 2.700	2.700 a 5.400	5.400 a 8.100	Mayor a 8.100
Compostaje en pilas, con los RSDyA segregados (fracción orgánica) (Costo de operación en USD/ton)	25-40	25-40	25-40	50-70
Inversión estimada en millón de USD, para planta con capacidad de 100.000 ton año.	13-20			

Fuente: UNEP, 2015.

8.2.4 Condiciones ambientales

Las condiciones climáticas influyen en el proceso de compostaje, en especial la temperatura, el viento y la lluvia.

- **Vientos:** El viento fuerte tiene doble efecto sobre el proceso de compostaje; baja la temperatura y aumenta la evaporación, y consecuentemente el secado del material, en especial en el frente de la pila o muelle que azota el viento.
- **Lluvia:** La lluvia no tiene un efecto pronunciado en el proceso del compostaje de las pilas siempre que sean redondeadas, tendientes a permitir un fácil escurrimiento del agua por la superficie y el terreno tenga un drenaje apropiado para su rápida eliminación, evitando que penetre en el fondo. Sin embargo, no es conveniente efectuar la vuelta de la pila en un momento de lluvia porque el material se humedecería demasiado, aunque esto perjudique un tanto la aireación.

8.3 Tratamiento biológico: Digestión Anaerobia

8.3.1 Descripción de la tecnología

La Digestión Anaerobia es un proceso biológico empleado para lograr la estabilización de la materia orgánica, que se da de manera natural en ausencia de oxígeno. En ella participan comunidades de microorganismos que consumen la materia orgánica, metabolizándola y transformándola en biogás principalmente. Como subproducto del proceso se genera una biomasa estabilizada, rica en nutrientes y apta para su uso como fertilizante. El desarrollo de la Digestión Anaerobia como proceso de tratamiento de residuos, se realiza utilizando equipos denominados digestores, acondicionados para mantener las condiciones ideales en el medio, que favorezcan la degradación como un sistema estable en el tiempo. El proceso biológico propiamente tal, es un sistema multi etapa desarrollado por comunidades biológicas especializadas, que trabajan de manera secuencial en la degradación de la materia orgánica.

I. Etapas del proceso:

Pretratamiento: este proceso considera la recepción de los residuos a la planta, la separación mediante un proceso de cribado, lo cual permite identificar los rechazos del proceso y caracterizar los residuos que ingresan a la planta. El proceso que continúa, corresponde a la trituración de la biomasa, para asegurar un tamaño de partícula que ofrezca suficiente superficie de contacto para la acción microbiana.

Se destacan principalmente cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

Hidrólisis: es la primera etapa del proceso y reúne las reacciones de ruptura de macromoléculas, como proteínas, carbohidratos y lípidos en moléculas de menor tamaño, solubles y de mayor degradabilidad, como alcoholes, azúcares y aminoácidos, mediante la acción enzimática. En particular, esta etapa es de gran importancia en la estabilización de la materia orgánica, dado que genera los sustratos para las comunidades bacterianas que continúan el proceso de transformación a biogás. En general se considera en la fase limitante de los procesos de degradación de residuos de alto contenido de sólidos.

Acidogénesis: se denomina así al proceso de degradación de los productos de la hidrólisis y de transformación de éstos a ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente propiónico, acético, butírico y valérico, además de hidrógeno y dióxido de carbono.

Acetogénesis: esta etapa contempla la transformación de los ácidos intermedios como propiónico, butírico y valérico a ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Esta fase, tiene como limitante el hecho de que termodinámicamente la reacción de transformación no es favorable en presencia de presiones parciales de hidrógeno elevadas, por lo que deben existir en el medio, comunidades biológicas que utilicen el hidrógeno como sustrato. (ver Figura 8-3)

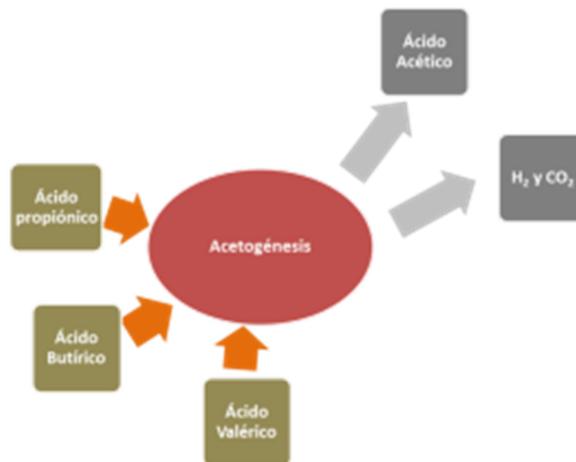


Figura 8-3. Proceso de Acetogénesis.
Fuente: Elaboración propia.

Metanogénesis: esta etapa contempla la transformación del ácido acético y el hidrógeno generados en etapas anteriores, en metano y CO₂. Entre las comunidades bacterianas que se pueden encontrar en este proceso, se destacan las bacterias metanogénicas acetoclásticas y metanogénicas hidrogenófilas, que transforman respectivamente el ácido acético y el hidrógeno a metano.

De manera general, el metano producido en el proceso de estabilización proviene, aproximadamente, en un 70% del metabolismo de las bacterias acetoclásticas y el 30% restante de las bacterias hidrogenófilas. Adicionalmente, como proceso global de Digestión Anaerobia, la velocidad de crecimiento de las poblaciones metanogénicas es menor que el de las comunidades de las etapas anteriores, por lo que esta etapa podría convertirse en limitante si ocurre un desbalance microbiológico que favorezca a las primeras etapas.

Para el caso de residuos sólidos, se considera que la etapa limitante del proceso de degradación anaerobia, corresponde a la etapa hidrolítica, dado que la acción enzimática de ruptura de las macromoléculas depende del

tamaño de partícula que presente la materia orgánica, por lo cual en el proceso global de estabilización de los residuos se consideran etapas de acondicionamiento de los mismos con la finalidad de disminuir el tamaño de partícula y homogenizar la corriente de entrada a los reactores. (ver Figura 8-4)

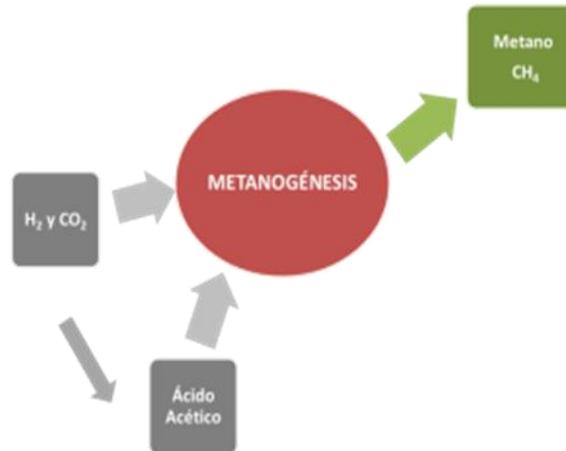


Figura 8-4. Proceso de Metanogénesis.
Fuente: Elaboración propia

II. Productos por obtener:

Biogás: debido a que las comunidades microbianas presentes en la Digestión Anaerobia trabajan de manera sintrófica, es decir, que se desarrollarán en función de los factores y nutrientes aportados por los diferentes grupos bacterianos, se genera una interdependencia entre los grupos, generando todo el proceso en un sistema balanceado estable, en condiciones favorables.

Referido al biogás producido por la descomposición microbiológica de la materia orgánica, está compuesto principalmente de metano y de dióxido de carbono. Dependiendo de los contenidos de grasas, carbohidratos y proteínas de los distintos sustratos, la fracción de metano contenida en el biogás varía desde valores que van de 50 a 75%. En la Tabla 8-3 se pueden observar los principales componentes del biogás y los rangos en que varían sus diferentes concentraciones.

Tabla 8-3. Rangos de composición del Biogás.

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN
Metano (CH ₄)	50-75% (vol.)
Dióxido de Carbono (CO ₂),	45-25% (vol.)
Vapor de Agua (H ₂ O)	2 - 7% (vol.)
Nitrógeno (N ₂)	<2% (vol.)
Oxígeno (O ₂)	<2% (vol.)
Hidrógeno (H ₂)	<1% (vol.)
Amoniaco (NH ₃)	<1% (vol.)
Ácido Sulfhídrico (H ₂ S)	20 – 20000 ppm

Fuente: Elaboración propia.

Dependiendo de si todas las etapas de la Digestión Anaerobia se realizan en un mismo reactor, se habla de un proceso de una o dos etapas. En el caso de las plantas de biogás comerciales existentes en Europa, en general se utilizan sistemas de una etapa (un reactor). Esto principalmente porque, en general, los sistemas de dos etapas requieren inversiones y costos de operación más altos y son utilizados para mejorar la fase hidrolítica. Sin embargo, esto sólo se justifica para casos de sustratos de difícil degradación o procesos en los que se quiere evitar una eventual inestabilidad, tal es el caso de la degradación de: residuos con alto contenido de sólidos, sólidos volátiles y/o con cambios frecuentes en la alimentación de los reactores.

En general, las plantas de biogás comerciales trabajan en procesos de tipo continuo, es decir, los digestores son alimentados continuamente y tanto el biogás como el lodo digerido son retirados del reactor en la misma medida. En la Figura 8-5 se muestra un esquema representativo de una planta de Digestión Anaerobia.

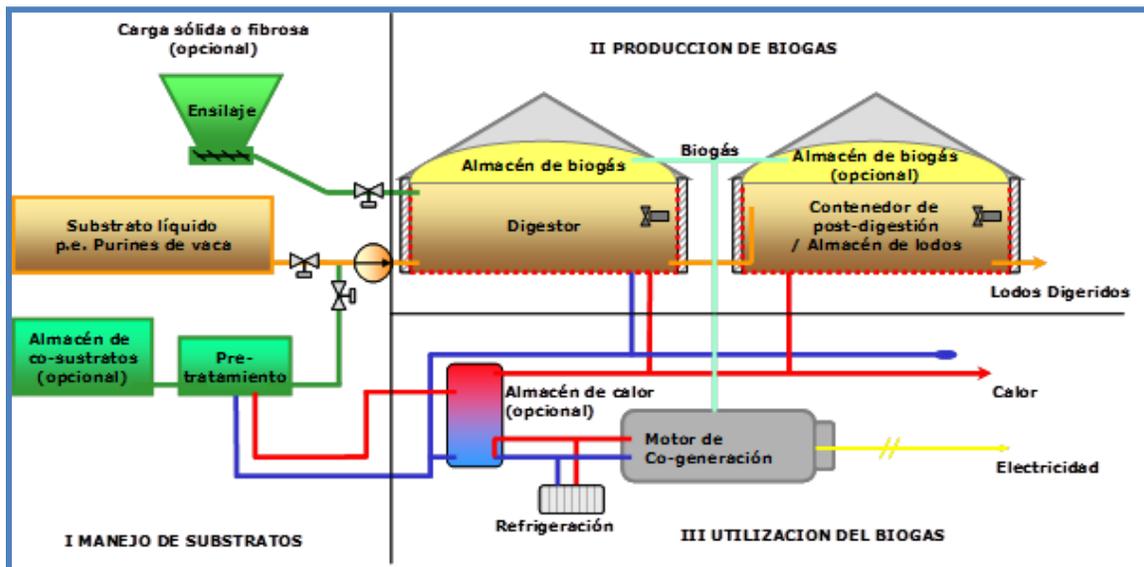


Figura 8-5. Esquema general de una planta de biogás, para generación de energía eléctrica y térmica.

Fuente: Elaboración propia en base a CYTED, 2018.

III. Factores que inciden en el proceso microbiológico

Los principales factores que condicionan el proceso microbiológico son:

- **Concentración de Oxígeno:** Las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas, es decir el oxígeno para ellas constituye un elemento tóxico. No obstante, dado que en general todos los procesos se realizan en un solo reactor y las poblaciones bacterianas encargadas de las distintas etapas cohabitan, en caso de producirse ingreso de oxígeno al reactor, éste puede ser consumido por las bacterias hidrolíticas y acidogénicas ya que estas son anaerobias facultativas, es decir, pueden crecer en presencia o ausencia de oxígeno. Si es necesario adicionar pequeñas dosis de aire para la desulfurización, la aireación debe ser muy controlada para evitar la presencia de oxígeno en el medio líquido.
- **Temperatura:** Este factor es crucial para asegurar la eficiencia del proceso de degradación de la materia orgánica. Las bacterias metanogénicas involucradas en el proceso de descomposición presentan diferentes velocidades de degradación de la materia orgánica en función de la temperatura. Dependiendo del rango de temperatura en el que las bacterias se desarrollen se distingue entre bacterias psicrófilas (hasta los 25°C); bacterias mesófilas (32 a 45 °C) y bacterias termófilas (50 a 60 °C). En general, las plantas productoras de biogás trabajan en el rango mesófilico, dado que en el rango termófilico, si bien se tiene una alta actividad microbiana, el gasto energético es notablemente mayor en comparación con el rango mesófilico.
- **pH:** El control de este parámetro resulta, al igual que la temperatura, muy importante, ya que el proceso de degradación anaerobia de la materia orgánica debe realizarse entre un rango de pH entre 6,8 y 7,5. Esto está determinado dado que las bacterias acetogénicas y metanogénicas, quienes regulan el proceso, son muy sensibles a altos valores de acidez lo que a su vez genera una disminución en el pH. Un pH menor a 6,5 implica acidificación del reactor, y, por tanto, una inhibición de las bacterias metanogénicas. Sin embargo, las bacterias encargadas de las etapas de hidrólisis y acidogénesis presentan alta actividad en medios más ácidos, con un pH óptimo entre 4,5 y 6,3, por lo que un reactor a ese pH logrará una solubilización de la materia orgánica, pero no una metanización.
- **Nutrientes y compuestos inhibidores:** La relación C: N: P: S debiera establecerse alrededor de 600:15:5:1, a fin de proveer a los microorganismos encargados de la degradación, de las condiciones adecuadas para su desarrollo. Una carencia en un nutriente puede provocar una disminución en la actividad microbiana y por ende, en la velocidad de producción de metano. La presencia de compuestos inhibidores son también un factor importante para la estabilidad del proceso. Respecto de inhibidores, deben considerarse la presencia de compuestos como metales pesados, amoníaco, pesticidas, sanitizantes, antibióticos u otros compuestos.

IV. Parámetros básicos de operación

A fin de controlar la actividad microbiológica y las condiciones ambientales en los estanques de Digestión Anaerobia, existen diversos parámetros de operación que permiten manejar el proceso y controlar las reacciones que se producen al interior del reactor.

- **Velocidad de carga orgánica, VCO:** Este parámetro indica la cantidad de materia orgánica con que se alimenta el reactor, por unidad de tiempo (día) y por unidad de volumen del reactor. Considerando que el parámetro Sólidos Volátiles (SV) equivale a la materia orgánica contenida en un sustrato, la VCO puede definirse como:

$$VCO = \frac{kgSV}{m^3 d}$$

Al fijar el valor de la VCO y conociendo la cantidad y composición del sustrato disponible, puede calcularse el volumen de reactor requerido para asegurar la estabilidad del proceso. Una sobrecarga del reactor (VCO alta) puede producir un exceso de producción de ácidos en las primeras etapas del proceso, lo que puede provocar la inhibición parcial o total de la actividad metanogénica.

- **Tiempo de retención hidráulico, TRH:** Este parámetro indica la cantidad de tiempo promedio que los sustratos permanecen en el reactor, cuando se tienen procesos de flujo continuo. En general, el sustrato presenta condiciones de humedad que permite asumir volúmenes aditivos, por tanto, el tiempo de retención hidráulico puede definirse como:

$$TRH = \frac{V_R}{V}$$

donde:

V_R : es el volumen neto del reactor.

V : es el volumen de sustrato alimentado por día.

En general, si la degradación ocurre en un proceso por lotes, durante los primeros 20 a 30 días se degrada la mayor cantidad de materia orgánica. A partir de ahí, la degradación decae asintóticamente hasta un valor máximo para cada tipo de sustrato. Por esta razón, en general los reactores se diseñan para tiempos de residencia mayores de 30 días.

- **Grado de mezcla en el reactor:** La actividad biológica depende fuertemente del contacto que tengan los microorganismos con la materia orgánica contenida en el sustrato. Por esta razón, debe asegurarse una mezcla suficiente del sustrato recién ingresado con el sustrato ya parcialmente digerido, que contiene la población bacteriana. Para asegurar una mezcla suficiente y evitar la separación de las poblaciones bacterianas, la práctica común es utilizar agitadores de rotación lenta y mezclas discontinuas a intervalos de tiempo. También puede realizarse una agitación local que provoque la mezcla lenta del sustrato en el reactor a través de la generación de corrientes de flujo (uso de agitadores de propela). En general la mezcla no es intensiva, pero si lo suficiente para asegurar la mezcla completa.

V. Características de operación

A continuación, se sintetizan las características de operación más relevantes de los sistemas de Digestión Anaerobia para residuos sólidos.

V.1) Tipo de alimentación: Referido al tipo de alimentación, los procesos se pueden clasificar como continuos o discontinuos.

- **Sistemas continuos:** este sistema contempla la incorporación de sustrato de forma continua durante la operación. Este procedimiento involucra el retiro de una cantidad de efluente equivalente a la alimentación realizada.
- **Sistemas discontinuos:** Para esta operación se realiza el llenado de los reactores con la totalidad de los residuos a estabilizar, siendo inmediatamente cerrados y permaneciendo así hasta finalizar la estabilización. Una vez alcanzado el tiempo de operación, los reactores son abiertos y vaciados para iniciar otro ciclo.

- **Sistemas semicontinuos:** La operación de este sistema considera el ingreso de sustrato a los reactores en forma de pulsos, estableciéndose la periodicidad de éstos en función de la carga orgánica establecida en el diseño del proceso. Los reactores son descargados en una porción equivalente de sustrato realizado.

V.2) Etapas de proceso: se puede clasificar en:

- **Una sola etapa:** se utiliza un solo reactor, en donde se llevan a cabo todas las etapas de la digestión, con condiciones estándar de operación que favorezcan al global de los microorganismos presentes en el reactor.
- **Multietapa:** Esta modalidad por lo general contempla el uso de dos etapas, sin embargo, no excluye el utilizar etapas adicionales en condiciones especiales de proceso, por ejemplo, para residuos de lenta degradación. En esta modalidad se utilizan reactores diferentes para otorgar las condiciones ideales para una o más etapas, principalmente la etapa hidrolítica y metanogénica.

Para el caso de la digestión anaeróbica de residuos sólidos urbanos, los sistemas monoetapas presentan mejores condiciones de productividad de biogás y de rendimiento energético.

V.3) Concentración de Sólidos

Esta clasificación es la más utilizada para la selección de la tecnología idónea para la estabilización de residuos sólidos. Tiene su base en el contenido de sólidos totales (ST) de los residuos a tratar y se divide en tres tipos digestión húmeda, semi seca o semi húmeda y digestión seca. Las características de cada clasificación se muestran en la Tabla 8-4.

Tabla 8-4 Tipos de digestión anaerobia según concentración de sólidos.

TIPO DE DIGESTIÓN	CARACTERÍSTICAS
Digestión húmeda:	Característica de los procesos de baja concentración de sólidos, siempre como máximo un 15% de ST. El rango típico de operación es entre 4 y 8% de ST.
Digestión semi seca o semi húmeda:	Se desarrolla con un contenido de sólidos totales en rango intermedio que varía entre 15 y 20 %
Digestión seca:	Se asocia a procesos realizados con alto contenido de sólidos, generalmente entre 20 y 40% de ST en el medio. En particular, esta tecnología es de mayor uso para el tratamiento de los residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

VI. Tipos de digestión

Tecnologías de digestión húmeda: Dentro del grupo de tecnologías de digestión o fermentación húmeda, se encuentran todas aquellas que procesan sustratos con una concentración de sólidos totales de máximo 12 a 15%, valor que depende de los distintos componentes de la tecnología (agitadores, bombas, mezcladores, etc.). Este tipo de tecnologías trabaja principalmente con reactores de mezcla completa, en procesos que pueden ser mesofílicos o termofílicos y de proceso continuo o semi continuo (alimentación durante 2 turnos diarios). Esto exige una disponibilidad de biomasa (RSU) relativamente homogénea a lo largo del año, dado que se debe evitar la sobrecarga de los reactores en las etapas de aumento de la generación de residuos

Tecnologías de digestión seca: Dentro de este grupo de tecnologías se agrupan aquellas que procesan sustratos con concentraciones de sólidos totales superiores al 15%, en general, con un mínimo de 20% (valor medido en el reactor). Este tipo de tecnologías de Digestión Anaerobia pueden funcionar en procesos continuos o como procesos tipo batch. En el caso de los procesos continuos, se utiliza un reactor de flujo pistón, que puede ser horizontal o vertical. En el caso de proceso batch se utilizan varios reactores, que se cargan y descargan secuencialmente para asegurar una determinada producción y la continuidad del proceso de estabilización.

En la Tabla 8-5 se muestra un resumen de las ventajas y desventajas más importantes que presentan cada una de las clasificaciones vistas anteriormente.

Tabla 8-5. Resumen ventajas y desventajas de tecnologías de Digestión Anaerobia de residuos sólidos.

TIPO DE CARGA	TIPO DE SISTEMA	CRITERIOS					
		TÉCNICOS		BIOLÓGICOS		ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES	
		VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA
Continua	Una etapa vía húmeda	Proceso ampliamente desarrollado	Generación de fases de flotación y hundimiento	Dilución de inhibidores en el medio	Alta sensibilidad a cambios bruscos de VCO	Equipamiento de bajo costo para el control de flujos	Elevado consumo de agua
			Pretratamiento complejo		Pérdida de sólidos volátiles por retiro de plásticos y materia inerte.		Mayor consumo de energía
	Una etapa vía seca	Inexistencia de partes móviles en el interior del reactor	Residuos con humedad mayor al 20% no pueden ser tratados independientemente	Menor pérdida de SV en pretratamiento	bajo nivel de dilución de inhibidores	Necesidad de reactores de menor tamaño y complejidad	Equipamiento de mayor costo para manejo de flujos
Inertes y plásticos no requieren ser eliminados	Mayor VCO	Pretratamiento de menor costo relativo					
	Menor propagación de inhibidores	Bajos consumos de agua y energía					
Discontinua	Vía seca	Simples de bajo nivel tecnológico	Atascamiento	Proceso fiable por uso de más de un reactor	Baja producción de metano	De bajo costo	Requiere de gran superficie (relativo al compost aerobio)
			No presentan inconvenientes de flotabilidad				
	Dos o más etapas	Flexibilidad de diseño	Complejidad	Mayor flexibilidad para residuos bajos en celulosa	Menor producción de metano (cuando existe materia orgánica remanente)	Menor contenido de metales pesados en compost final	Mayor costo de inversión

Fuente: Elaboración propia

VII. Tipos de reactores anaerobios según parámetros de flujo

A continuación, se describen diferentes sistemas de Digestión Anaeróbica utilizadas para la estabilización de los residuos sólidos a una escala industrial, empleando para ello y a modo de ejemplo, tecnologías de amplio uso existentes en el mercado. Es importante destacar que la descripción tecnológica se centra en el tipo de digestor utilizado en el proceso en referencia al tipo de mezcla que presentan.

- Reactor tipo mezcla completa:** En primer término, el tipo de proceso más extendido corresponde a los reactores de mezcla completa. En este caso, se trata de estanques circulares cerrados, que pueden ser de acero u hormigón armado, en los que el sustrato es mezclado regularmente mediante agitadores. En estos reactores, los agitadores mantienen el régimen de mezcla completa permitiendo que el sustrato entrante entre en contacto con la población bacteriana y con el sustrato en degradación. En la Tabla 8-6 se resume las principales características, así como las ventajas y desventajas de este tipo de reactores.

Tabla 8-6. Principales características de los reactores tipo mezcla completan

CARACTERÍSTICAS	
	Construcción en Acero u hormigón armado
	Volúmenes posibles sobre los 6.000 m ³
	Velocidades de carga apropiadas en el rango 1 a 3,5 kgSV/m ³ d.
ÁREAS DE APLICACIÓN	Para sustratos bombeables, con contenidos de sólidos medios/bajos a bajos (purines, mezclas de ensilajes con purines, restos pulposos, aguas residuales de alto contenido orgánico)
	Apropiados para procesos continuos, discontinuos y semi - continuos
VENTAJAS	Costos de inversión comparativamente menores comparado con los reactores de flujo pistón.
	Operación bajo diferentes condiciones de funcionamiento (concentración de sólidos, temperatura, VCO, entre otros) para procesos continuos, discontinuos y semi - continuos.
	En general es posible la mantención de equipos internos sin necesidad de vaciado completo del reactor
DESVENTAJAS	Cubierta del reactor relativamente compleja para tanques de gran tamaño
	Debido a que la mezcla no es vigorosa puede producirse un régimen de mezcla no ideal y con ello flujos de corto circuito (entrada y salida de material en corto tiempo) y formación de capas duras flotantes

Fuente: diseño propio.

- Reactor tipo flujo pistón:** En este tipo de reactor utilizado comercialmente se utiliza el empuje producido por la incorporación de nuevo material para generar el flujo longitudinal del material. La mezcla se produce generalmente en planos paralelos perpendiculares a la dirección de flujo, a través de agitadores especiales construidos para ello. Este tipo de reactores son apropiados para la digestión de sustratos con alto contenido de sólidos y pueden presentar un proceso microbiológico más estable. El fundamento de estos reactores se basa en que las etapas del proceso de digestión, si bien ocurren al interior del mismo estanque, ocurren a lo largo del flujo, concentrándose las primeras en las áreas de entrada de la biomasa y cercanas y las

etapas de acetogénesis y metanogénesis en las secciones cercanas a la salida del flujo. En la Tabla 8-7 se muestran las características generales para este tipo de reactores.

Tabla 8-7. Principales características del reactor tipo flujo pistón

CARACTERÍSTICAS	▢ Estanques horizontales de secciones circular o cuadrada
	▢ Construcción en acero u hormigón armado
	▢ Volúmenes máximos posibles entre los 800 a 1000 m ³
	▢ Velocidades de carga apropiadas hasta 5 kgSV/m ³ d.
	▢ Combinables con una segunda etapa de post digestión en estanques de mezcla completa
ÁREAS DE APLICACIÓN	▢ Para sustratos bombeables, con contenidos de sólidos medios a medios/altos (mezclas de ensilajes con purines, restos pulposos, ensilaje de maíz)
	▢ Apropriados para procesos continuos y semi- continuos
VENTAJAS	▢ Configuración compacta y de costos relativamente bajos para plantas pequeñas a medianas
	▢ Separación de las etapas del proceso de digestión
	▢ Prevención de formación de capas duras flotantes debido a su forma de construcción y agitación
	▢ Prevención de flujos de corto circuito
	▢ Requieren tiempos de retención hidráulicos menores
DESVENTAJAS	▢ Calefacción más efectiva debido a su forma compacta
	▢ Tamaños grandes requieren reactores paralelos
	▢ Mantención de equipos internos requieren generalmente el vaciado del reactor

Fuente: diseño propio.

- Reactores discontinuos, por lotes o batch, sin agitación:** Este tipo de reactores operan con la totalidad de la carga desde el inicio del proceso. El contenido es descargado una vez finalizado el periodo de fermentación. Se construyen como un sistema hermético que almacena el gas generado durante el proceso.
 No utilizan sistemas mecánicos de agitación, no obstante, posee un sistema de recirculación de lixiviado que promueve el intercambio de sustancias en el interior del reactor. Generalmente su construcción se denomina tipo garaje.

VIII. Criterios de selección de tecnología

De acuerdo con los diferentes aspectos que considera el diseño del sistema de estabilización de residuos orgánicos mediante Digestión Anaerobia, se pueden destacar ciertos criterios para realizar la selección de las alternativas tecnológicas disponibles.

En la Tabla 8-8 se resumen las ventajas y desventajas de los sistemas por vía seca y húmeda que se deben considerar para la selección de la tecnología más adecuada para cada comuna.

Tabla 8-8: Criterios de selección de la tecnología.

CRITERIOS	VENTAJAS		DESVENTAJAS	
	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA
Técnico	Sin partes móviles internas (digestor).	Proceso conocido.	Residuos >20 %ST.	Separación fases líquido/sólido.
	Sin pretratamiento.			Pretratamiento complejo.
Biológico:	Sin pérdida de sólidos volátiles durante pretratamiento.	Dilución de inhibidores.	Sin dilución de inhibidores.	Más sensible sobrecargas orgánicas.
	Mayores velocidades puntuales de carga orgánica.		Requiere varios reactores	Pérdida de sólidos volátiles en pretratamiento.
Económico/Ambiental	Digestores más pequeños.	Equipos más baratos para manipulación de lodos.	Equipos más caros para manipulación de residuo digerido.	Consumo alto de agua.
	Consumo mínimo de agua.			Digestores más grandes.
	Menor consumo de energía.			Consumo de energía elevado.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a reglamento y leyes, que pueden regular el proceso de Digestión Anaerobia, se encuentra vigente actualmente el Decreto 119, sobre el Reglamento de seguridad de las plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instaladores de gas, del Ministerio de Energía. Bajo este decreto, se incluye en la producción de biogás a aquel gas obtenido por la Digestión Anaeróbica de materia orgánica, al igual que la generación de un digestato o material digerido. Este decreto está enfocado a la correcta operación de la planta de biogás, considerando la recepción, preparación y almacenamiento de la materia prima (RSDyA y Otros orgánicos), la producción, almacenamiento, transferencia, tratamiento, suministro y uso del biogás.

8.3.2 Tipos de residuos sólidos que puede tratar

Existe una gran variedad de tipos de biomasa aptos para ser usados como sustratos para la producción de biogás. Sin embargo, los residuos de tipo domésticos, como restos de alimentos pueden tener una caracterización en cuanto al contenido de sólidos totales que varía entre 9 y 37%, mientras que los residuos de mercado entre 5 y 20 %; el contenido de SV oscila entre el 80 y 90%, pudiendo obtenerse entre 200 y 600 m³ de biogás por tonelada de SV alimentado a los reactores. El porcentaje de metano en la corriente gaseosa podría fluctuar entre 45 y 65%.

Si bien es cierto que los valores presentados se encuentran en rangos amplios, éstos pueden entregar una aproximación suficiente para la primera evaluación de un proyecto de biogás en base a este tipo de residuos, en particular utilizando residuos de origen doméstico. En caso realizarse ensayos para una determinación más precisa del potencial de biogás de un determinado sustrato o mezcla de sustratos, es recomendable determinar tanto las características aquí presentadas, como los contenidos de C, H, O y N, así como de Fósforo (P) y Amonio (NH₄⁺). Para ello, como ya se mencionó, la determinación del potencial de metanización para cada residuo es esencial.

8.3.3 Costos de operación y de inversión

Se realizó un análisis de la información obtenida bibliográficamente, y a partir de datos recabados del proyecto *Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana*, del Ministerio de Energía (1261-5-LP17), se identificó el CAPEX de la tecnología de Digestión Anaerobia, para una planta de 300.000 ton/año. A continuación, en la Tabla 8-9 se presentan los datos.

Tabla 8-9. CAPEX, respectivo a Digestión Anaerobia.

Tipo de tecnología/descripción	Digestión Anaerobia
Capacidad de tecnología	300.000 ton/año (3 líneas)
Costo de Inversión (MMUSD)	15
Inversión por tonelada	50

Fuente: Ministerio de Energía, Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana. 1261-5-LP17.

Para estimar los costos totales, se debe incluir los costos de las contingencias, tal como se presentará en el proceso de incineración.

Respectivo al costo de operación de la tecnología, se analizó la base de datos entregados por Aleluia, J., y Ferrao, P. 2017, respectivo a la Digestión Anaerobia, en el cual se analizaron más de 97 plantas de generación de energía a partir de residuos. A continuación, en la Tabla 8-10 se presentan los datos resumidos.

Tabla 8-10. Opex, respectivo a Digestión Anaerobia

Tipo de tecnología/descripción	Digestión Anaerobia
Capacidad de tecnología	58,4 a 219.000 ton/año
Costo de operación (USD/ton)	6,9 a 25,9

Fuente: Aleluia, J., y Ferrao, P. 2017.

a) Grado de estudio de la tecnología

En el mercado se encuentran disponibles variadas alternativas tecnológicas para la Digestión Anaerobia de residuos sólidos, las que pueden ser de baja o alta tecnología, es decir, que las operaciones unitarias que involucran poseen un elevado o bajo grado de desarrollo tecnológico.

A modo general, los sistemas de alta tecnología para el tratamiento de residuos incluyen operaciones unitarias sofisticadas para satisfacer las necesidades de estabilización de acuerdo con los estándares ambientales. Este

tipo de tecnologías incorporan fases de pretratamiento, calentamiento, agitación y/o recirculación con bombeo, entre otras.

Por otro lado, las alternativas de estabilización anaeróbica de residuos de baja tecnología, tienen una larga tradición de uso en países como China, India y Nepal, donde se ha utilizado principalmente a baja escala, como vía de estabilización de excrementos de animales en áreas rurales. No obstante, la incorporación de residuos sólidos municipales al proceso solo se ha realizado desde pocos años atrás.

El funcionamiento de las tecnologías de Digestión Anaerobia responde de manera similar al proceso que siguen los residuos sólidos hasta convertirse en biogás. Este proceso compuesto por variadas operaciones unitarias se muestra en la Figura 8-6.

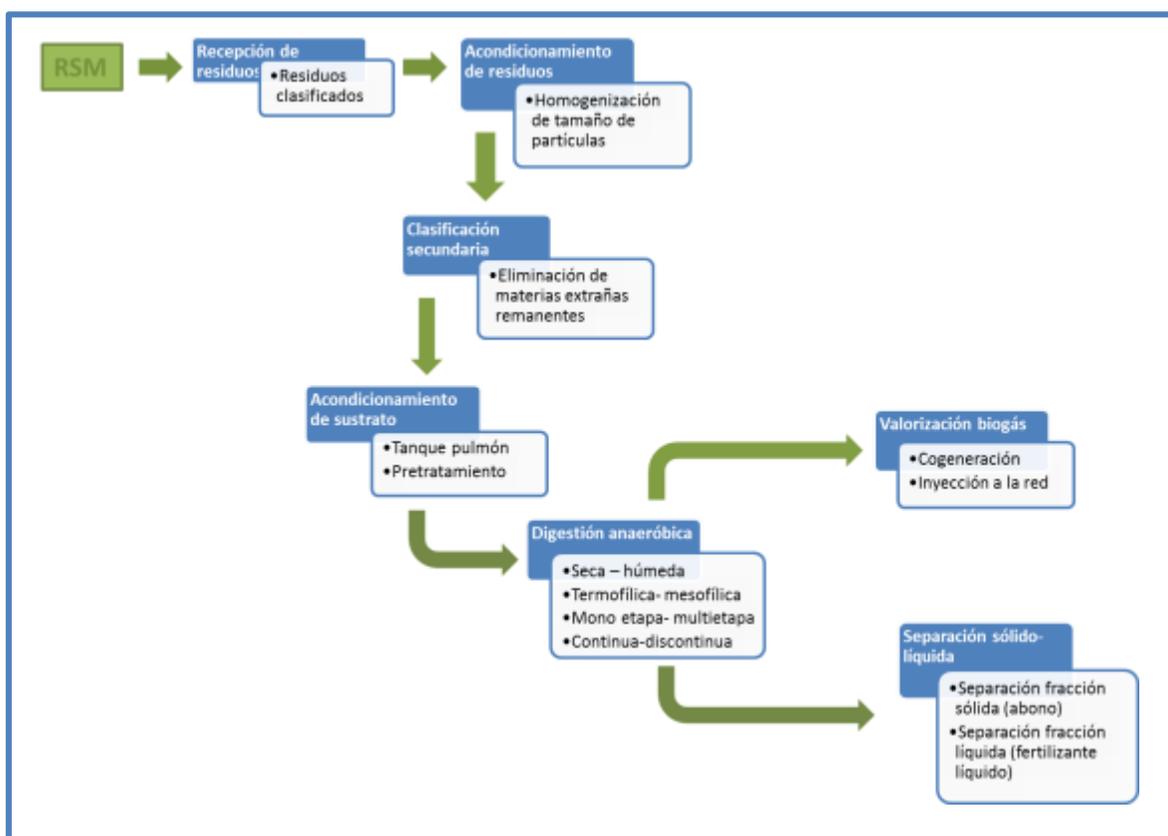


Figura 8-6: Diagrama de bloques de digestión anaeróbica de residuos sólidos municipales.

Fuente: Elaboración propia.

Cada una de las operaciones unitarias del proceso puede llevarse a cabo con la utilización de equipos de mayor o menor grado tecnológico, lo que a su vez dependerá de la naturaleza de los residuos. Adicionalmente, otro factor determinante para la utilización de una u otra tecnología dependerá de los volúmenes a tratar y se verá reflejado principalmente en la selección de los equipos de digestión y de valorización del biogás.

El tratamiento anaerobio de los residuos sólidos se puede realizar utilizando diferentes tecnologías, las cuales se pueden clasificar o caracterizar de manera general por la temperatura de operación (termofílica o mesofílica), el tipo de alimentación que emplea (continua o discontinua), el número de etapas en las cuales se realiza la estabilización (mono etapa o multietapa) así también como por el contenido de sólidos en el medio.

En este sentido, la concentración de sólidos del sustrato es uno de los parámetros de mayor importancia a la hora de seleccionar la tecnología más adecuada. En el caso particular de los residuos sólidos municipales, la mayor tendencia es la utilización de digestores operando a condiciones de alta concentración de sólidos o digestión seca.

8.3.4 Condiciones ambientales

Un proceso de Digestión Anaeróbica estable posee parámetros de operación característicos, ejemplo, pH del medio, concentración de nutrientes solubles, etc., que son propios del proceso de estabilización y del sistema de digestión que se utilice, por lo que una variación en los valores medidos de dichos parámetros permite establecer una medida de monitoreo y control del proceso global.

Se debe controlar las características de los residuos que ingresan al proceso, razón por la cual se debe considerar la formulación del residuo, en caso de que no cumpla con las características de C/N/P/S y humedad. La necesidad de controlar las condiciones operativas del reactor a través de los parámetros de operación ha llevado a un alto grado de automatización de las plantas generadoras de biogás, en las que el monitoreo continuo del estado del reactor y los demás componentes, así como la respuesta de distintos componentes del sistema que están previamente programadas.

Se debe considerar que, para la generación de energía, se requiere incinerar el metano que es producido por el proceso. Por ello, se debe cumplir con las normativas de las plantas de incineración, respectivo a emisión de material particulado.

8.4 Tecnología de Tratamiento Térmico: Incineración

8.4.1 Descripción de la tecnología

I. Control operacional

La Incineración opera como una combustión completa, con temperaturas que varían entre 850 a 1.200°C. El proceso permite una reducción del peso de los residuos cercana al 70%, y una reducción del volumen que se encuentra entre un 80 a un 90%. Las reducciones generadas por este tratamiento, son una de las principales que impulsan el uso de esta tecnología internacionalmente. Otra de las razones que hace atractiva esta tecnología, es que permite la generación de energía a partir de residuos (Kumar, A., 2017; Rondón, E. et al., 2016). Se requiere de la presencia de oxígeno para operar, sin la necesidad de un pretratamiento de los RSDyA.

En una primera etapa, se reciben los residuos, son pesados y almacenados, se procede con la alimentación y dosificación de los RSDyA, luego ingresa a la cámara de combustión, donde son incinerados, empleando gas de combustión y aire precalentado (Moya, et al., 2017; Rondón, E. et al., 2016; Greene, P. 2015). Posterior al proceso de incineración de los desechos, el gas sobrecalentado puede ser empleado dentro de un proceso de

cogeneración, para producir energía y/o calor, mediante el empleo de una turbina conectada a un generador (Moya, et al., 2017; Ashworth, D. et al., 2014). Se extraen las cenizas y escorias desde la cámara de combustión, posteriormente, empleando un proceso de tratamiento de los gases y las cenizas flotantes, para cumplir con leyes de emisión de gases (Rondón, E. et al., 2016).

II. Etapas del proceso

Las etapas principales del proceso de Incineración corresponden al proceso de pretratamiento, conversión y recuperación energética. A continuación, se describen los procesos en mayor detalle:

- **Pretratamiento:** el proceso de Incineración puede tratar todo tipo de residuos, por lo que el pretratamiento de la corriente puede cumplir diferentes funciones. Se puede hacer una remoción de los materiales reciclables (no considera este proceso el proceso diseñado), retirar los materiales de mayor tamaño, y triturar, para producir una reducción del tamaño de las partículas y homogeneizar el material.
- **Conversión:** los residuos ingresan a la cámara de incineración de parrilla. La parrilla se encuentra inclinada, lo cual permite el movimiento de los residuos y facilita la mezcla. Los residuos son incinerados, operando a una temperatura cercana a 850°C e inyectando el aire a diferentes niveles a través de la parrilla o por la parte superior del equipo.
- **Sistema de recuperación de energía:** el sistema de recuperación de energía opera en conjunto con el sistema de tratamiento de gases de combustión. Dependiendo del tipo de uso final de la energía, se pueden combinar procesos para la recuperación de energía. De acuerdo con ello, se pueden emplear los siguientes equipos:
 - **Caldera de agua caliente e intercambiador de calor:** genera calefacción.
 - **Caldera de agua caliente y torre de enfriamiento:** no se recupera energía.
 - **Caldera de vapor a baja presión:** genera vapor.
 - **Caldera de vapor a baja presión y torre de enfriamiento:** no se recupera energía.
 - **Caldera de vapor de alta presión y Turbina de vapor:** genera vapor y electricidad, o electricidad y calefacción.
 - **Caldera de vapor de alta presión, Turbina de vapor y Torre de enfriamiento:** no se recupera energía.
 - **Caldera de vapor de alta presión, Turbina de vapor e intercambiador de calor:** genera energía de calefacción y electricidad.

III. Productos a obtener

Se producen dos tipos de productos de este proceso (Kumar, A., 2017):

- **Compuestos sólidos:** ceniza de fondo, ceniza volante, y escoria. Estos residuos corresponden a aquellos componentes no volátiles. En caso de que el RSDyA posea vidrio y metales, también se encontrarán en la corriente de sólidos a la salida.
- **Compuestos gaseosos:** dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O), oxígeno (O₂) y nitrógeno (N₂).

IV. Características energéticas y de conversión

En la Tabla 8-11 se presenta el poder calorífico de diferentes categorías de productos, que se encuentran dentro de la primera prioridad de la Ley REP (Envases y Embalajes). Se puede emplear esta valorización complementariamente, al reciclaje de los residuos.

Tabla 8-11. Poder calorífico de productos que caen dentro de la categoría de Envases y Embalajes

Categoría del Producto	Poder Calorífico (MJ/kg)
Metales	1,73
Plásticos	26,62
Vidrio	0,24
Cartón	16,25
Papel	16,06
Cartón para bebidas	15,28
Madera	16,7

Fuente: Ministerio de Energía. Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana. 1261-5-LP17.

En el caso de la materia orgánica y respectivo a la composición del RSDyA, su poder calorífico promedio dependerá de la humedad, porcentaje de cenizas y el porcentaje de materia orgánica dentro de los residuos. En la Figura 8-7 se presenta la relación de estas tres variables, de acuerdo con la publicación de Dimitrios, K. et al (2013).

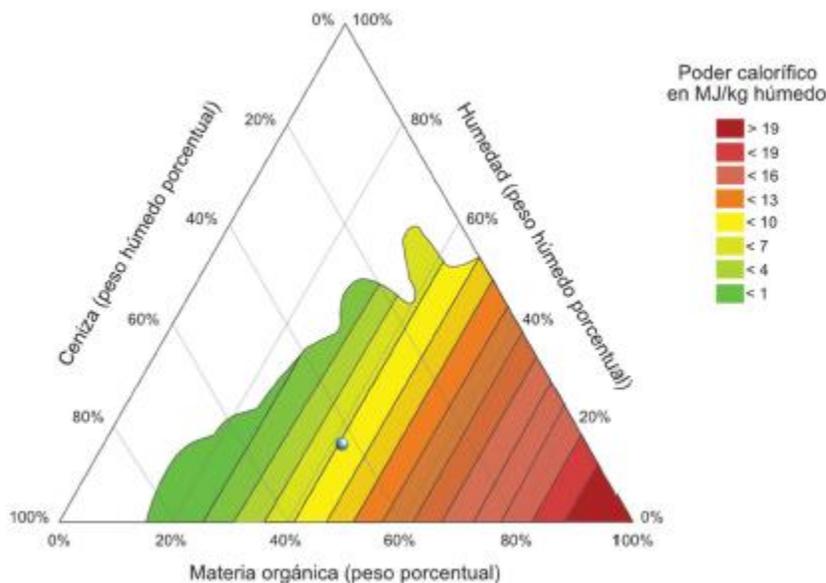


Figura 8-7: Diagrama de Tanner, materia orgánica v/s humedad, cenizas y poder calorífico.

Fuente: Dimitrios, K. et al, 2013.

El porcentaje de humedad afectará a las tecnologías, requiriendo un pretratamiento de secado en algunos casos. De acuerdo con datos bibliográficos obtenidos de Klinghoffer, N. y Castaldi, M. (2013) y Themelis, N. et

al. (2013), las plantas de Incineración pueden generar entre 0,3 a 0,7 MWh de electricidad por tonelada de desecho, de acuerdo con el tamaño de la planta y del poder calorífico inferior (PCI) de los RSDyA. De acuerdo con el análisis que realizaron estos autores a 2000 plantas en el año 2013, a nivel mundial, las plantas de Incineración pueden procesar diariamente entre 75 a 1855 toneladas de RSDyA.

En países en que las altas capacidades de Incineración no se condicen con la cantidad de RSDyA generadas, como es el caso en Alemania y Francia, al igual que aquellos en que está limitada la Incineración de basura debido a reglamentos que fortalecen e impulsan el reciclaje, reúso y reducción en mayor medida, se encuentran escenarios en que las empresas de Incineración requieren importar la basura, entrando a competir por el uso de los RSDyA destinados a otras valorizaciones (Scarlat, N., et al. 2018). Tal es el caso de Estados Unidos, que requiere también la importación de desechos provenientes de otros países, lo cual está regulado por la Norma 1013/2006 (Shipment Waste – Parlamento y consejo europeo). Este proceso de importación puede considerar residuos peligrosos, por lo que, en ese caso, es regulado por la Convención de Basilea, sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

Una opción que han empleado países con una mayor proporción y capacidad de plantas de incineración, además de la importación de RSDyA, es emplear residuos no municipales, como, por ejemplo: combustible sólido no recuperado (RDF), y desechos de la industria maderera (Scarlat, N., et al. 2018).

Para analizar el empleo de las tecnologías de incineración, el PCI es fundamental, pues es el valor mínimo para adoptar esta tecnología. De acuerdo con Rondón, et al (2016), es de 1.000 kcal/kg, valor mínimo que permite la combustión de residuos en incineradores, sin requerir de combustible adicional.

V. Grado de estudio de la tecnología

Las plantas actuales de Incineración son una segunda generación de las primeras que fueron construidas a finales del siglo 19, diferenciándose principalmente, en los sistemas de recuperación de energía, sistemas de tratamiento de las corrientes gaseosas de salida, automatización, control de la incineración, pretratamiento de los sólidos en caso de ser necesario, recuperación de metales y tratamiento de las cenizas (Consonni, S. et al, 2017).

El cambio en el enfoque y mejoras se debe a legislaciones que buscan controlar las emisiones, por la preocupación de los impactos medioambientales y a la salud, que pueden tener estas tecnologías, por ello, el control de las emisiones es de vital importancia.

El contenido de energía de los residuos y el desarrollo de tecnologías más eficientes y ambientalmente amigables ha permitido la recuperación de un gran porcentaje de la energía, mediante la Incineración de los residuos, lo cual ha permitido generar electricidad y/o calor (Consonni, S. et al, 2017). En la actualidad, la Incineración es uno de los procesos más comúnmente empleados para la reducción de los RSDyA (Consonni, S. et al, 2017).

Las tecnologías de Incineración emplean 3 tipos de configuraciones: parilla, horno rotatorio y lecho fluidizado. La aplicación de estas configuraciones a nivel industrial demuestra un predominio de la tecnología de incineración por parilla (*Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana*, Ministerio de Energía: 1261-5-LP17).

La incineración puede emplear una parrilla para disponer los residuos obtenidos durante el proceso. Es un proceso que requiere de una alta inversión, pero un bajo costo de operación. Por su parte, en la incineración de horno rotatorio, los residuos son dispuestos en una cámara de incineración inclinada. Requiere de un alto costo de operación y de inversión. Es una tecnología que es usualmente empleada para el tratamiento de residuos peligrosos y residuos clínicos. En la incineración por lecho fluidizado, los residuos se disponen en una superficie que puede ser de arena o cal, que se encuentra en continuo movimiento (*Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana*, Ministerio de Energía: 1261-5-LP17).

El estudio realizado por el Ministerio de Energía (2018), denominado Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, analizó la madurez de las tecnologías, de acuerdo con el número de plantas que actualmente se encuentran operando a nivel mundial, analizando un universo de 1.596 plantas. La incineración es una de las tecnologías más empleadas a nivel mundial, con 1.458 plantas, de las cuales, la incineración con parrilla es la principal, con 1.271 plantas, seguido por la incineración con lecho fluidizado (174 plantas) y la incineración con horno rotatorio (13).

8.4.2 Tipos de residuos sólidos que puede tratar

La incineración puede emplear RSDyA que sean orgánicos e inorgánicos. Puede emplear residuos rechazados de otras plantas de valorización, como las de reciclaje y reúso, tales como cartones, madera, metales, plásticos recortes de pasto, vidrio y otros (Moya, et al., 2017; Weinstein, P y Themelis, N. 2006). Adicionalmente, como materia prima, se puede emplear residuos no Municipales, considerando combustible sólido no recuperado y desechos de la industria maderera (Scarlat, N., et al. 2018).

8.4.3 Costos de operación y de inversión

De acuerdo con un estudio solicitado por el Ministerio de Energía Ministerio de Energía. *Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana - 1261-5-LP17*, se identificaron los diferentes costos por tecnología CAPEX y el costo por tonelada tratada de RSDyA. El Costo por tonelada tratada, considera la operación, mantención e inversión de la planta de tratamiento, en un periodo de 20 años.

Las tecnologías de incineración son ampliamente empleadas en la industria, por ello, la información disponible de esta tecnología es mucho mayor que las otras dos tecnologías de tratamientos térmicos. En la Tabla 8-12se presentan los CAPEX y el costo por tonelada tratada (costo de inversión). El CAPEX no incluye la interconexión eléctrica, acceso vial y medidas de mitigación socio ambientales.

Tabla 8-12. CAPEX (costo de inversión) y costo por tonelada tratada, perteneciente a las tecnologías de incineración.

Descripción	Incineración con Parrilla	Incineración con Horno Rotatorio	Incineración lecho fluidizado
CAPEX (USD/ton)	425 a 767	2.667 a 24.000	1.000 a 710
Costo por Tonelada tratada (USD/ton)	12 a 69	34 a 1.230	17 a 80

Fuente: Ministerio de Energía. Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana. 1261-5-LP17.

Para el diseño tipo de las plantas, se considera información bibliográfica disponible en el estudio realizada para el Ministerio de Energía, *Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana - 1261-5-LP17*, la cual se presenta en la Tabla 8-13. El costo de Inversión total no considera contingencias. Como datos de referencia, se pueden considerar los siguientes:

Tabla 8-13. CAPEX, respectivo a diferentes tamaños de plantas de incineración

Tipo de tecnología/descripción	Incineración con Parrilla	Incineración con Horno Rotatorio	Incineración lecho fluidizado
Capacidad de tecnología	330.000 ton/año (1 línea)	300.000 ton/año (3 líneas)	300.000 ton/año (1 línea)
Costo de Inversión Total (MMUSD)	180	800	250
Inversión por tonelada	545	2.667	833

Fuente: Ministerio de Energía, Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana. 1261-5-LP17.

Como datos de referencia, se pueden considerar los siguientes porcentajes para las contingencias, sobre el calor de Costo de Inversión total (*Ministerio de Energía, Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana. 1261-5-LP17*):

- Gestión de Proyectos 15%.
- Obras Civiles 10%.
- Equipamiento Waste to Energy 5%.
- Equipamiento eléctrico 5%.

Respectivo al costo de operación de la tecnología, se analizó la base de datos entregados por Aleluia, J., y Ferrao, P. 2017, respectivo a la incineración, en el cual se analizaron más de 97 plantas de generación de energía a partir de residuos. A continuación, en la Tabla 8-14 se presentan los datos resumidos.

Tabla 8-14. Opex respectivo a Incineración

Tipo de tecnología/descripción	Incineración
Capacidad de tecnología	219.000 a 730.000 ton/año
Costo de operación (USD/ton)	5,2 a 29,9

Fuente: Aleluia, J., y Ferrao, P. 2017.

8.4.4 Condiciones ambientales

Hay muchos problemas ambientales y de salud cuando se emplea la Incineración bajo un proceso de tratamiento sin control. El principal contaminante del aire corresponde a las cenizas y las partículas finas generadas por el proceso. Estos contaminantes pueden ser de origen químico orgánico y de metales tóxicos, con un diámetro de 2,5µm o más pequeño.

El NO_x se libera en la atmósfera, y puede causar problemas de salud tales, como edema pulmonar, neumonía, Bronquiolitis obliterante y enfisema, la incineración es también un gran contribuyente a la emisión de invernadero (CO₂). Las dioxinas, los furanos y los bifenilos se forman en el proceso de combustión por debajo

de 800°C, al emplear una temperatura superior, se destruirá, pero cuando se enfríen vuelven a sintetizarse. Un beneficio de este proceso es el costo de operar las plantas, así como el transporte de los desechos, el proceso también reduce el volumen de residuos y la demanda de espacio en vertederos (Thompson, etc., 2009).

Los residuos tienen un amplio rango de contaminantes, los cuales, si no son tratados, pueden emitir gases dañinos y tóxicos a la atmósfera, como también descargar sólidos o lixiviados que son dañinos (Consonni, S. et al, 2017). En el caso particular del tratamiento de los RSDyA por la Incineración, se puede descargar un gas de combustión, que puede generar gases de efecto invernadero, lo cual puede causar problemas a la salud (Ashworth, D. et al. 2014). Los avances en la tecnología de Incineración permiten que se pueda reducir la cantidad de emisiones de dióxido de sulfuro, fluoruro de hidrógeno, óxido de nítrico, dióxido de nitrógeno, carbono orgánico total, cloruro de hidrógeno, monóxido de carbono, polvo y metales pesados volátiles, que se pueden producir en este tipo de plantas (Wu, M. et al, 2014).

Para que las emisiones se encuentren debajo del umbral solicitado por las autoridades, las plantas poseen tecnologías de control de punta, que para las plantas de última generación significa que al gas de combustión debe ser tratado y la inversión para ello, puede amontar entre un 25 a un 35% del total, manejando la operación de la planta, para cumplir con las limitaciones de emisiones (Consonni, S. et al, 2017).

Actualmente, hay 5 resoluciones en Chile y 1 decreto, que se encargan de tratar diferentes temas relacionados a la incineración de residuos, las cuales se presentan a continuación:

- Resolución 1.003: Regulación de la Norma de Emisión para la incineración de residuos – Ministerio Secretaría General de la Presidencia y la Comisión del Medio Ambiente.

Está prohibido en el 2000, la incineración de residuos en la Región Metropolitana de Santiago, con excepción de aquellos hospitalarios, y se determina que se requiere el establecimiento de regulaciones que promuevan la inversión del sector privado, en instalación de tratamiento y disposición final de los residuos.

- Resolución 1272. Anteproyecto de norma de emisión para la incineración y co-incineración de residuos. - Ministerio Secretaría General de la Presidencia; y la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Se considera la incineración como técnica de tratamiento de residuos y también de generación de calor, enfocado al sector de la construcción y forestal. Se establece normas dentro del territorio nacional, para incineración y co-incineración de residuos en hornos cementeros y de cal, definiendo valores límite de emisión de partículas totales en suspensión.

- Resolución 7464. Revisión de la norma de emisión para incineración y co-incineración - Ministerio Secretaría General de la Presidencia y la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Se debe generar equipo para la revisión del DS 45, que se encargaba de la norma de emisión para incineración y co-incineración. Estas revisiones se hacen cada 5 años, para determinar vigencia.

- Resolución 15. Anteproyecto de revisión de la norma de emisión para la incineración y co-incineración - Ministerio del Medio Ambiente.

Se detectó que hay ciertas sustancias que, al emplearse como combustibles, son menos contaminantes que los combustibles tradicionales, razón por la que se requiere modificar la norma, para que no se aplique a aquellos materiales o sustancias que, al ser empleados como combustibles, no generen emisiones riesgosas para la salud o el medio ambiente.

Se introducen modificaciones al DS 45.

- Decreto Supremo 29. Norma de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento y deroga decreto N° 45. Ministerio del Medio Ambiente.

Reconoce en el mercado, el ingreso de biocombustibles y combustibles alternativos, por lo que se debe cambiar el DS 45, modificando definiciones.

Se establecen los valores límites de emisión de material particulado para la incineración, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, carbono orgánico total, monóxido de carbono, cadmio y sus compuestos, mercurio y sus compuestos, berilio y sus compuestos, plomo+zinc y sus compuestos, arsénico + cobalto + níquel + selenio + telurio y sus compuestos, antimonio + cromo + manganeso + vanadio, compuestos inorgánicos clorados gaseosos, compuestos inorgánicos fluorados gaseosos, benceno, dioxinas y furanos.

- Resolución 94. Protocolo para validación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones [cems] en plantas de incineración, co-incineración y coprocesamiento. - Ministerio del Medio Ambiente; Superintendencia del Medio Ambiente.

El protocolo será obligatorio para todas las fuentes emisoras afectadas al cumplimiento del Decreto Supremo 29.

- Decreto Supremo 4/1992: Norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales del Ministerio de Salud.

Establece la norma de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP10.

- Decreto Supremo 89: Emisiones de polvo y material particulado.

Regula las medidas a implementar, para efectos de mitigar el impacto de las emisiones de polvo y material particulado en la ejecución de un trabajo.

8.5 Tecnología de Tratamiento Térmico: Pirólisis

8.5.1 Descripción de la tecnología

I. Control operacional

Es un proceso térmico de degradación de la materia orgánica, sin presencia de oxígeno o a un nivel reducido, operando entre 400 a 800 °C y obteniendo una reducción del volumen de los residuos de un 50 a un 90% (Kumar, A, 2017; UNEP, 2015). Este tratamiento de residuos es más adecuado para aquellos que posean un

alto valor calorífico y un bajo contenido de humedad, pudiendo emplear combustible sólido no recuperado (RDF) (UNEP, 2015).

El proceso ideal de Pirólisis no contiene materia inorgánica, pues posee un proceso previo de segregación de la materia prima, removiendo los vidrios, metales, cartones, inertes y toda materia prima que posea potencial de valorizarse por otro procesos o tratamientos (Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002). De acuerdo con el proceso de Pirólisis mencionado en la publicación de Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002, la corriente de residuos ingresa al proceso para ser triturado, permitiendo que se pueda alimentar un producto con tamaño uniforme. Luego, se procede a la separación de metales, con un imán que los remueve de la corriente de salida del triturador. La tolva alimenta la corriente a un reactor, el cual no debe tener ingreso de oxígeno, para no afectar la reacción de Pirólisis. El reactor puede ser calentado externamente, existiendo la posibilidad de emplear diseños que permitan el ingreso inicial de oxígeno para partir la Incineración de los residuos dentro del reactor, generando el calor interno suficiente para mantener el proceso. La descomposición de la materia orgánica ocurre a 400 °C, con una alimentación de oxígeno reducida o libre de oxígeno, para posteriormente, incrementar a 800 °C, generando las fracciones gaseosas, líquidas y solidas de los residuos (Moya, D. et al, 2017; Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002)

El gas que se produce se recolecta en un estanque de almacenamiento, dentro del cual, aquellos ácidos orgánicos y otros compuestos orgánicos pueden condensarse, eventualmente descargándose. Entre el 30 al 40% del gas producido por el proceso se requiere para entregar calor al reactor en el cual ocurre la reacción pirolítica, por lo que el porcentaje restante se puede emplear para otros procesos (Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002).

Aunque el gas sea pasado por una cámara de combustión secundaria, y sea tratada por una depuradora, hay una complejidad en la liberación de la corriente gaseosa, pues los compuestos orgánicos no han sido completamente removidos de esta corriente. Otro problema de esta tecnología es que no todos los metales y vidrios pueden ser removidos de la corriente de alimentación, por lo que, debido a las temperaturas de operación, estos materiales se tienden a licuar, y fomentan la generación de escoria, la cual puede afectar a la pirólisis (Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002).

II. Etapas del proceso

Las etapas principales del proceso de Pirólisis corresponden al proceso de pretratamiento, conversión y condensación de los gases, y recuperación energética. A continuación, se describen en mayor detalle:

- **Pretratamiento:** el proceso de Pirólisis requiere que se remuevan algunos residuos antes de ingresar al proceso, buscando obtener el mayor poder calorífico. Como tal, se realiza un retiro de metales, vidrios y material reciclable, y se retiran los residuos de mayor tamaño. Luego de la separación, se procede a la trituración de los residuos, para la reducción de su tamaño.
- **Conversión y condensación de los gases:** los residuos ingresan al reactor, en el cual dependiendo si se realiza Pirólisis lenta o rápida, se modifican las variables operativas y el escalamiento de la temperatura. El proceso generará una corriente de cenizas y otra de gases. Las cenizas deberán ser removidas y los gases tratados.
 - La corriente de gases es almacenada, para luego condensar una fracción de los gases que se encuentran disponibles en la corriente. Los demás gases podrán ingresar a la etapa de recuperación de energía.

- **Sistema de recuperación de energía:** el sistema de recuperación de energía opera en conjunto con el sistema de tratamiento de gases. Dependiendo del uso final de la energía, se pueden combinar procesos para la recuperación de energía. De acuerdo con ello, se pueden emplear los siguientes equipos:
 - **Turbina a gas:** genera energía eléctrica.
 - **Motor a gas:** genera energía eléctrica.
 - **Sin equipo:** genera gas sintético.

III. Productos a obtener

Se producen tres tipos de productos de este proceso (Kumar, A., 2017):

- Compuestos sólidos: cenizas, y un residuo compuesto de carbono y cenizas.
- Compuestos líquidos: condensado del gas producido por el proceso: bio-aceite, cera, y alquitrán (reciclables). De acuerdo con estudios de la pirólisis de plásticos, si esta fracción es destilada, se puede obtener un producto con propiedades similares al combustible diésel (Moya, D. et al 2017).
- Compuestos gaseosos: hidrogeno (H_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos, agua (H_2O), nitrógeno (N_2). El monóxido de carbono y metano, pueden ser empleados como combustible que entrega calor al gas de salida (Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002). El gas sintético que puede producirse de este proceso tiene una capacidad calorífica de 15 a 20 MJ/Nm³ (Moya, D. et al 2017).

IV. Características energéticas y de conversión

Muchos factores pueden influir en el proceso de Pirólisis. Se puede destacar la composición del material tratado, el tiempo de residencia, el tamaño de partícula y su estructura física. Cada compuesto tiene una diferente temperatura de descomposición, lo cual es de vital importancia, pues a una mayor temperatura, la cantidad de gases no condensables aumenta, mientras que, a menores temperaturas, se favorecerá la producción de un producto sólido de alta calidad (Czajczynska, D. et al 2017).

Cada material tiene una temperatura diferente para poder ser procesada por la tecnología de Pirólisis. En la Tabla 8-15 a continuación, se presentan las temperaturas para diferentes fuentes de residuos.

Tabla 8-15. Temperaturas de operación para Pirólisis de diferentes tipos de residuos.

Tipo de residuo	Temperatura de operación
Basura urbana	800 °C
Madera y plásticos	500 °C
Papel y neumáticos	600 °C
Biomasa y plásticos	400 °C

Fuente: Czajczynska, D. et al 2017.

El tiempo de residencia influye en el grado de conversión térmica del producto recibido. El tamaño de partícula y la estructura física influyen en la velocidad del proceso de Pirólisis para los residuos, por lo cual, cuando se emplean partículas de menor tamaño, se genera una descomposición térmica más rápida.

Alternativas de procesos de tratamiento, pueden considerar la pirólisis de ruedas fuera de servicio, y plásticos. En el caso de las ruedas, se puede producir tres fracciones (Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002):

- Gaseosa: mezcla de hidrocarburos, con bajo contenido de azufre. Posee un poder calorífico de 18.629 a 44.710 KJ/m³.
- Líquida: combustible que contiene menos del 1% de compuestos azufrados. Posee un poder calorífico de 42.000 KJ/kg³.
- Sólida: residuo compuesto de carbono, que contiene entre 2 a un 3% de azufre, y aproximadamente, 4 a 5% de Zinc. Posee un poder calorífico de 28.000 a 33.000 KJ/kg³.

V. Grado de estudio de la tecnología

La Pirólisis es un proceso industrial que ha estado siendo empleado por varios años, como una alternativa innovadora para el tratamiento de los RSDyA, obteniendo diferentes compuestos químicos y combustibles (Schaefer, 1975; Malkow, 2004). Esta tecnología apareció como una alternativa para la obtención de energía, a partir de un proceso más sustentable ambientalmente, en comparación con la Incineración, por su menor producción de óxidos nitrogenados (NO_x) y óxidos sulfurosos (SO₂), como consecuencia de la atmosfera inerte, al igual que la generación de gas sintético, para como combustible (Chen, D. et al., 2015).

Este proceso térmico de tratamiento era empleado para la generación de carbón a partir de biomasa, siendo aplicado posteriormente para el tratamiento de Residuos Municipales Sólidos, para la producción de sustancias que pueden ser dispuestas con facilidad, generando combustibles. Las condiciones de Pirólisis pueden ser optimizadas para la producción de residuos compuesto de carbono, o combustible líquido/gaseoso (Chen, D. et al., 2015).

El estudio realizado por el Ministerio de Energía (2018), denominado *Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana*, analizó la madurez de las tecnologías, de acuerdo con un universo de 1.596 plantas. Dentro de las tecnologías de tratamiento térmico, la Pirólisis tiene el menor número de plantas a nivel mundial, con 5 plantas, dentro del universo estudiado. Faltan mayores experiencias a nivel industrial, para poder emplear esta tecnología.

8.5.2 Tipos de residuos sólidos que puede tratar

El principal residuo que se considera para el procesamiento de los RSDyA por esta tecnología, corresponde a la materia orgánica, entregando como subproductos del proceso, corrientes compuestas de sólidos, líquidos y gases. Dependiendo de las técnicas de segregación de residuos empleados, la corriente que se alimenta podrá contener vidrios o metales (Kumar, A, 2017).

Sin embargo, en las industrias se han desarrollado procesos alternativos que compiten con el empleo de materiales que tienen potencial de ser reciclados y reusados, correspondiente a los plásticos y neumáticos fuera de uso (Moya, D. 2017; Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002). También ha sido reportado el tratamiento de otros residuos. tales como madera, papel, neumáticos y textiles (Czajczynska, D. et al 2017).

8.5.3 Costos de operación y de inversión

En el análisis solicitado por el Ministerio de Energía, en el *Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana*, se identificó que la información disponible para la tecnología de tratamiento de Pirólisis es insuficiente, pues la tecnología no ha logrado un nivel de operación comercial, información que se condice con el bajo número de plantas de pirolisis que fue identificado (5) en el estudio, del total analizado a nivel mundial 1591.

Sin perjuicio de lo anterior, en la etapa 2 se desarrolló una división de diferentes costos operativos y costos de inversión requeridos para la construcción de una planta de Pirólisis.

8.5.4 Condiciones ambientales

El proceso de pirolisis genera 3 corrientes de producto durante el tratamiento de los RSDyA, las cuales deben cumplir diferentes normativas. La corriente gaseosa, debe cumplir con las siguientes normativas, tomando en consideración que las normativas implementadas para plantas de Incineración y Co-incineración, también plantean la inclusión de la Pirólisis, dentro de sus regulaciones:

- Resolución 15. Anteproyecto de revisión de la norma de emisión para la incineración y co-incineración - Ministerio del Medio Ambiente.

Se detectó que hay ciertas sustancias que, al emplearse como combustibles, son menos contaminantes que los combustibles tradicionales, razón por la que se requiere modificar la norma, para que no se aplique a aquellos materiales o sustancias que, al ser empleados como combustibles, no generen emisiones riesgosas para la salud o el medio ambiente.

Se introducen modificaciones al DS 45.

- Decreto Supremo 29. Norma de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento y deroga decreto N° 45. Ministerio del Medio Ambiente.

Reconoce en el mercado, el ingreso de biocombustibles y combustibles alternativos, por lo que se debe cambiar el DS 45, modificando definiciones.

Se establecen los valores límites de emisión de material particulado para la Incineración, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, carbono orgánico total, monóxido de carbono, cadmio y sus compuestos, mercurio y sus compuestos, berilio y sus compuestos, plomo + zinc y sus compuestos, arsénico + cobalto + níquel + selenio + telurio y sus compuestos, antimonio + cromo + manganeso + vanadio, compuestos inorgánicos clorados gaseosos, compuestos inorgánicos fluorados gaseosos, benceno, dioxinas y furanos.

- Decreto Supremo 4/1992: Norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales del Ministerio de Salud.

Establece la norma de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP10.

- Decreto Supremo 89: Emisiones de polvo y material particulado.

Regula las medidas a implementar, para efectos de mitigar el impacto de las emisiones de polvo y material particulado en la ejecución de un trabajo.

La corriente gaseosa y corriente líquida que se plantean emplear como combustibles, más específicamente, biocombustible, se deben regir por las siguientes leyes:

- D.F.L 1: Deroga Decreto N° 20, de 1964, y lo reemplaza por las disposiciones que indica.

Establece el requerimiento de registrar los propietarios de las instalaciones que sirvan para la distribución, almacenamiento, abastecimiento, regasificación o comercialización de combustibles derivados del petróleo, biocombustibles líquidos, gases líquidos, combustibles y todo fluido gases combustibles.

El presidente, en conjunto con el Ministerio de Energía, podrá imponer deberes y obligaciones, que podrán versar entre operaciones de descarga, depósitos, instalaciones, condiciones que requieren las instalaciones, condiciones de seguridad, y las precauciones.

- Decreto 128: Crea Comisión Asesora Interministerial en materia de biocombustibles en Chile

Por mensaje presidencial del 21 de mayo del 2007, se anuncia que, dentro de las medidas para impulsar la industria del biocombustible, no se aplicaría el impuesto específico.

La Comisión Interministerial estará encabezada por el Ministro Presidente de la Comisión de Energía.

En el caso de la fracción de sólidos, se debe considerar que van a ser dispuestos en un relleno sanitario, requiriendo cumplir con las leyes asociadas a la disposición de estos residuos. En caso de que la corriente pueda contener compuestos peligrosos, se requerirá hacer un pretratamiento, y disponer como residuos sólidos industriales en rellenos de seguridad.

8.6 Tecnología de Tratamiento Térmico: Gasificación

8.6.1 Descripción de la tecnología

I. Control operacional

La gasificación requiere de un pretratamiento de los RSDyA que se ingresan al proceso, operando como una oxidación parcial, que tiene temperaturas de operación base que se encuentran entre 800 a 1.600 °C, en la cual se controla la alimentación de oxígeno. El proceso puede permitir una disminución de la masa en un 70% y una disminución del volumen del residuo en un 90% (Moya, et al. 2017).

II. Etapas del proceso

Las etapas principales del proceso de Gasificación corresponden al proceso de pretratamiento, conversión y recuperación energética. A continuación, se describen los procesos en mayor detalle:

- **Pretratamiento:** el proceso de Gasificación puede tratar todo tipo de residuos, recomendándose la remoción de vidrios, metales y arena, debido a su bajo poder calorífico. El pretratamiento consiste en un proceso de segregación, removiendo los residuos de menor poder calorífico y los residuos de mayor tamaño. Se procede con la trituración de los residuos, para la reducción del tamaño de las partículas y homogeneizar el material.
- **Conversión:** los residuos ingresan al reactor de Gasificación, y son tratados a alta temperatura. Del proceso se obtiene una fracción sólida (cenizas y escoria) y una fracción gaseosa (gas sintético).
- **Sistema de recuperación de energía:** el sistema de recuperación de energía opera en conjunto con el sistema de tratamiento de gases. Dependiendo del tipo de uso final de la energía, se puede combinar procesos para la recuperación de energía. De acuerdo con ello, se puede emplear los siguientes equipos:
 - **Caldera de agua caliente e intercambiador de calor:** genera calefacción.
 - **Caldera de agua caliente y torre de enfriamiento:** no se recupera energía.
 - **Caldera de vapor a baja presión:** genera vapor.
 - **Caldera de vapor a baja presión y torre de enfriamiento:** no se recupera energía.
 - **Caldera de vapor de alta presión y Turbina de vapor:** genera vapor y electricidad, o electricidad y calefacción.
 - **Caldera de vapor de alta presión, Turbina de vapor y Torre de enfriamiento:** no se recupera energía.
 - **Caldera de vapor de alta presión, Turbina de vapor e intercambiador de calor:** genera energía de calefacción y electricidad.
 - **Turbina de gas:** generación de solo electricidad.
 - **Motor de gas:** generación de solo electricidad.
 - **Sin equipo:** generación de gas sintético.

III. Productos a obtener

Se producen dos tipos de productos de este proceso (Kumar, A., 2017):

- Compuestos sólidos: cenizas y escoria.
- Compuestos gaseosos: gas sintético: hidrogeno (H_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), agua (H_2O) y nitrógeno (N_2). El gas sintético generado por este proceso es limpio y puede ser empleado para la generación de energía en turbinas o motores (Moya, et al., 2017).

IV. Características energéticas y de conversión

En el estudio de Arena, U (2012) se indica que esta tecnología posee un potencial práctico para la conversión de energía a partir de desechos, disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero y la disposición en Rellenos Sanitarios, empleando parte del calor producido durante el proceso, para gasificar el combustible remanente.

La tecnología de Gasificación se puede combinar con el proceso de Pirólisis, generando un producto con un poder calorífico mayor al del proceso de Pirólisis como tratamiento único, y se estima que este tipo de operación posee un potencial para ser aplicado como tecnologías de generación de energía, sin embargo, en la actualidad, este tipo de tecnología es cara, y puede que no se ocupe en sectores en que la tecnología de Pirólisis sea necesaria (Smith, A. et al., 2001; Li, X. et al., 2007; Yi, R., 2007; Ohmukai, Y. et al., 2008).

Esta tecnología de tratamiento de residuos también se puede combinar en procesos de biorefinerías, empleando sólido no recuperado (RDF) como materia prima a para producir gas sintético o biogás. Mediante la integración del sistema de Gasificación con la síntesis de combustible, se puede convertir el biogás en biodiesel, combustible de bio-jet, biometanol o bio etanol (Nair, R. et al. 2017). El potencial de empleo de estas tecnologías es alto, pues su producto puede emplearse como combustible para plantas térmicas, transporte o sector de calefacción.

En la actualidad, el proceso de Gasificación se puede diferenciar por los diferentes reactores que se pueden emplear para tratar a los residuos y las diferentes configuraciones de las plantas. Dentro de los diferentes tipos de reactores, se puede mencionar a los hornos rotatorios, hornos fijos, lecho fluidizado y *entrained bed*, *plasma reactors*, horno de eje vertical y horno de rejilla rotatorio (Arena, U. 2012).

El proceso de Gasificación requiere que se prepare previamente los RSDyA y Otros, pudiendo emplear como materia prima el combustible sólido no recuperado, o el producto de la digestión de la materia orgánica. Se requiere para ingresar al proceso, la remoción de todo material que no tenga la capacidad de ser empleado como combustible, pudiendo emplear una separación magnética para remover los metales (UNEP, 2015; Dalmo, F. 2018). Se puede emplear un proceso de secado, para que la materia prima ingrese con una humedad de un 15%, la cual es recomendada para la operación en gasificadores (Dalmo, F. 2018). Durante el proceso de Gasificación, se requiere controlar la cantidad de oxígeno que se alimenta al sistema, para evitar la combustión completa y fomentar la producción del biogás (Medina, A. et al. 2017). De acuerdo al manuscrito de Dalmo (2018), el biogás contiene trazas de compuestos sólidos y líquidos que se encuentran suspendidos en la corriente gaseosa. Cuando la corriente ingresa por un sistema de limpieza y purificación, el biogás se puede emplear para generar electricidad por medidas más eficientes, como turbinas y motores de combustión interna (Dalmo, F. et al. 2018).

V. Grado de estudio de la tecnología

El primer estudio formal conocido de Gasificación fue hecho por Thomas Shirley, en 1659, con las primeras experiencias en la producción de metano en minería de carbón, desde ese entonces, la tecnología de Gasificación ha sido refinada hasta poder ser empleada en el tratamiento de los residuos (Basu, P, 2010). Entre 1850 a 1940, el gas generado a partir del carbón se empleaba para la iluminación de las casas y las calles, al igual que para la calefacción. Fue luego del descubrimiento del gas natural, que el empleo de la tecnología de Gasificación disminuyó, desarrollándose nuevas tecnologías comerciales de Gasificación durante este periodo. Entre los años 1940 a 1975, la tecnología ingreso a la aplicación para la producción de combustibles sintéticos y de biogás (Basu, P. 2010).

Posterior al año 2000, respectivo al escenario producido por el calentamiento global, junto a desestabilización del sector de petróleo, la tecnología de Gasificación resurgió como una tecnología que puede ser empleada para la conversión de material renovable en biogás (Basu, P. 2010). A escala comercial, la operación de Gasificación de los RSDyA y Otros, provenientes de la industria y la gestión de las Municipalidades, ha sido empleado desde los años 90, siendo empleado en Japón y Corea (UNEP, 2015).

El grado de desarrollo de la tecnología de tratamiento por Gasificación, demuestra tres configuraciones: turbinas a vapor, turbinas a gas y arco de plasma (*Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana*. Ministerio Energía. 1261-5-LP17).

La diferencia en las tres configuraciones es en el proceso en el cual se emplea el gas sintético o el procesamiento posterior. En el caso de la Gasificación convencional con turbina a vapor, se genera gas sintético que se emplea en caldera de vapor, en el caso de la Gasificación convencional con turbina de gas, se emplea el gas sintético en turbinas a gas. La experiencia en la tecnología de Gasificación con turbina a vapor está enfocada principalmente en Japón (*Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana*, Ministerio de Energía: 1261-5-LP17). En la tecnología de Gasificación con plasma, se pasan los residuos por el centro de un gas ionizado a temperaturas mayores de 5.000 °C, pudiendo emplear calderas o turbinas para generar energía (*Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana*, Ministerio de Energía: 1261-5-LP17).

El estudio realizado por el Ministerio de Energía (2018), denominado *Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana*, analizó la madurez de las tecnologías, de acuerdo a un universo de 1.596 plantas. La tecnología de tratamiento por Gasificación se encuentra en el segundo lugar de tecnologías por tratamiento térmico que son empleadas dentro del universo analizado, con 133 plantas. La principal configuración de operación corresponde a la gasificación convencional turbinas de vapor (129 plantas), seguido de la gasificación con plasma con 4 plantas. Dentro del universo analizado, no se identificó la configuración de Gasificación convencional con turbinas a gas. Según ese estudio, las plantas de Gasificación no han alcanzado a un nivel de operación comercial, con un nivel de información disponible insuficiente o escasa.

8.6.2 Tipos de residuos sólidos que puede tratar

La Gasificación tiene la capacidad para tratar la materia orgánica de los residuos, al igual que materia inorgánica, como plásticos, papel, cartón, bebidas y cajas de leche, caucho y cuero, textiles, vidrio, metal, madera, suciedad, cenizas, otras multas, y baterías, poliestireno y pañales.

Al emplearse en combinación con otras tecnologías de tratamiento, se puede alimentar al proceso el producto de la Pirólisis, combustible sólido no recuperado (RDF) y/o el producto de la Digestión Anaerobia. Cuando se emplea como materia prima un subproducto de otra tecnología de tratamiento, se requiere cambiar las condiciones de operación del reactor y de los equipos de tratamiento de la corriente gaseosa, de acuerdo con las características del subproducto empleado como materia prima (Smith, A. et al., 2001; Li, X. et al., 2007; Yi, R., 2007; Ohmukai, Y. et al., 2008; Nair, R. et al. 2017).

Se recomienda ingresar al proceso, aquella materia que posea un potencial de emplearse para la generación de combustible, razón por la cual se debe procurar remover aquellos residuos que no cumplen con esta categoría, asegurando que no sea material reciclable, y/o metales (UNEP, 2015; Dalmo, F. 2018).

8.6.3 Costos de operación y de inversión

El análisis solicitado por el Ministerio de Energía, en el *Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana*, identifico que la información correspondiente a la tecnología de Gasificación es insuficiente para poder identificar el CAPEX y el Costo por tonelada, de la Gasificación por turbina de Vapor, la cual es la más empleada dentro de las tecnologías de Gasificación. La principal configuración de operación, corresponde a la gasificación convencional turbinas de vapor (129 plantas).

Respectivo a las otras dos tecnologías de gasificación restantes, es decir, gasificación con turbina de gas (0 plantas) y gasificación plasma (4 plantas), de las plantas construidas a la fecha del estudio (2018), solo 1 planta de gasificación plasma fuera de Japón se encuentra en operación comercial, sin embargo, ha presentado problemas de implementación y operacionales. Por esta razón, no se poseen datos de referencia que permitan desarrollar una estimación que pueda ser confiable al momento de analizar y comparar las tecnologías, tanto por nivel de madurez, como por escasez de datos fidedignos.

Sin perjuicio de lo anterior, en la etapa 2 se desarrolló una división de diferentes costos operativos y costos de inversión requeridos para la construcción de una planta de Gasificación.

En la Tabla 8-16 se presentan los datos de inversión y tamaño para una planta de Gasificación convencional con turbina a vapor, de acuerdo con el estudio solicitado por el Ministerio de Energía, *Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana*. 1261-5-LP17.

Tabla 8-16. CAPEX, para procesos de gasificación convencional con turbina de vapor

Tipo de tecnología/descripción	Gasificación convencional con turbina a vapor
Capacidad de tecnología	330.000 ton/año (3 líneas)
Costo de Inversión (MMUSD)	130
Inversión por tonelada*	---

Fuente: Ministerio de Energía, Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana. 1261-5-LP17. *La información de inversión por tonelada no se encuentra disponible.

Para estimar los costos totales, se debe incluir los costos de las contingencias, tal como se presentó en el proceso de incineración.

8.6.4 Condiciones ambientales

El proceso de gasificación genera 2 corrientes de producto durante el tratamiento de los RSDyA y Otros, que deben seguir diferentes normativas.

En el caso de la corriente gaseosa, durante el procesamiento de la corriente, se debe cumplir con las siguientes leyes, considerando que las normativas implementadas para Incineración y Co-incineración, también plantean la inclusión de la Gasificación, dentro de sus regulaciones.

- Resolución 15. Anteproyecto de revisión de la norma de emisión para la incineración y co-incineración - Ministerio del Medio Ambiente.

Se detectó que hay ciertas sustancias que, al emplearse como combustibles, son menos contaminantes que los combustibles tradicionales, razón por la que se requiere modificar la norma, para que no se aplique a aquellos materiales o sustancias que, al ser empleados como combustibles, no generen emisiones riesgosas para la salud o el medio ambiente.

Se introducen modificaciones al DS 45.

- Decreto Supremo 29. Norma de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento y deroga decreto N° 45. Ministerio del Medio Ambiente.

Reconoce en el mercado, el ingreso de biocombustibles y combustibles alternativos, por lo que se debe cambiar el DS 45, modificando definiciones.

Se establecen los valores límites de emisión de material particulado para la incineración, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, carbono orgánico total, monóxido de carbono, cadmio y sus compuestos, mercurio y sus compuestos, berilio y sus compuestos, plomo + zinc y sus compuestos, arsénico + cobalto + níquel + selenio + telurio y sus compuestos, antimonio + cromo + manganeso + vanadio, compuestos inorgánicos clorados gaseosos, compuestos inorgánicos fluorados gaseosos, benceno, dioxinas y furanos.

- Decreto Supremo 4/1992: Norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales del Ministerio de Salud.

Establece la norma de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP10.

- Decreto Supremo 89: Emisiones de polvo y material particulado.

Regula las medidas a implementar, para efectos de mitigar el impacto de las emisiones de polvo y material particulado en la ejecución de un trabajo.

Cabe destacar que el Decreto 29 se emplea, pues no existen normas específicas de emisiones atmosféricas especialmente enfocadas a las plantas de generación de energía. Las normas europeas son mucho más estrictas, por lo que se debería considerar un ajuste a las leyes una vez empiece a emplearse este tipo de

tecnologías (*Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana*, Ministerio de Energía: 1261-5-LP17).

En el caso de la fracción de sólidos, se debe considerar que van a ser dispuestos en un relleno sanitario, requiriendo cumplir con las leyes asociadas a la disposición de estos residuos. En caso de que la corriente pueda contener compuestos peligrosos, se requerirá hacer un pretratamiento, y disponer como residuos sólidos industriales en rellenos de seguridad.

DESARROLLO ETAPA 2

9 TECNOLOGÍAS DE PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS

9.1 Pretratamiento de residuos

9.1.1 Ficha de Tecnología

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y SU MANTENIMIENTO	
Fundamento de la tecnología	
<p>El pretratamiento de los residuos corresponde a un conjunto de técnicas que permite preparar los residuos para poder ser valorizados mediante diferentes alternativas tecnológicas.</p> <p>Las técnicas de tratamiento biológico o químico y de tratamiento térmico poseen sus técnicas de pretratamiento. Estas técnicas permiten determinar los rechazos del proceso que pueden afectar las tecnologías de tratamiento de los residuos y preparar los residuos para poder ser tratados y posteriormente valorizados en planta.</p> <p>La presente ficha tecnológica se enfoca en el pretratamiento de los residuos, para poder realizar el reciclaje o reuso de: residuos de gran volumen, plásticos, metales, papel y cartón, y vidrios.</p>	
Tecnologías disponibles	
Separación manual	<p>Operación de separación manual de los residuos, que requiere de un equipo de trabajadores, que, a partir de una pauta preestablecida, identifican los componentes de los residuos que corresponden a la línea de pretratamiento de la planta y cuales corresponden a rechazos.</p> <p>La labor de separación manual considera dentro de sus tareas, el desarme en piezas de algunos residuos de gran volumen.</p>
Separación magnética	<p>Es un proceso de separación que se emplea para eliminar las impurezas y separarlas de los materiales metálicos. Las configuraciones de equipos pueden considerar una superficie magnetizada sobre una cinta transportadora o un equipo suspendido del techo.</p> <p>Tecnología complementaria:</p> <p>Se puede emplear previamente una cinta vibratoria, para distribuir homogéneamente los residuos en la cinta transportadora.</p>
Trituración	Proceso empleado para reducir el volumen de los residuos, entregando un tamaño de partícula pequeño y homogéneo.
Compactación	Proceso de tratamiento que se emplea para aumentar el peso específico de los residuos, por tanto, disminuye el volumen de los residuos.

Lavado y secado	<p>El lavado y secado se emplea para eliminar las impurezas que pueden encontrarse en algunos residuos y que pueden afectar la capacidad de ser reciclado, tales como materia orgánica y productos químicos.</p> <p>Se debe considerar que cuando se emplea, la corriente líquida deberá ser tratada.</p>
Descripción	
<p>El reciclaje y reúso de los residuos permite la disminución efectiva de los desechos que son dispuestos en los sitios formalmente establecidos.</p> <p>Para poder realizar el proceso de reciclaje o reúso de los residuos, se requiere realizar una segregación de los residuos en origen, y proceder a su pretratamiento, para permitir que posean las características necesarias para poder ser valorizados.</p> <p>Las técnicas empleadas buscan una separación previa de los residuos, mediante la cual se determinan los rechazos, se reclasifican los residuos erróneamente ingresados y se tratan los residuos, de acuerdo con la categoría de ingreso (gran volumen, plásticos, metales, papel y cartón, y vidrios).</p> <p>Las tecnologías de trituración y compactación se emplean para disminuir el volumen de los residuos, y por consecuencia, disminuir los costos por el transporte hacia la planta de reciclaje o reúso. Las diferencias se encuentran en las características que obtiene el residuo que es tratado por esta tecnología.</p> <p>La trituración permite reducir el volumen, obteniendo un tamaño de partícula menor y homogéneo. Mientras que la compactación, aumenta el peso específico de los residuos para generar una reducción de su volumen.</p>	

Diagrama de Flujo

PRETRATAMIENTO

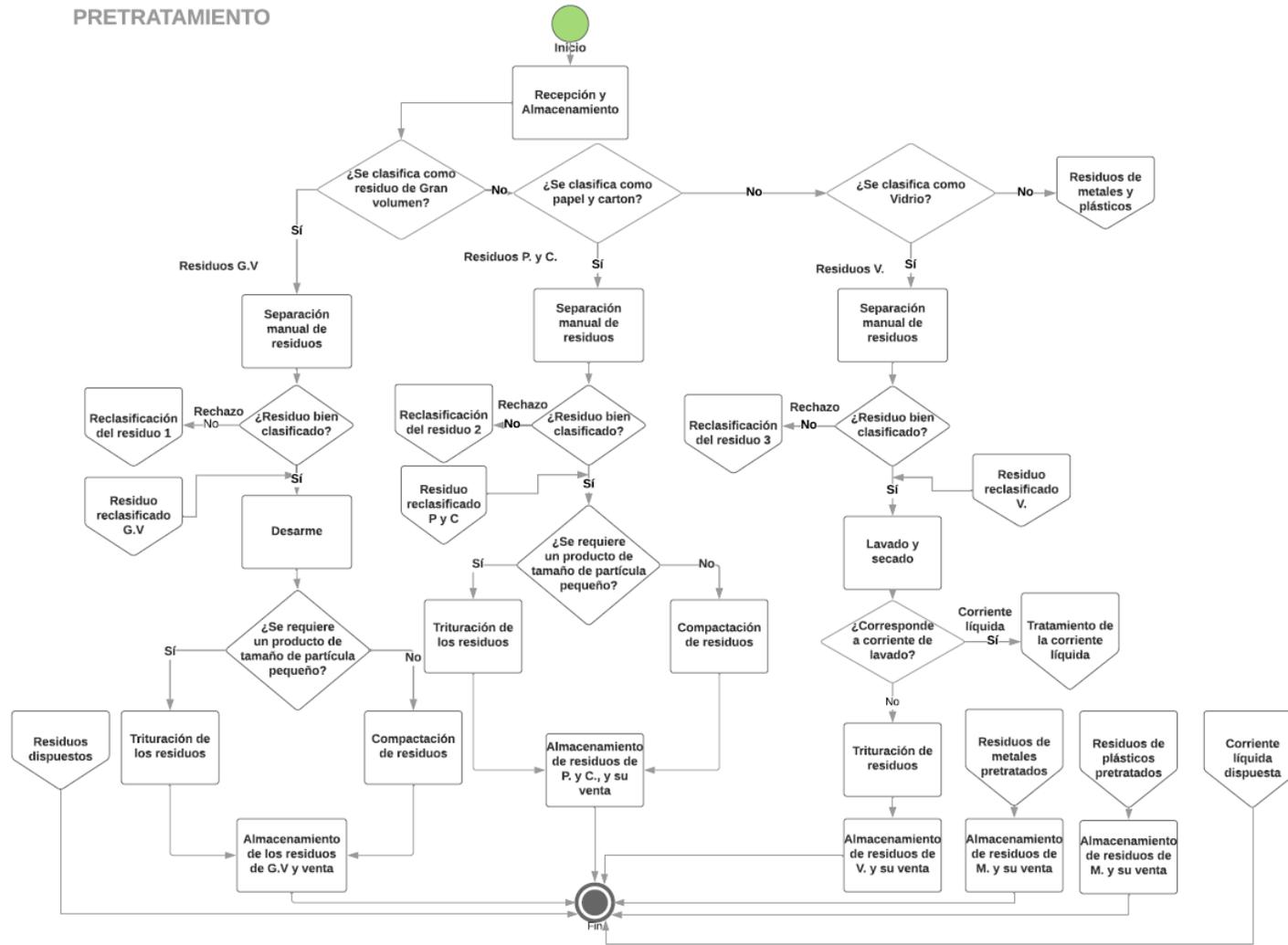


Diagrama de flujo de la tecnología de Pretratamiento parte 1. G.V corresponde a residuos de Grandes Volúmenes, P. corresponde a residuos plásticos, M. corresponde a residuos Metálicos, P. y C. corresponde a residuos de papel y cartón, y V. corresponde a residuos de vidrio.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Urtubia, E. 2017.

PRETRATAMIENTO

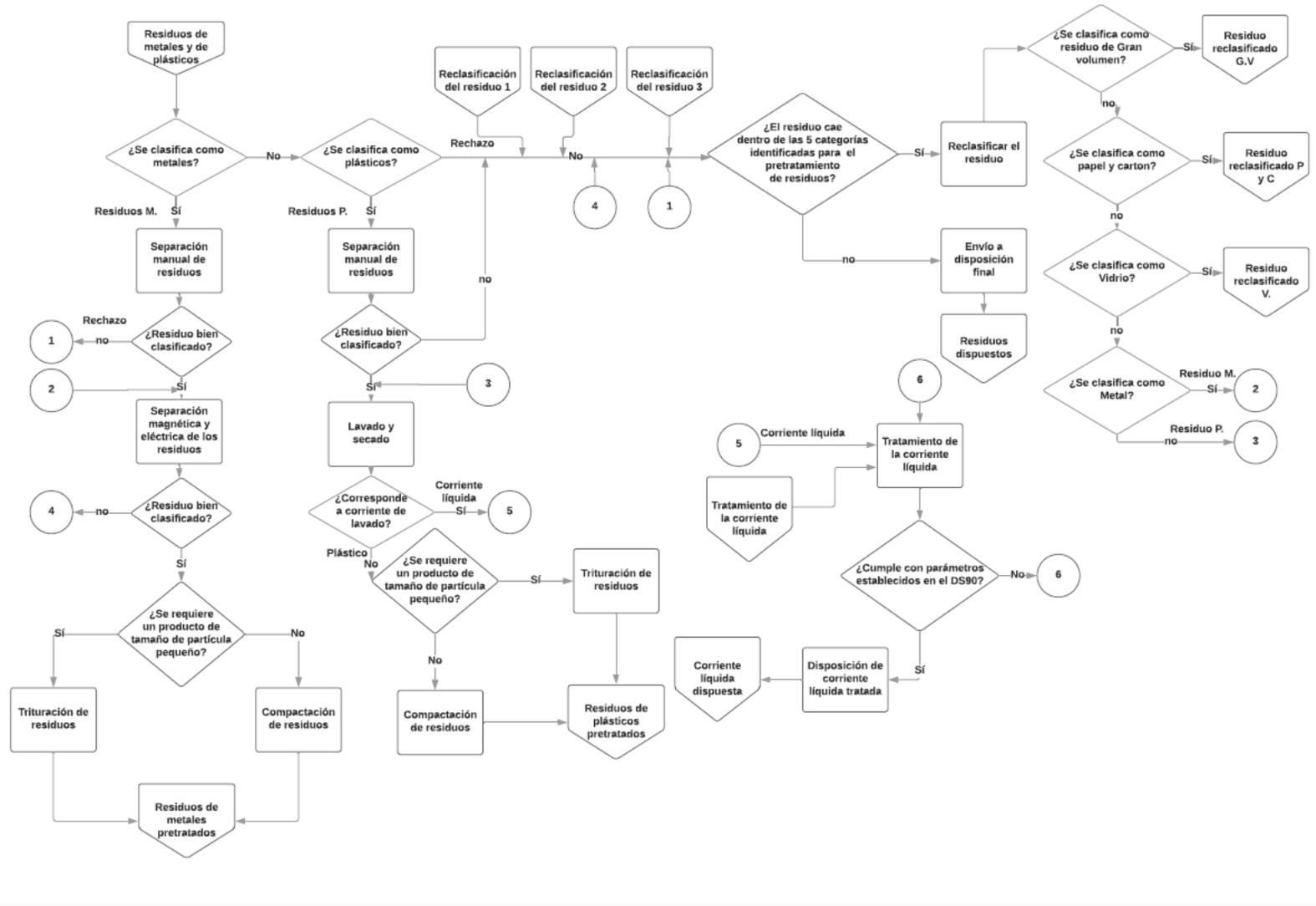


Diagrama de flujo de la tecnología de Pretratamiento parte 2. P. corresponde a residuos plásticos, M. corresponde a residuos Metálicos

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Urtubia, E. 2017.

Fotos Equipamiento



Plantas de Pretratamiento de residuos. En la imagen superior izquierda se encuentra la zona de recepción de envases ligeros. En la imagen inferior izquierda se presenta la planta de Pretratamiento de envases ligeros. En la imagen derecha se presenta la planta de Pretratamiento de residuos voluminosos.

Fuente: Tersa.

INDICADORES						
Madurez Tecnológica						
Índice de Madurez Tecnológica	Alta	X	Media		Baja	
Capacidad Instalada	Flexible, dependiendo de la generación de residuos (plantas de 10.000 a 100.000 ton/año o más).					
N° Plantas Operativas	1.200 plantas de Pretratamiento y reciclaje de plástico en Europa (Ecoprog, 2019). 380 plantas de Pretratamiento de papel y cartón en Europa (CIWM Journal Online, 2019) 82 plantas de Pretratamiento de vidrio en Europa (Recovery, 2019)					
Vida Útil del Proceso						
Vida útil media (años)	20					
Requerimientos Operacionales						
Para una planta con capacidad de tratamiento de 48.000 ton/año, se requieren 102 profesionales y se realiza un consumo de 696 L/mes.						
Se requiere por cada 1.000 kg de RSDyA y Otros a tratar:						
<ul style="list-style-type: none"> • 4,9 kWh de energía. 						

<ul style="list-style-type: none"> 0,55 m³ de agua. 	
Características y destino de los productos y/o residuos generados	
Rechazos del proceso de Pretratamiento	<p>El proceso de Pretratamiento al desarrollar una segregación en planta, genera un volumen de residuos rechazados que corresponden a aquellos que no cumplen con las características definidas de materiales a reciclar o reusar.</p> <p>Todo aquel residuo que sea un rechazo, y no pueda valorizarse por otra técnica de tratamiento de residuos, deberá ser dispuesto en el sitio de disposición legalmente establecido.</p>
Requerimientos del sustrato o residuo a utilizar	
Requisitos del residuo	<p>Todo residuo que ingrese a la planta requiere haber sido segregado previamente en origen de acuerdo con las categorías identificadas.</p> <p>La segregación en origen permite disminuir rechazos del proceso y los costos asociados a su disposición.</p>
Descripción Alternativa para fracción RSD no tratable	
<p>Los principales residuos que la planta de Pretratamiento definida no puede tratar, corresponden a: neumáticos, poliestireno, tejidos, y materia orgánica. A continuación, se presentan algunas alternativas de tratamiento que no corresponden a disposición final:</p> <ul style="list-style-type: none"> Los neumáticos se pueden triturar y después venderse para poder ser reutilizado. Alternativamente, se pueden emplear en el proceso de incineración. Los tejidos y el poliestireno podrán ser dispuestos, con la alternativa de poder ser empleados en el proceso de incineración. La materia orgánica podrá ser empleada en el compostaje, digestión anaerobia o incineración. 	
Estabilidad Operacional	
<p>Aspectos críticos de la operación:</p> <p>Segregación en Origen</p> <p>Riesgos asociados a fallas:</p> <p>Cuando los residuos que son recepcionados no han sido segregados, se incrementan los costos asociados a la disposición de los rechazos y se invierte una mayor fracción de HH para separar estos residuos de aquellos que pueden ser valorizados.</p>	

Mecanismos de contingencia:

Se requiere solicitar en los contratos, que se realice una segregación en origen para poder ingresar los residuos. Adicionalmente, considerar en los contratos, un límite de residuos que pueden ser rechazados, sobre ese monto, considerar el ajuste de la tarifa de disposición.

Requisitos Técnicos del Personal

Ingeniero	Ingeniero: Civil Industrial, Civil Comercial, Civil Químico, Civil Ambiental, Civil Bioquímico, Mecánico y Eléctrico.
Principales Instituciones Académicas Identificadas	Universidad de Chile, Universidad Técnico Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Mayor, Universidad la Frontera, Universidad del Bío-bío, Universidad Católica del Norte, Universidad Santiago de Chile, Universidad La Serena, Universidad Playa Ancha, Universidad Católica de Temuco y Universidad Tecnológica Metropolitana
Profesionales Universitarios	Finanzas, recursos humanos, gerente, supervisor de planta, ingeniero de gestión de residuos, y mantención de equipamiento.
Profesional Técnico y otros	Personal Técnico para operaciones.

Requerimientos para desarrollo

Capacidad (ton/año-planta)	48.000
Superficie requerida (m ²):	50.000

Restricciones de carácter territorial

La tecnología de Pretratamiento no posee una variable climática que afecte a la operación. La disponibilidad de los residuos será una de las principales características que definen el tipo de tratamiento a realizar.

La fracción orgánica en la gran totalidad de las comunas de las regiones, corresponde al principal residuo generado, seguido por el papel y cartón, y/o el plástico. De acuerdo con la composición, se requerirá darle a la planta de Pretratamiento un mayor enfoque para tratar papel y cartón, o el plástico.

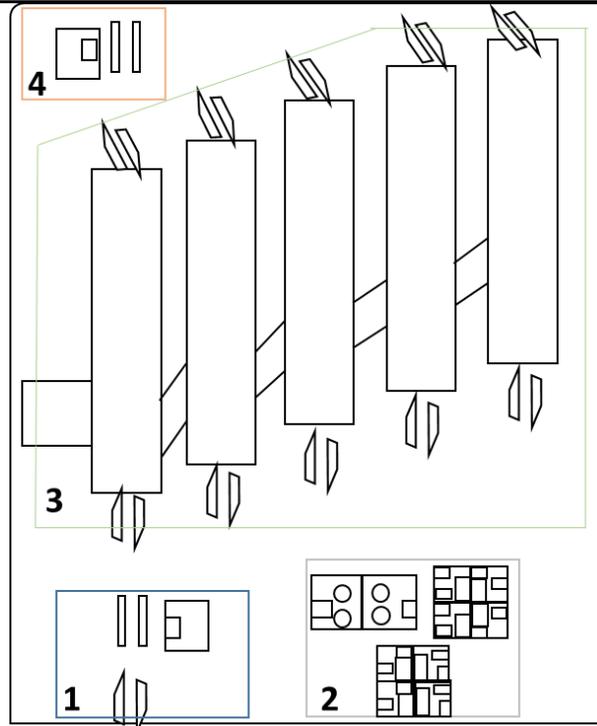
Composición de residuos por región.

Región	Materia Orgánica (ton/año)	Papel y Cartón (ton/año)	Plástico (ton/año)	Vidrio (ton/año)	Metales (ton/año)	Otros Residuos (ton/año)	No definido (ton/año)
Arica y Parinacota	74.060	18.120	13.950	8.509	2.810	22.706	
Tarapacá	83.209	23.142	31.738	4.337	2.083	29.852	
Antofagasta	122.781	19.140	33.969	16.890	9.691	96.622	
Atacama	51.532	13.658	14.089	2.755	2.892	23.535	
Coquimbo	199.617	42.382	46.071	9.781	5.463	38.385	
Valparaíso	648.746	71.590	85.050	17.523	11.701	85.227	3.300
Metropolitana	1.749.216	379.650	327.749	117.824	30.835	475.685	50.025

Libertador General Bernardo O'Higgins	173.361	49.730	49.180	12.342	10.246	56.957	0
Maule	184.247	68.893	49.920	10.836	4.375	35.941	14.816
Concepción	321.230	56.619	53.656	13.532	1.919	115.205	
Ñuble	96.795	11.199	14.778	4.650	0	21.827	
Araucanía	221.586	19.974	27.591	4.430	5.155	53.948	
Los Ríos	86.399	16.757	22.671	4.470	2.923	40.236	
Los Lagos	183.195	26.646	36.639	9.992	13.323	63.285	
Aysén del General Carlos Ibañez del Campo	26.914	3.734	7.779	1.331	2.645	9.455	
Magallanes y la Antártica Chilena	15.943	9.110	6.833	0	6.833	6.833	52.508

Fuente: Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.

Layout Planta Tipo



Layout de planta de Pretratamiento de residuos, para su reciclaje o reúso. En la zona 1, se encuentra el área del centro de recepción. En la zona 2, el área de servicios básicos. En la zona 3, se encuentra la planta de Pretratamiento de residuos, para su reciclaje o reúso. La zona 3 esta subdividida en una planta, para tratar uno de los 5 principales residuos definidos para esta planta (grandes volúmenes, plásticos, metales, papel y cartón, y de vidrio). La zona 4 corresponde al área del centro de despacho y disposición de residuos

Fuente: Diseño propio, adaptado de Urtubia, E., 2017.

Marco Normativo

Aspectos Legales

Ley 20.920, del Ministerio de Medio Ambiente - Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento del reciclaje. Decreto 7/2017, del Ministerio de Medio Ambiente - Reglamento del fondo para el reciclaje. Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente - Niveles máximos permitidos de presión sonora.

<p>Aspectos ambientales</p>	<p>Las principales consideraciones que debe tener la planta de Pretratamiento, son respectivas a la generación de ruido que se produce por su operación, la necesidad de disponer los residuos rechazados en la planta y el almacenamiento de los residuos.</p> <p>Considerando que algunos residuos como plásticos y vidrios se encuentran en contacto con materia orgánica, se requiere pretratar con prioridad a estos residuos.</p>
<p>Ley 20.920, del Ministerio de Medio Ambiente</p> <p>Establece la responsabilidad del generador de residuos, de internalizar los costos y externalidades negativas del manejo de residuos, fomentando el reúso y el reciclaje.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Se establecen los siguientes productos prioritarios: aceite de lubricante, aparatos eléctricos y electrónicos, envases y embalajes, neumáticos, pilas, baterías, diarios y revistas. ○ La necesidad de reciclar y reusar los residuos, puede impulsar los requerimientos de plantas de pretratamiento, para su selección y posterior venta. ○ Se establece en el anteproyecto de Ley, en la Resolución Exenta N° 544, las metas para envases y embalajes domiciliarios y no domiciliarios. <p>Decreto 7/2017, del Ministerio de Medio Ambiente</p> <p>Establece un fondo a cargo del Ministerio del Medio Ambiente, para financiar proyecto, programas y acciones que permitan prevenir la generación de residuos y su valorización.</p> <p>El fondo permite el financiamiento parcial o total de los proyectos, fomentando la separación en origen, recolección selectiva, reutilización, reciclaje y otros tipos de valorizaciones, que sean ejecutadas por Municipalidades o asociaciones de ellas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ En el llamado 2019, se financiaron proyectos de hasta 162 millones de pesos, respectivo al pilotaje de modelos de recolección selectiva y/o transporte de residuos domiciliarios y asimilables a domiciliarios, de acuerdo con la prioridad nacional de envases y embalajes. <p>El fondo establece 3 líneas principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Línea 1: Sensibilización ciudadana para prevenir la generación de residuos y fomentar la separación en origen, reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización. 	

- Línea 2: Promoción del conocimiento técnico Municipal y de los recicladores de base para prevenir la generación de residuos y fomentar la separación en origen, recolección selectiva, reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización.
- Línea 3: Implementación de proyectos de infraestructura para fomentar la reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización de residuos.

Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente

Esta normativa establece los límites de ruidos generados por fuentes de emisión, con la cual se puede establecer los horarios en los cuales está permitido ciertos decibeles, dependiendo de la zona en la cual se encuentre ubicada la planta.

Niveles máximos permitidos de Presión Sonora Corregida en db.

Zona y tipo de suelo	Horario 7 a 21 hrs	Horario 21 a 7 hrs
I: Residencial, espacio público y/o área verde	55	45
II: Zona I, que posee equipamiento.	60	45
III: Zona II, que posee actividades productivas y/o infraestructura.	65	50
IV: actividades productivas y/o de infraestructura	70	70

Fuente: DS N°38, 2014

9.1.2 Análisis de la Tecnología de Pretratamiento de los residuos

I. Principales características de la tecnología de Pretratamiento de residuos:

- La tecnología de pretratamiento de residuos se puede emplear para preparar los residuos para el reciclaje o reúso.
 - Esta tecnología muestra un potencial de ser utilizada, porque a nivel internacional las tendencias de reciclaje han incrementado. En Europa se han impuesto metas para obtener valores de reciclaje sobre el 60% para el 2035, en el sector de embalaje.
- El pretratamiento de los residuos puede ser empleado como una segunda etapa de segregación, que permitirá tener un mayor volumen de residuos, el cual pueda ser destinado a la industria de reciclaje y reúso.
 - El volumen que pueden generar es importante, pues es una de las principales limitantes con las que se encuentran los recicladores base al momento de negociar con las empresas de reciclaje.
- Después de la materia orgánica, los mayores residuos que se generan corresponden a los plásticos en segundo lugar, y el papel y/o cartón en el tercer lugar. Mediante esta tecnología, se puede preparar los residuos y disminuir la disposición en Rellenos Sanitarios.
- A nivel de país se genera un gran volumen de plásticos y papel y/o cartón. Dependiendo de las particularidades de la zona en la cual se puede implementar la tecnología, se podrá dar un mayor enfoque a la planta de pretratamiento, para la valorización de plásticos, o papel y/o cartón.

- Las plantas de pretratamiento se pueden ajustar de acuerdo con las necesidades de la Región. Esto quiere decir que se pueden ajustar al volumen producido, y a las características de los residuos.
 - Se pueden emplear tecnologías complementarias que permitan entregar un residuo tratado, acorde a las necesidades de la empresa de reciclaje o reúso. Como, por ejemplo: pellet de plástico y láminas de metal.
- La tecnología de pretratamiento de residuos, es factible técnicamente de implementar.
- Legalmente, las normativas están impulsando la implementación de estas tecnologías.
- Ambientalmente, su uso permitirá extender la vida útil de los Rellenos Sanitarios y disminuir los requerimientos de materia prima virgen.

II. Rol Actores Claves

Los Roles que deben tener los actores que están involucrados en el uso de la tecnología son:

- De acuerdo con el D.F.L. N°725/67 y la Ley de las Municipalidades, es el rol de las Municipalidades el encargarse de la gestión de los residuos.
- El DFL 1/2019 presenta el Texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695, sobre las Municipalidades. En la Municipalidad, la gestión de los residuos está a cargo de la Unidad de medio ambiente, aseo y ornato. Dentro de las funciones de la unidad, se define el servicio de extracción de basura, proponer y ejecutar medidas tendientes a materializar acciones y programas relacionados al medio ambiente, aplicar normas ambientales de su competencia y elaborar anteproyectos de ordenanza ambiental, existiendo la posibilidad de acuerdo al DFL 1/2019, de trabajar en la ordenanza con el Ministerio del Medio Ambiente.
- De acuerdo al DFL 1/2019, la recolección, transporte y/o disposición final de los residuos domiciliarios corresponde a una labor de las Municipalidades, con excepción de aquellas que se encuentren ubicadas en un área metropolitana y que convengan con el gobierno regional respectivo, la gestión de residuos parcial o total. El gobierno regional deberá contar con las autorizaciones respectivas de la Secretaría Regional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Salud.
- Para la obtención de fondos asociados a inversión pública, el DFL 1/2019 menciona que los gobiernos regionales podrán celebrar convenios formales anuales o plurianuales para sus programas de inversión los cuales pueden solicitar las Municipalidades. La Ley Orgánica Constitucional sobre gobierno y administración regional establece las normas generales que regulan la suscripción, ejecución y exigencias de los convenios.
- En el DFL 1/2019 se establece que: *la coordinación entre las municipalidades y entre estas y los servicios públicos que dependan o se relacionen con el Presidente de la República a través de un ministerio y que actúen en sus respectivos territorios, se efectuará mediante acuerdos directos entre estos organismos.* La coordinación entre Municipalidades y servicios públicos que dependan o se relacionen con el gobierno regional y que actúen en sus territorios, se efectuará mediante acuerdos directos.
- El DFL 1/2019 define que las Municipalidades elaboran las bases generales y específicas para los llamados a licitación.
- Como tal, las Municipalidades actúan como órgano intermedio, que interacciona con los Gobiernos Regionales, las Superintendencias, y los Ministerios. Al operar como un órgano intermedio,

también interacciona con la gente, obrando para tener una ciudadanía que tenga un uso sustentable del espacio en el que viven.

- Para el proceso de pretratamiento de los residuos, la Municipalidad tendrá un rol de gestor intermedio y de educador ambiental. Como tal, la Municipalidad tendrá que encargarse de educar a la población para poder segregar los residuos, en las cinco categorías definidas previamente.
- Como gestor intermedio, la Municipalidad se encargará de la licitación para la recepción y el transporte de los residuos, fiscalizando su buen funcionamiento.
- La operación de la planta que será seleccionada por un proceso de licitación y la correcta segregación de los residuos, permitirá que no se generen atascos en el sistema, y que la empresa encargada del pretratamiento de residuos, tenga menos rechazos del proceso, por tanto, que tenga que pagar menos en la disposición de los residuos.
- El rol de la empresa, corresponde a encargarse del funcionamiento de la planta de pretratamiento de los residuos y de la disposición de los residuos descartados. Por su parte, la empresa podrá generar ingresos por la venta del material que posee potencial de ser reusado o reciclado, y por el ingreso de los residuos a la planta.
- El Ministerio de Salud es un ente que actúa a través de sus Secretarías Regionales Ministeriales, denominada autoridad sanitaria. Según lo establecido en el DFL 725/2019 (última versión mayo 2019), se encuentra dentro de las labores del Ministerio de Salud, el velar por el cumplimiento de las disposiciones del DFL 725/2019, dentro de las cuales se identifican las atribuciones y obligaciones sanitarias de las Municipalidades. En el Artículo 11 del DFL 725/2019, se define que las Municipalidades deben recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del Servicio Nacional de Salud, las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana.
- La Ley 20.417 crea la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), un servicio público descentralizado que es supervisado por el Ministerio del Medio Ambiente. Dentro de las principales labores del SMA asociadas a proyectos de tratamiento y la gestión de residuos, se puede destacar que este organismo se encarga de: *ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las RCA, medidas de planes de prevención y/o descontaminación ambiental, contenido de normas de calidad y normas de emisión, y de planes de manejo*. La Superintendencia de Medio Ambiente lleva a cabo sus labores mediante fiscalización.
- El modelo de negocios y operación que se recomienda para este tipo de proyectos es el tipo BOT (Build-Operate-Transfer) o BOOT (Build-Own-Operate-Transfer). En la siguiente sección se describe por Modelo Canvas algunas características del modelo de negocios de esta tecnología.

9.1.3 Modelo de negocios de la Tecnología de Pretratamiento de los residuos



Figura 9-1. Modelo de negocios de la planta de pretratamiento de residuos.
Fuente: Elaboración propia, validado en jornada de discusión de la etapa 2.

10 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

10.1 Compostaje

10.1.1 Ficha de Tecnología

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y SU MANTENIMIENTO				
Fundamento de la tecnología				
<p>El compostaje es un proceso que consiste en la estabilización biológica de la fracción orgánica de los residuos, mediante una fermentación bacteriana termofílica de la materia orgánica. La operación se realiza en contacto permanente con el aire.</p> <p>El proceso de compostaje requiere de un apilamiento de la materia orgánica, la cual, en función de su característica inicial, puede requerir un pretratamiento. El pretratamiento puede corresponder a un proceso de trituración, mezclamiento y/o adición de humedad.</p>				
Tecnologías disponibles				
Compostación lenta o natural	<p>El proceso de compostación lenta consiste básicamente en dos etapas. Durante la primera etapa se realiza el compostaje en pilas, demorando entre 2 a 3 meses para lograr un compost maduro. Posteriormente, se procede a la formulación del material, de manera de obtener una formulación con la adecuada humedad y razón C/N, que permita su uso como fertilizante.</p> <p>Las pilas generadas tienen alturas de 1,2 a 2 metros, y requieren que periódicamente se remuevan y mezclen. De esta forma se mantiene alta la temperatura y aireación eliminándose olores molestos y vectores.</p> <p>Este sistema de fermentación no produce una calidad de compost constante a partir de la fracción orgánica de los residuos, pues la composición del sustrato es variable.</p>			
	<p>El proceso de compostación acelerada dura aproximadamente 7 días. Después de ese periodo, se procede a la maduración al aire libre que posee una duración de un mes.</p> <p>Mediante este proceso se pueden tratar desde 20 a 40 toneladas, que son distribuidas en pisos con un igual volumen de alimentación diario.</p> <p>Tipos de Variantes</p> <table border="1"> <tr> <td>Earp Thomas:</td> <td>Humsol:</td> </tr> <tr> <td>Descomposición rápida por intensa ventilación, con una operación al aire libre.</td> <td>Frecuentemente se añaden microorganismos para acelerar la fermentación en torre vertical.</td> </tr> </table>	Earp Thomas:	Humsol:	Descomposición rápida por intensa ventilación, con una operación al aire libre.
Earp Thomas:	Humsol:			
Descomposición rápida por intensa ventilación, con una operación al aire libre.	Frecuentemente se añaden microorganismos para acelerar la fermentación en torre vertical.			
Compostación acelerada				

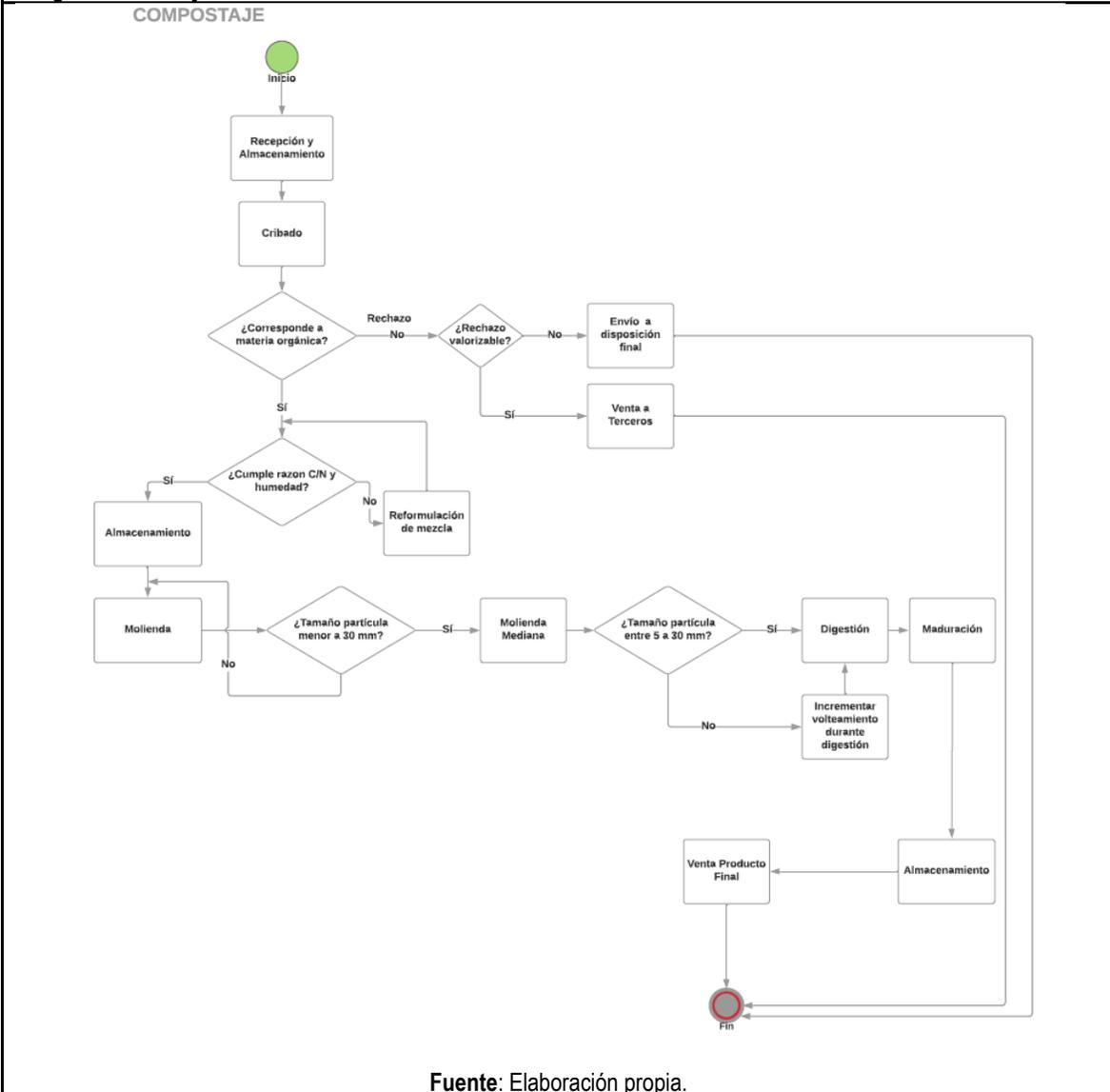
Descripción

El compostaje estabiliza la materia orgánica por medio de la acción de bacterias termofílicas que operan en un medio ambiente con una alimentación de oxígeno permanente.

Luego de un periodo en el cual se ha realizado el tratamiento microbiano, se obtiene un residuo que posee un menor volumen y que es de tipo húmico. El compost obtenido del proceso posee características que le permiten ser empleado como mejorador de suelos.

Este proceso permite reducciones de masa desde un 50 a un 80% de volumen de la materia orgánica que es tratada por el proceso.

Diagrama de Flujo



Fotos Equipamiento



Operación de una planta de compostaje. En la imagen izquierda se puede apreciar un volteador autopropulsado, y en la imagen derecha, un cargador frontal realizando el volteo de las pilas.

Fuente: Department of Primary Industries and Regional Development. Australia.



Pilas de compostaje, empleando GORE COVER (Fundas de protección).

Fuente: GORE COVER.



INDICADORES						
Madurez Tecnológica						
Índice de Madurez Tecnológica	Alta	X	Media		Baja	
Capacidad Instalada	Desde 0,18 a 365.000 ton/año.					
N° Plantas Operativas	6.713 plantas en Europa y Estados Unidos					
Vida Útil del Proceso						
Vida útil media (años)	20					
Requerimientos Operacionales						
Para una planta con capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año, se requieren 10 profesionales y se realiza un consumo de 1.677 Litros de combustible al mes.						
Se requiere en promedio por cada tonelada de la fracción orgánica de los residuos a tratar:						
<ul style="list-style-type: none"> • 0,04 m³ de agua. • 1,6 kWh de energía. 						
Características y destino de los productos y/o residuos generados						
Compost	Corresponde entre el 20 al 50% en masa de la materia orgánica que ingresa al tratamiento biológico. Este producto no posee olor, tiene una temperatura cercana a 20°C y una humedad del 60 al 70%.					

	Debido al tratamiento realizado, puede ser comercializado como mejorador de suelos o mejorador de tierra con bajo contenido orgánico.
Requerimientos del sustrato o residuo a utilizar	
Tamaño de partícula	5-30 mm
Pretratamiento requerido	Separación mecánica y/o manual de los residuos, seguido de un proceso de trituración.
Descripción	El proceso de compostaje requiere de una separación previa de los residuos para asegurar de que no ingresen desechos indeseables, y separar aquellos residuos de gran volumen. Posterior al proceso de separación, se procede con la trituración de los residuos para obtener el tamaño de partícula adecuado
Descripción Alternativa para fracción RSD no tratable	
La fracción no tratable corresponde a vidrios, papeles, cartón, metal, neumáticos, aparatos electrónicos y eléctricos. Los metales y vidrios podrán ser valorizados por un proceso de reciclaje, los neumáticos y plásticos pueden ser valorizados por un proceso de reciclaje (Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002), por su parte, los aparatos eléctricos y electrónicos, pueden ser reciclados. El papel puede ser empleado en el proceso de incineración por su poder calorífico.	
Estabilidad Operacional	
Aspectos críticos de la operación:	
La operación de la planta de compostaje requiere de una segregación previa de los residuos y de un proceso de trituración.	
Para la correcta operación del compostaje, se requiere controlar la temperatura, realizar análisis de la composición de residuos, volteado, humedad, pH, tamaño de la partícula y aireación.	
Condiciones climáticas a considerar: vientos y lluvia.	
Riesgos asociados a fallas:	
Si no se realiza una segregación previa, los residuos que ingresan a la planta de compostaje pueden afectar a los microorganismos durante el proceso. El proceso no permitirá obtener un producto que cumpla con las características definidas en la normativa, por lo que no podrá obtenerse un producto de calidad que pueda ser comercializado.	

La trituración de los residuos se requiere, pues un tamaño de partícula superior a 30 mm produce un exceso de aireación del sistema, mientras que un tamaño de partícula inferior a 5 mm, puede producir que las partículas creen poros que se llenan con agua, compactando los residuos y restringiendo el flujo de aire.

Si no se controlan las variables operativas durante el compostaje, los microorganismos no podrán estabilizar la materia orgánica. Por tanto, el producto no cumplirá con las características definidas en la normativa, requeridas para poder ser comercializado.

El viento puede disminuir la humedad de las pilas, al incrementar la evaporación. Adicionalmente, puede bajar la temperatura de operación.

Las lluvias pueden afectar en la operación del compostaje, generando lixiviados. Esta condición climática puede también bajar la temperatura de operación y la aireación del sistema.

Mecanismos de contingencia:

Se requiere realizar una segregación en origen, y en planta. La segregación en planta considera una segregación mecánica, reforzada por una segregación manual de los residuos.

El proceso de trituración de las partículas que ingresan al proceso está separado en dos. Primero se realiza una molienda gruesa y luego se procede a realizar una molienda mediana.

Para la correcta operación de las condiciones de la planta, el equipo de operarios requiere realizar mediciones de las condiciones operativas continuamente, realizando los balances de C/N, balances de C/P, aireación del sistema y volteo.

Para hacer frente a las condiciones de viento, se puede emplear fundas que cubran a las pilas, permitiéndoles mantener la humedad y temperatura de operación.

Para las condiciones de lluvia, se puede emplear una configuración de pilas redondeadas. Esta configuración permite el escurrimiento del agua por la superficie. Adicionalmente, se requiere emplear un drenaje y disminuir la tasa de volteo de las pilas.

Requisitos Técnicos del Personal		
Ingeniero		Ingeniero: Civil Industrial, Civil Comercial, Agrónomo y Civil Bioquímico
Principales Instituciones Identificadas	Académicas	Universidad de Chile, Universidad Técnico Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Santo Tomás.
Profesionales Universitarios		Supervisor de planta, finanzas y recursos humanos.
Profesionales Técnicos y otros		Personal técnico para operaciones.

Requerimientos para desarrollo														
Capacidad (ton/año-planta)	1.200	10.000												
Superficie requerida (m ²):	23.200	50.000												
Restricciones de carácter territorial														
<p>La distribución geográfica de Chile posee dos parámetros que pueden afectar en mayor medida a la operación del compostaje. Estos parámetros corresponden al viento y a la lluvia. Si esto ocurre, el compostaje se debe realizar bajo techo.</p> <p>El compostaje se puede realizar con una humedad media entre un 40% a un 70%, y alcanzar temperaturas de 32 a 60°C. En el caso de la Región de Tarapacá, y con información entregada por la I. Municipalidad de Alto Hospicio (Gescam, 2018), se ha determinado que posee los residuos una humedad de un 41%, por lo que entra dentro del rango de operación, existiendo la posibilidad de requerir mantener la humedad dentro de la operación.</p> <p>La realidad en la Región de los Lagos la humedad es superior. De acuerdo a la información entregada por la I. Municipalidad de Llanquihue (Asociación Municipalidades Llanquihue, 2017), la humedad promedio de sus RSDyA se encuentra entre un 60 a un 70%, por lo que se requiere considerar trabajar en galpones y el uso de fundas, para no incrementar la humedad durante el compostaje. El empleo de las fundas y de galpones podrá proteger a las pilas de la acción del viento.</p> <p>En la siguiente tabla resumen se presentan las condiciones climáticas de cada región de Chile.</p> <p style="text-align: center;">Condiciones climáticas por Región.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Región</th> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Clima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #d9e1f2;">Arica y Parinacota</td> <td style="background-color: #d9e1f2;">Desértico costero nuboso: precipitaciones de 3mm/año. Desértico interior: precipitaciones de 0 mm/año. Desértico marginal de altura: precipitaciones de 50 a 100 mm/año. Estepa altura: precipitaciones de 300 mm/año.</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9e1f2;">Tarapacá</td> <td style="background-color: #d9e1f2;">Desértico costero nuboso: precipitaciones de 0 a 2,6 mm/año. Desértico interior: precipitaciones de 0 mm/año. Desértico marginal de altura: precipitaciones de 50 a 100 mm/año. Estepa altura: precipitaciones de 300 mm/año.</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9e1f2;">Antofagasta</td> <td style="background-color: #d9e1f2;">Costero Nuboso. Desértico Interior. Desértico Marginal. Estepa de altura: precipitaciones inferiores a 100 mm/año.</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9e1f2;">Atacama</td> <td style="background-color: #d9e1f2;">Desértico litoral: precipitaciones de 18 mm/año. Desértico interior. Desértico marginal. Desértico marginal de altura: precipitaciones de 250 mm/año.</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9e1f2;">Coquimbo</td> <td style="background-color: #d9e1f2;">Estepárico costero o nuboso: precipitaciones de 130 mm/año. Estepa cálido: ausencia de nubosidad y sequedad del aire. Templado frío de altura: altas precipitaciones.</td> </tr> </tbody> </table>			Región	Clima	Arica y Parinacota	Desértico costero nuboso: precipitaciones de 3mm/año. Desértico interior: precipitaciones de 0 mm/año. Desértico marginal de altura: precipitaciones de 50 a 100 mm/año. Estepa altura: precipitaciones de 300 mm/año.	Tarapacá	Desértico costero nuboso: precipitaciones de 0 a 2,6 mm/año. Desértico interior: precipitaciones de 0 mm/año. Desértico marginal de altura: precipitaciones de 50 a 100 mm/año. Estepa altura: precipitaciones de 300 mm/año.	Antofagasta	Costero Nuboso. Desértico Interior. Desértico Marginal. Estepa de altura: precipitaciones inferiores a 100 mm/año.	Atacama	Desértico litoral: precipitaciones de 18 mm/año. Desértico interior. Desértico marginal. Desértico marginal de altura: precipitaciones de 250 mm/año.	Coquimbo	Estepárico costero o nuboso: precipitaciones de 130 mm/año. Estepa cálido: ausencia de nubosidad y sequedad del aire. Templado frío de altura: altas precipitaciones.
Región	Clima													
Arica y Parinacota	Desértico costero nuboso: precipitaciones de 3mm/año. Desértico interior: precipitaciones de 0 mm/año. Desértico marginal de altura: precipitaciones de 50 a 100 mm/año. Estepa altura: precipitaciones de 300 mm/año.													
Tarapacá	Desértico costero nuboso: precipitaciones de 0 a 2,6 mm/año. Desértico interior: precipitaciones de 0 mm/año. Desértico marginal de altura: precipitaciones de 50 a 100 mm/año. Estepa altura: precipitaciones de 300 mm/año.													
Antofagasta	Costero Nuboso. Desértico Interior. Desértico Marginal. Estepa de altura: precipitaciones inferiores a 100 mm/año.													
Atacama	Desértico litoral: precipitaciones de 18 mm/año. Desértico interior. Desértico marginal. Desértico marginal de altura: precipitaciones de 250 mm/año.													
Coquimbo	Estepárico costero o nuboso: precipitaciones de 130 mm/año. Estepa cálido: ausencia de nubosidad y sequedad del aire. Templado frío de altura: altas precipitaciones.													

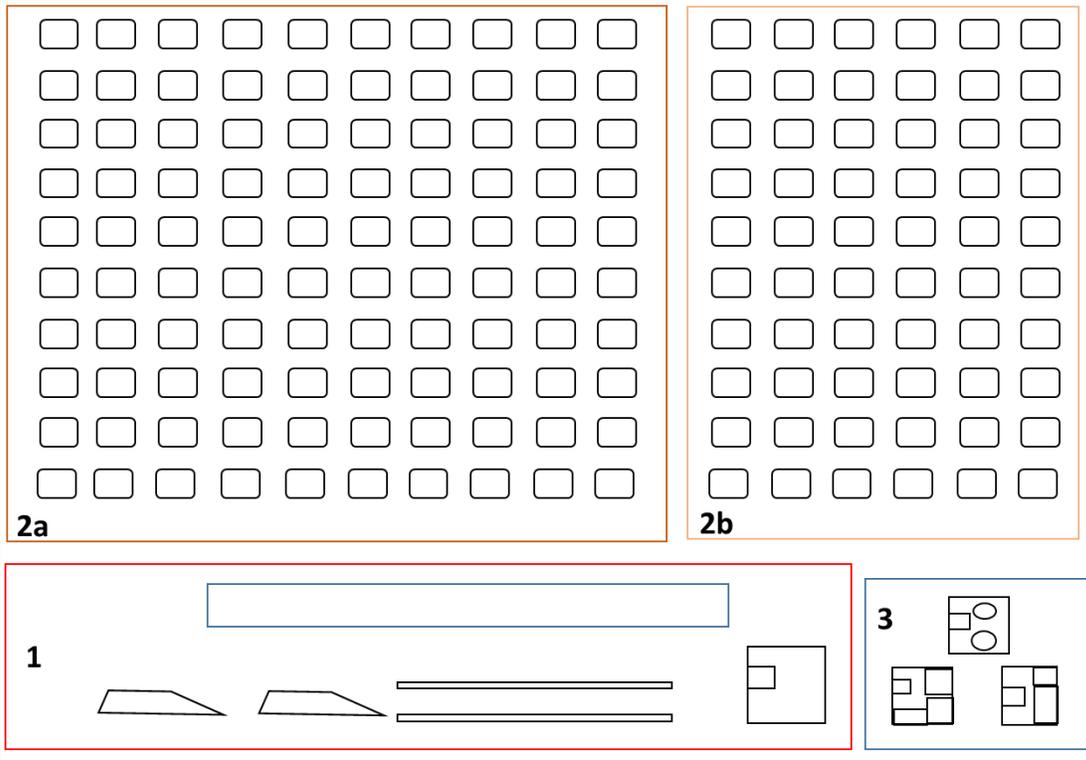
Región	Clima
Valparaíso	Estepa cálido: precipitaciones de 150 a 200 mm/año. Templado mediterráneo costero: precipitaciones de 450 mm/año. Templado mediterráneo cálido: precipitaciones de 250 a 300 mm.
Libertador General Bernardo O'Higgins	Templado mediterráneo: precipitaciones mayores en la costa.
Metropolitana	Mediterraneo: precipitaciones anuales de 356,2 mm (son irregulares).
Maule	Templado tipo mediterraneo: seis meses secos en el norte y 4 meses secos en el sur. Templado mediterraneo costero. Templado mediterraneo cálido.
Biobío	Templado húmedo: precipitaciones entre 1.200 a 2.000 mm/año. Templado costero húmedo: precipitaciones de 1.330 mm/año. Frío de altura: 2.000 mm/año.
Ñuble	Templado húmedo: precipitaciones entre 800 a 1.000 mm/año. Templado mediterraneo: precipitaciones entre 1.000 a 1.500 mm/año.
Araucanía	Templado oceánico lluvioso: precipitaciones entre 1.500 a 2.500 mm/año. Templado oceánico de costa occidental: precipitaciones de 1.000 a 1.500 mm/año. Frío de altura: precipitaciones de 3.000 mm/año.
Los Ríos	Templado lluvioso: régimen de precipitaciones con ausencia de periodos secos en el año. Precipitaciones de 2.034 mm/año.
Los Lagos	Templado lluvioso: régimen de precipitaciones con ausencia de periodos secos en el año. Precipitaciones de 2.039 mm/año.
Aysén del General Carlos Ibañez del Campo	Frío oceánico: precipitaciones de 3.000 a 4.000 mm/año. Estepa fría: precipitaciones de 621 a 1.385 mm/año.
Magallanes y de la Antártica Chilena	Zona Occidental Archipiélica: precipitaciones de 3.500 mm/año. Frío de altura: precipitaciones de 2.000 mm/año. Zona trasandina: escasas precipitaciones.

Fuente: Banco Nacional de Chile, 2019.

La planta diseñada se debe ajustar para poder operar en las diferentes regiones.

- En las regiones de la zona norte y central, las precipitaciones son mínimas, por lo que se requiere considerar los requerimientos de alimentar agua a las pilas, para mantener las condiciones operativas.
- En las regiones de la zona sur, la precipitación es superior a los 800 mm/año. Para esos casos se requiere considerar la configuración de pilas redondeadas y el empleo de fundas para las pilas o la construcción de galpones. Cuando las precipitaciones sean de todo el año, se debiese considerar construir un galpón en el cual se distribuyan las pilas, y la necesidad de aireación con aire precalentado, para mantener la temperatura de operación durante las diferentes etapas de maduración del compost.

Layout Planta Tipo



Layout de una planta de compostaje. En la zona 1, se encuentra el centro de recepción de los residuos. En la zona 2a, la cancha de trabajo, que considera la zona de maduración. En la Zona 2b. se encuentra la cancha de trabajo, que considera la zona de compost maduro. En la zona 3, se encuentra las instalaciones básicas (baño, casino y oficina).

Fuente: Elaboración propia.

Marco Normativo

Aspectos Legales	NCh 2.880 del Instituto Nacional de Normalización - Clasifica el compost para su comercialización. Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente - Niveles máximos permitidos de presión sonora.
Aspectos Ambientales	Las normativas están enfocadas a la calidad del compost y los niveles de ruidos que puede generar la operación de la planta, por ello, el aspecto ambiental tiene que ser considerado en la correcta operación de la planta. El compostaje puede generar efectos medioambientales, como la atracción de vectores y

	<p>patógenos. Por ello, se requiere de un control del proceso y mantención de las condiciones operativas.</p> <p>Durante la operación del compostaje se pueden generar malos olores. Por ello, se recomienda el empleo de tecnologías complementarias, como fundas para las pilas.</p>
--	--

NCh 2.880 del Instituto Nacional de Normalización

La Normativa Chilena clasifica al compost en dos tipos de calidades de acuerdo a las características que posee el producto:

- Compost clase A: Producto de alta calidad, que posee concentraciones de metales pesados baja, conductividad eléctrica menor a tres decisiemens por metros y una relación de carbono/nitrógeno de 25. Este tipo de compost puede ser empleado sin ninguna restricción.
- Compost Clase B: Debe cumplir con tener concentraciones de metales inferiores al establecido en la NCh 2.880, conductividad eléctrica menor a 8 decisiemens y relación carbono/nitrógeno menor o igual a 3. Este producto posee restricciones en su uso. En países como España, este compost puede ser empleado para el sellado de vertederos, recuperación de suelos degradados por actividades industriales o mineras (Ansorena, J. et al. 2019).

La norma establece los siguientes parámetros para el producto:

Parámetros requeridos para comercialización del compost

Parámetro	Valor
Humedad	≤ 85% en base húmeda
Contenido de Nitrógeno	0,5% en base seca
Contenido de materia orgánica	≥ 20%
pH	5 a 8,5
Contenido de Fluoranteno	5 mg/kg
Contenido de Benzo fluoranteno	2,5 mg/kg
Contenido de benzopireno	2 mg/kg

Fuente: NCh 2.880

Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente:

Esta normativa establece los límites de ruidos generados por fuentes de emisión, con la cual se puede establecer los horarios en los cuales está permitido ciertos decibeles, dependiendo de la zona en la cual se encuentre ubicada la planta.

Niveles máximos permitidos de Presión Sonora Corregida en db.

Zona y tipo de suelo	Horario 7 a 21 hrs	Horario 21 a 7 hrs
I: Residencial, espacio público y/o área verde	55	45
II: Zona I, que posee equipamiento.	60	45
III: Zona II, que posee actividades productivas y/o infraestructura.	65	50
IV: actividades productivas y/o de infraestructura	70	70

Fuente: DS N°38, 2014.

10.1.2 Análisis de la Tecnología de Compostaje

I. Principales características de la tecnología de Compostaje:

- Para poder emplear esta tecnología, se requiere que se realice una buena segregación en origen de los residuos.
- La tecnología de compostaje se puede emplear para el tratamiento de la fracción orgánica, la cual corresponde al 57,1% de los residuos generados en Chile (Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.).
- A nivel internacional, es una tecnología ampliamente empleada para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos.
 - En Europa, el 9,9% de los RSDyA son compostados (Scarlat, 2018).
- En Chile, esta tecnología está siendo impulsada por el programa Reciclo Orgánico, ejecutado por el Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá, bajo el Acuerdo de Cooperación ambiental Canadá-Chile.
- Es una tecnología que puede escalarse, pero requiere de una amplia superficie de terreno. En el caso del compostaje lento o natural, se debe tener la disponibilidad superficie para mantener las pilas durante la digestión (3 meses) y su maduración (1 mes).
 - Debido a la posible emisión de olores durante el compostaje y maduración, se recomienda localizar la planta en un sector rural.
 - Al localizar la planta en un sector rural, se disminuyen los costos del terreno requerido, para la planta, pero aumentan los de transporte.
- La tecnología de compostaje es técnica y ambientalmente factible de emplear en la zona norte y centro, con la precaución del dimensionamiento y de la cercanía a zonas pobladas, debido a las posibles emisiones de olores durante el proceso de compostaje y maduración.
- En la Zona Sur de Chile, es factible técnica y ambientalmente emplear esta tecnología, considerando los costos de construcción de galpones para las pilas, los costos de inversión para las fundas y costos de inversión para el sistema de aireación y precalentamiento de aire. Estos costos generarán un incremento de la inversión de la tecnología, considerando los requerimientos de superficie que posee.
- Es legalmente factible la implementación de esta tecnología, y la comercialización del compost, siempre y cuando se pueda realizar la correcta segregación de los residuos y se cumpla con la normativa vigente de la calidad del compost.

II. Rol Actores claves:

Los Roles que deben tener los actores que están involucrados en el uso de la tecnología son:

- De acuerdo con el D.F.L. N° 725/67, es responsabilidad de la Municipalidad encargarse de la recolección, transporte y eliminación de la basura, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana, mediante un método adecuado. Por lo tanto, es responsabilidad de las Municipalidades encargarse de la gestión de los residuos.
- El DFL 1/2019 presenta el Texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695, sobre las Municipalidades. En la Municipalidad, la gestión de los residuos está a cargo de la Unidad de medio ambiente, aseo y ornato. Dentro de las funciones de la unidad, se define el servicio de extracción de basura, proponer y ejecutar medidas tendientes a materializar acciones y programas relacionados al medio ambiente, aplicar normas ambientales de su competencia y elaborar anteproyectos de

ordenanza ambiental, existiendo la posibilidad de acuerdo con el DFL 1/2019, de trabajar en la ordenanza con el Ministerio del Medio Ambiente.

- De acuerdo con el DFL 1/2019, la recolección, transporte y/o disposición final de los residuos domiciliarios corresponde a una labor de las Municipalidades, con excepción de aquellas que se encuentren ubicadas en un área metropolitana y que convengan con el gobierno regional respectivo, la gestión de residuos parcial o total. El gobierno regional deberá contar con las autorizaciones respectivas de la Secretaría Regional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Salud.
- Para la obtención de fondos asociados a inversión pública, el DFL 1/2019 menciona que los gobiernos regionales podrán celebrar convenios formales anuales o plurianuales para sus programas de inversión los cuales pueden solicitar las Municipalidades. La Ley Orgánica Constitucional sobre gobierno y administración regional establece las normas generales que regulan la suscripción, ejecución y exigencias de los convenios.
- En el DFL 1/2019 se establece que: *la coordinación entre las municipalidades y entre estas y los servicios públicos que dependan o se relacionen con el Presidente de la República a través de un ministerio y que actúen en sus respectivos territorios, se efectuará mediante acuerdos directos entre estos organismos.* La coordinación entre municipalidades y servicios públicos que dependan o se relacionen con el gobierno regional y que actúen en sus territorios, se efectuará mediante acuerdos directos.
- El DFL 1/2019 define que las Municipalidades elaboran las bases generales y específicas para los llamados a licitación.
- Como tal, las Municipalidades actúan como órgano intermedio que interacciona con los Gobiernos Regionales, las Superintendencias, y los Ministerios. Al operar como un órgano intermedio, también interacciona con la gente, obrando para tener una ciudadanía que tenga un uso sustentable del espacio en el que viven.
- Las personas, como generadoras de residuos, tienen la responsabilidad social y medio ambiental de asegurarse de que se disponga su basura en los basureros designados, para que la Municipalidad se encargue de gestionar su disposición.
- El Ministerio de Salud es un ente que actúa a través de sus Secretarías Regionales Ministeriales, denominada autoridad sanitaria. Según lo establecido en el DFL 725/2019 (última versión mayo 2019), se encuentra dentro de las labores del Ministerio de Salud, el velar por el cumplimiento de las disposiciones del DFL 725/2019, dentro de las cuales se identifican las atribuciones y obligaciones sanitarias de las Municipalidades. En el Artículo 11 del DFL 725/2019, se define que las Municipalidades deben recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del Servicio Nacional de Salud, las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana.
- La Ley 20.417 crea la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), un servicio público descentralizado que es supervisado por el Ministerio del Medio Ambiente. Dentro de las principales labores del SMA asociadas a proyectos de tratamiento de residuos y la gestión de residuos, se puede destacar que este organismo se encarga de: *ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las RCA, medidas de planes de prevención y/o descontaminación ambiental, contenido de normas de calidad y normas de emisión, y de planes de manejo.* La Superintendencia de Medio Ambiente lleva a cabo sus labores mediante fiscalización.
- El trabajo que se realizó en la Etapa 1 del proyecto, con las entrevistas a Municipalidades y Gobiernos Regionales, ha demostrado que, en algunas localidades, esta tecnología se encuentra en las primeras etapas de aplicación y aún requiere solucionar problemas técnicos para poder cumplir con el ciclo de

segregación de los residuos. El trabajo actual está enfocado en la recolección por parte de las empresas que están ejecutando este servicio transporte a las Municipalidades, y, por otra parte, enfocado en continuos planes de enseñanza a la población, respectivo a como separar los productos reciclables de los no valorizables, y de separar la fracción orgánica.

- Como Municipalidad, y considerando que el servicio de compostaje puede ser realizado por una empresa subcontratada que se encargue de la operación, el principal enfoque del Municipio será el de mantener la educación ambiental de la población, asegurar la correcta segregación de la fracción orgánica, fomentar el uso de bolsas biodegradables para que las usen sus pobladores, y así, las bolsas no generen problemas durante el compostaje y limiten la transferencia de oxígeno, tal como fue recomendado por Fundación Chile.
- Respectivo al transporte, luego de la discusión con diferentes entidades gubernamentales, durante la Etapa 1 del proyecto, se puede considerar dos modalidades de licitación del transporte: la primera, pensada en turnos de los recorridos, dependiendo del tipo de residuo, y la segunda, considerando que se contrate el servicio de transporte en licitaciones distintas, considerando una para la fracción reciclable, otra para la orgánica y una tercera para la disposición final en Relleno Sanitario.
- El rol que tendrá la empresa subcontratada, seleccionada tras un proceso de licitación, es encargarse de la operación de la planta, considerando la mantención de las condiciones operativas del compostaje, encargándose de la posterior venta del producto, y también generando ingresos, por el costo de recepción de los RSDyA. La materia prima que entra a la planta de compost, tendrá que ser analizada por la empresa, requiriendo tener una fracción de rechazos, que la Municipalidad, a través del servicio de transporte de los residuos, deberá disponer en los sitios finales de disposición definidos.
- El modelo de negocios y operación que se recomienda para este tipo de proyectos es el tipo BOT (Build-Operate-Transfer) o BOOT (Build-Own-Operate-Transfer). En la siguiente sección se describe por Modelo Canvas algunas características del modelo de negocios de esta tecnología.

10.1.3 Modelo de negocios de la tecnología de Compostaje

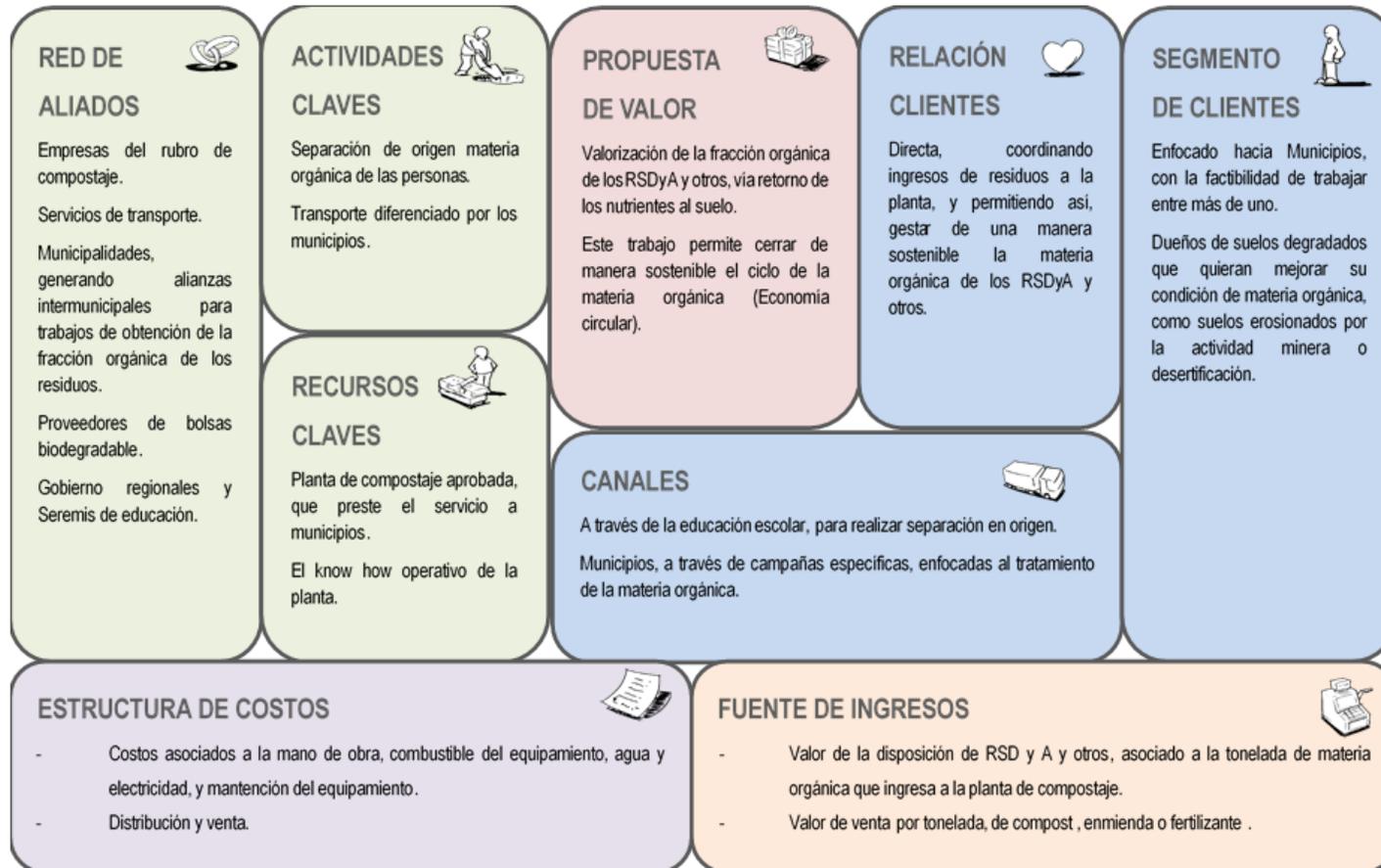


Figura 10-1. Modelo de negocios de la planta de Compostaje.
Fuente: Elaboración Propia, validado en jornada de discusión de la etapa 2.

10.2 Digestión Anaerobia

10.2.1 Ficha de Tecnología

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y SU MANTENIMIENTO	
Fundamento de la tecnología	
<p>La Digestión Anaerobia es un proceso biológico empleado para lograr la estabilización de la materia orgánica, que se da de manera natural en ausencia de oxígeno. En ella participan comunidades de microorganismos que consumen la materia orgánica, metabolizándola y transformándola en biogás principalmente. Como subproducto del proceso adicionalmente se genera una biomasa estabilizada, rica en nutrientes y apta para su uso como fertilizante. El desarrollo de la Digestión Anaerobia como proceso de tratamiento de residuos, se realiza utilizando equipos denominados digestores, acondicionados para mantener las condiciones ideales en el medio, que favorezcan la degradación como un sistema estable en el tiempo.</p>	
Tecnologías comerciales disponibles	
Farmatic	<p>Es una tecnología comercial de Digestión Anaerobia que opera generalmente con un flujo de mezcla completa en modalidad continua, con una o dos etapas.</p> <p>Esta tecnología se emplea para el tratamiento de la fracción orgánica de los RSDyA y otros, provenientes del sector hotelero, gastronómico y residuos de PTAS. Se ha reportado que posee una capacidad de tratamiento de 8.000 ton/año de residuos.</p> <p>Dependiendo de la composición de los residuos, la tecnología Farmatic tiene una capacidad de producción de biogás de 70 a 170 m³ de metano por tonelada de materia orgánica proveniente de RSDyA y otros.</p>
Valorga	<p>Es una tecnología comercial de Digestión Anaerobia que opera con un flujo de mezcla completa en modalidad continua, en monoetapa.</p> <p>Esta tecnología se emplea para el tratamiento de la fracción orgánica de los RSDyA y otros, provenientes del sector hotelero, gastronómico y residuos de PTAS. Se ha reportado que posee una capacidad de tratamiento de 28.000 ton/año de residuos.</p> <p>Dependiendo de la composición de los residuos, la tecnología Valorga tiene una capacidad de producción de biogás de 80 a 160 m³ de metano por tonelada de materia orgánica proveniente de RSDyA y otros.</p>
Kompogas	<p>Es una tecnología comercial de Digestión Anaerobia que opera con un flujo pistón en modalidad continua, en monoetapa.</p> <p>Esta tecnología se emplea para el tratamiento de la fracción orgánica de los RSDyA y otros, provenientes de desechos del jardín, residuos de cocina y de alimentos,</p>

	<p>biosólidos y la fracción orgánica de RSDyA y otros. Se ha reportado que posee una capacidad de tratamiento de 27.000 a 38.000 ton/año de residuos.</p> <p>Dependiendo de la composición de los residuos, la tecnología Kompogas tiene una capacidad de producción de biogás de 130 a 270 m³ de metano por tonelada de materia orgánica proveniente de RSDyA y otros.</p>
Bekon	<p>Es una tecnología comercial de Digestión Anaerobia que opera en modalidad batch, sin requerimientos de agitación y en monoetapa.</p> <p>Esta tecnología se emplea para el tratamiento de la fracción orgánica de los RSDyA, que contengan al menos entre un 20 a un 50% de sólidos. Se ha reportado que posee una capacidad de tratamiento de 7.500 a 45.000 ton/año de residuos.</p> <p>Dependiendo de la composición de los residuos, la tecnología Bekon tiene una capacidad de producción de biogás de 60 a 80 m³ de metano por tonelada de materia orgánica proveniente de RSDyA y otros.</p>
Tipos de tecnologías disponibles	
Digestión en lote	El proceso se realiza en un digestor. Una vez completado el proceso, se termina el lote y se remueve el producto, para iniciar un nuevo ciclo de tratamiento.
Digestión continua	El proceso de digestión se realiza con una alimentación continua de residuos. Mediante esta tecnología, se pueden obtener resultados consistentes de producción de biogás.
Digestión en una etapa	La digestión ocurre en un reactor. Este tipo de operación produce menos biogás y la alimentación requiere de mayores tiempos para ser digerida por los microorganismos.
Digestión húmeda	Contenido de sólidos menor al 15%, los sólidos son triturados previo a su procesamiento. Se emplea en modalidad de RCTA (reactor continuo tanque agitado).
Digestión seca	Contenido de sólidos entre el 15 al 40%. No requiere que se agregue agua al proceso. Se recicla el lixiviado. Opera como cultivo por lotes. A veces se denominan reactores "tipo garaje".
Digestión en multi-etapa	La digestión ocurre en dos o más reactores en serie, permitiendo degradar los residuos en mayor medida y generar más biogás.

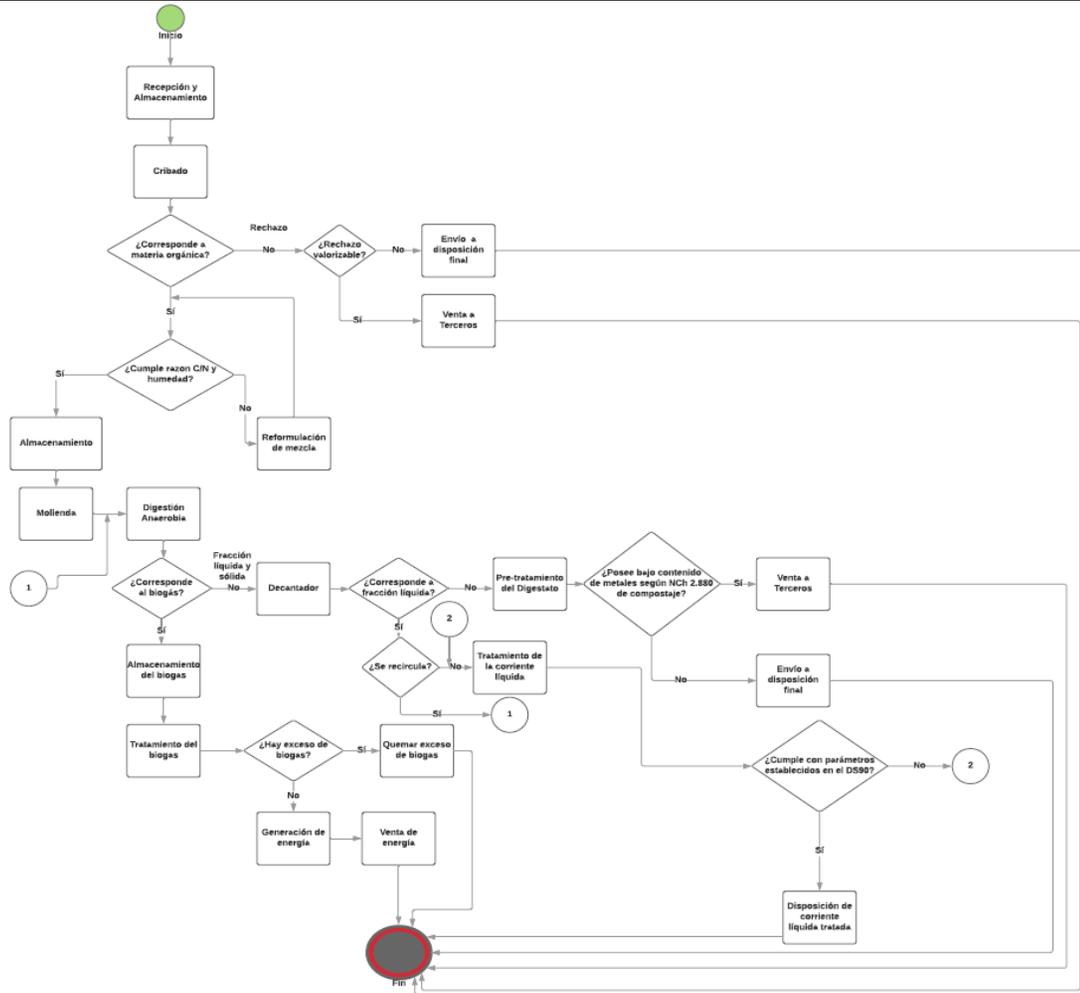
Descripción

El proceso de Digestión Anaerobia se puede separar principalmente en cuatro etapas, correspondientes a hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y la metanogénesis.

- a) La primera etapa del proceso corresponde a la hidrólisis de las macromoléculas que están disponibles en los residuos, permitiendo una estabilización de la materia orgánica y un tamaño de partícula que puede ser empleado por las diferentes comunidades microbianas.
- b) En la acidogénesis se produce la degradación de los monómeros obtenidos de la hidrólisis de las macromoléculas, transformando los compuestos en ácidos grasos volátiles (AGV).
- c) La tercera etapa corresponde a la acetogénesis y durante este proceso, se transforman los AGV en ácidos intermedios, de cadena corta.
- d) Finalmente, el proceso de Digestión Anaerobia transforma el ácido acético y el hidrogeno obtenido de las etapas previas en metano y CO_2 . El proceso de Digestión Anaerobia puede durar un periodo de semanas a meses, dependiendo del control de las variables y la materia prima empleada (Spuhler, D, 2019).

El gas que se puede producir por este proceso se puede emplear posteriormente para la generación de energía. El gas que produce esta usualmente compuesto de un 50 a 75% de metano (CH_4), 25 a 50% de dióxido de carbono (CO_2) y un 1 a un 1.5% de otros gases, como vapor de agua, hidrógeno (H_2), oxígeno (O_2), amoníaco (NH_3), y ácido sulfhídrico (H_2S).

Diagrama de Flujo



Fuente: elaboración propia

Fotos Equipamiento



Planta de Digestión Anaerobia. En la imagen a la izquierda se puede apreciar la planta de Digestión Anaerobia. En la imagen superior derecha se puede apreciar el gasómetro de doble capa sobre el digestor y en la imagen inferior derecha, se puede apreciar el motor de cogeneración de energía eléctrica y térmica.

Fuente: American Recycler News.

INDICADORES

Madurez Tecnológica

Índice de Madurez Tecnológica	Alta	X	Media	Baja
Capacidad Instalada	7.500 a 100.000 ton/año por línea.			
N° Plantas Operativas	977 plantas en todo el mundo			

Vida Útil del Proceso

Vida útil media (años)	20
------------------------	----

Requerimientos Operacionales

Para una planta con una capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año, se requieren 5 profesionales y se realiza un consumo de 1.981 L/mes de combustible.

El consumo eléctrico de la planta de Digestión Anaerobia corresponde entre un 5 a un 10% del total de energía generada.

Considerando una Digestión Anaerobia con alimentación de un sustrato con 10% sólidos totales, se requiere cada 1.000 kg de RSDyA a tratar, 2,46 m³ de agua fresca, parte importante de la cual es recirculada al proceso.

Características y destino de los productos y/o residuos generados

Lodo estabilizado	<p>Aproximadamente corresponde al 15,8% en peso de la corriente de RSD tratada.</p> <p>Este residuo puede ser empleado como materia prima para el compostaje o utilizada directamente como mejorador de suelos.</p>																		
Biogás	<p>El flujo de biogás generado dependerá de la composición de los residuos alimentados al proceso.</p> <p>Como datos de referencia, se puede considerar la información presentada por Chamy y Vivanco el año 2008 (Potenciales de Biogas, CNE).</p> <p>Potencial de producción de metano, para procesos de Digestión Anaerobia.</p> <table border="1" data-bbox="597 747 1372 1092"> <thead> <tr> <th></th> <th>Producción de Metano, por tonelada de residuos seco (m3/ton)</th> <th>Ton de petróleo equivalente, por ton de residuo seco (ton/ton)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Residuo de comida</td> <td>500</td> <td>0,43</td> </tr> <tr> <td>Papel</td> <td>330</td> <td>0,28</td> </tr> <tr> <td>RSU</td> <td>160</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Pasto</td> <td>310</td> <td>0,26</td> </tr> <tr> <td>Hojas y ramas</td> <td>110</td> <td>0,09</td> </tr> </tbody> </table>		Producción de Metano, por tonelada de residuos seco (m3/ton)	Ton de petróleo equivalente, por ton de residuo seco (ton/ton)	Residuo de comida	500	0,43	Papel	330	0,28	RSU	160	1,2	Pasto	310	0,26	Hojas y ramas	110	0,09
	Producción de Metano, por tonelada de residuos seco (m3/ton)	Ton de petróleo equivalente, por ton de residuo seco (ton/ton)																	
Residuo de comida	500	0,43																	
Papel	330	0,28																	
RSU	160	1,2																	
Pasto	310	0,26																	
Hojas y ramas	110	0,09																	

Requerimientos del sustrato o residuo a utilizar

Tamaño máximo	Menor a 5 cm
Poder calorífico típico	8 – 20 MJ/kg
Pretratamiento requerido	<p>Separación mecánica de los residuos de mayor tamaño, segregando aquellos que son identificados para rechazos y los que requieren de una segunda etapa de pretratamiento.</p> <p>Se procede con la trituración de los residuos, para obtener un tamaño de partícula inferior a 5 cm.</p>
Descripción	<p>La planta de Digestión Anaerobia puede tratar los residuos orgánicos provenientes de los RSDyA. El resto de los residuos deberá ser destinado a otro tratamiento de valorización o ser dispuestos en los sitios establecidos.</p> <p>De acuerdo a las plantas comerciales presentadas, la menor capacidad de tratamiento de los residuos considera la alimentación de 7.500 ton/año de residuos.</p>

Descripción Alternativa para fracción RSD no tratable

La fracción no tratable corresponde a vidrios, cartón, metal, neumáticos, aparatos electrónicos y eléctricos. Los metales y vidrios, podrán ser valorizados por un proceso de reciclaje, los neumáticos y plásticos pueden ser valorizados por un proceso de reciclaje (Tchobanoglous, G. y Kreith, F, 2002), por su parte, los aparatos eléctricos y electrónicos, pueden ser reciclados. El papel puede ser empleado en el proceso, pero posee un bajo potencial para la generación de metano (Holliger, C. 2008). Si el papel no es empleado en el proceso de Digestión Anaerobia, puede ser ocupado en la Incineración por su poder calorífico, o en Gasificación, como material componente del combustible sólido no recuperado (RDF).

El digestato semi-estabilizado, puede pasar por un proceso de compostaje, para poder ser empleado en agricultura como compost (Holliger, C., 2008). Adicionalmente, está la alternativa de ocupar los subproductos de esta tecnología para la generación de calor y energía. Para ello, se puede emplear el digestato semi-estabilizado como co-sustrato de los residuos tratados por las tecnologías térmicas.

Estabilidad Operacional

Aspectos críticos de la operación:

La operación de la planta de Digestión Anaerobia requiere de una segregación previa de los residuos, ingresando al proceso solo la fracción orgánica. Todo aquel residuo orgánico de tamaño mayor a 5 cm, deberá ser triturado.

Para la correcta operación de la Digestión Anaerobia, se requiere controlar la alcalinidad, condiciones anaerobias de operación, la temperatura, tiempo de retención, la carga orgánica y la razón de carbono, nitrógeno y fosforo.

Se requiere considerar una antorcha que elimine la sobreproducción de metano, respectivo a la oferta energética que se está realizando

Riesgos asociados a fallas:

Si se ingresa un residuo que no se puede procesar en la planta, la empresa deberá encargarse de la correcta disposición.

En caso de que ingrese un residuo de mayor tamaño y no se triture, puede generar un atasco en el sistema y requerir realizar su paro.

El control de las variables de operación permite obtener el mayor rendimiento de producción de metano. Si las variables de operación no son controladas, puede generarse un desbalance en las etapas de la Digestión Anaerobia y no llegar a producirse metano, al igual que no se logrará estabilizar el lodo.

El ingreso de un compuesto inhibitorio o tóxico puede provocar la acidificación del reactor. Cuando esta situación ocurre, se requiere paralizar la operación del equipo. Es indispensable tener un control de los compuestos que ingresan y la acidez en el interior del reactor.

Si la antorcha no elimina el exceso de producción, se estará generando más energía de la cual fue contratada, sin la factibilidad de poder ser comercializado el exceso.

Mecanismos de contingencia:

Se requiere de una buena segregación en origen, para que solo ingrese la materia orgánica a la planta, y de una trituración de los residuos, tras una separación mecánica.

El control de las variables es automatizado, permitiendo el seguimiento de las operaciones. En caso de que el sistema falle, los profesionales deberán controlar manualmente las variables.

Se requiere una mantención de la antorcha, para asegurar su funcionamiento. En caso de que no se esté quemando el exceso, se deberá controlar el flujo de biogás que se alimenta a los equipos de cogeneración de energía.

Requisitos Técnicos del Personal

Personal de operación y mantención requerido	Planta de digestión anaerobia con capacidad de 10.000 ton/año
	5
Ingeniero	Ingeniero: Civil Industrial, Civil Comercial, Civil Bioquímico, en Biotecnología, en Ejecución Química, Civil Ambiental.
Principales Instituciones académicas Identificadas	Universidad de Chile, Universidad Técnico Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Mayor, Universidad la Frontera, Universidad Tecnológica Metropolitana
Profesionales Universitarios	Finanzas, recursos humanos, supervisor de planta, operador de cargador frontal y analista de datos.
Profesional Técnico y otros	Portero y obreros.

Requerimientos para desarrollo

Capacidad (ton/año-planta)	50.000	100.000
Superficie requerida (m ²)	1.000 a 2.000	2.000 a 3.000
Generación eléctrica (MW)	0,8 a 1,2	2 a 2,6

Restricciones de carácter territorial

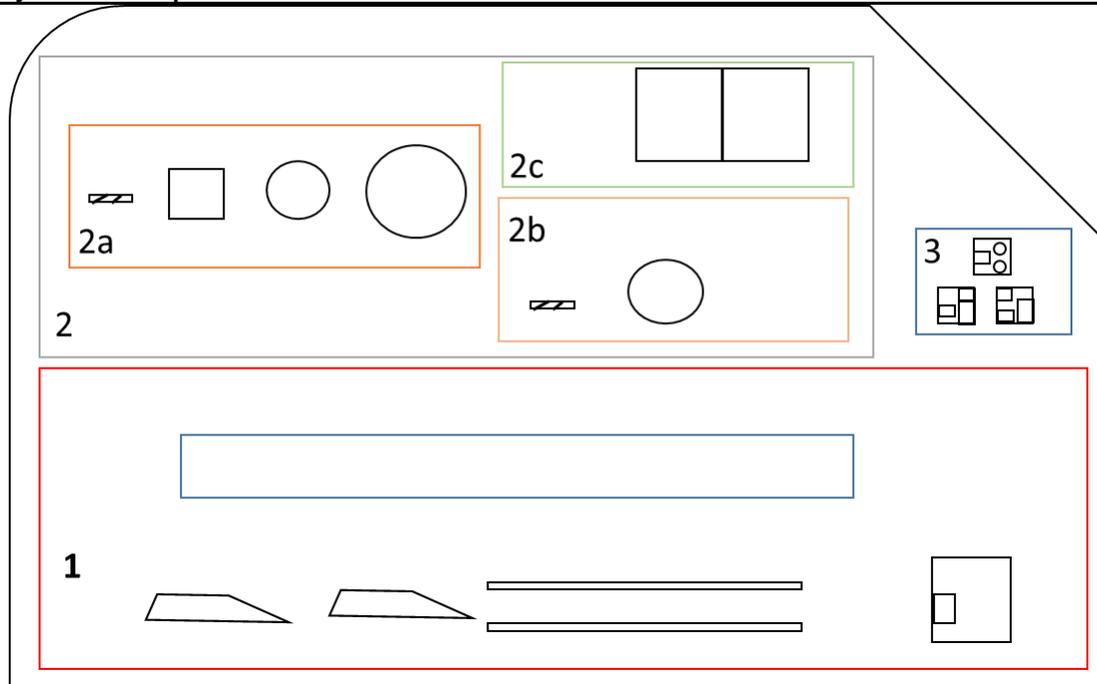
Las restricciones de carácter territorial que debe considerar la tecnología de Digestión Anaerobia, está asociada a la ubicación del proyecto, debido a la necesidad de poder conectarse en un nudo de la red eléctrica para poder vender la energía producida por la cogeneración, y también, para la venta de la energía térmica. En el mercado Spot, se busca la venta de la electricidad excedente al Costo Marginal (CM_g). En la actualidad, el Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), se unieron para formar al Sistema Eléctrico Nacional. El valor que podrán obtener en el mercado Spot, dependerá del nudo al cual se conecte la tecnología y la competencia con otros ofertantes. En marzo 2019, el CM_g se encontró en un rango de 41,26 a 34,61 USD/MWh.

Si la Digestión Anaerobia considera quema del metano, se requiere tomar en cuenta para la localización de la planta, el plan de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014 al 2018 del Ministerio de Medio Ambiente.

Las localidades que han presentado emisión anual superior a la norma para MP_{2.5} son: Viña del Mar, Puente Alto, Cerrillos, Cerro Navia, Independencia, La Florida, Las Condes, Pudahuel, Quilicura, Parque O'Higgins, Talagante, Rancagua, San Pedro de la Paz, Libertad, INIA, Las Encinas Temuco, Museo Ferroviario, Valdivia y Osorno.

Las localidades que han presentado emisión anual superior a la norma para MP₁₀ son: Campamento, Andacollo, Hospital, Los Andes, Puente Alto, Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, Independencia, La Florida, Las Condes, Pudahuel, Quilicura, Parque O'Higgins, Rancagua, Rengo, San Fernando, La Florida, Libertad, Las Encinas Temuco, Museo Ferroviario, Valdivia, Osorno y Cohaique.

Layout Planta Tipo



Layout de una planta de Digestión Anaerobia. En la zona 1, se encuentra el centro de recepción de los residuos. En la zona 2, se encuentra la planta de digestión anaerobia, subdividida en la 2a (zona de operación de la digestión anaerobia), 2b (zona de almacenamiento de lodos), 2c (zona de generación de energía eléctrica y térmica). En la zona 3, se encuentran las instalaciones básicas (baño, casino y oficina)

Fuente: Elaboración propia

Marco Normativo																
Aspectos Legales	Decreto Supremo 119, del Ministerio de Energía - Reglamento de seguridad de plantas de biogás. Decreto 1.191/96, del Ministerio de Justicia - manejo de los lodos generados por el proceso. Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente - Niveles máximos permitidos de presión sonora.															
Aspectos ambientales	Cuando se realiza la incineración del metano en planta, se debe cumplir con las normas de las plantas de incineración.															
<p>Decreto Supremo 119, del Ministerio de Energía</p> <p>Este decreto está enfocado a la correcta operación de la planta de biogás, considerando la recepción, preparación y almacenamiento de la materia prima (RSDyA), la producción, almacenamiento, transferencia, tratamiento, suministro y uso del biogás.</p> <p>Decreto 1.191/96, del Ministerio de Justicia</p> <p>Identifica que los lodos generados en una planta de tratamiento de residuos, serán almacenados y comercializados para futuras instalaciones.</p> <p>Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente</p> <p>Establece los límites de ruidos generados por fuentes de emisión, con la cual se puede establecer los horarios en los cuales está permitido ciertos decibeles, dependiendo de la zona en la cual se encuentre ubicada la planta.</p> <p style="text-align: center;">Niveles máximos permitidos de Presión Sonora Corregida en db.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4F81BD; color: white;">Zona y tipo de suelo</th> <th style="background-color: #4F81BD; color: white;">Horario 7 a 21 hrs</th> <th style="background-color: #4F81BD; color: white;">Horario 21 a 7 hrs</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I: Residencial, espacio público y/o área verde</td> <td style="text-align: center;">55</td> <td style="text-align: center;">45</td> </tr> <tr> <td>II: Zona I, que posee equipamiento.</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">45</td> </tr> <tr> <td>III: Zona II, que posee actividades productivas y/o infraestructura.</td> <td style="text-align: center;">65</td> <td style="text-align: center;">50</td> </tr> <tr> <td>IV: actividades productivas y/o de infraestructura</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">70</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Fuente: DS N°38, 2014</p> <p>Incineración de metano</p> <p>La planta de Digestión Anaerobia debe cumplir con el reglamento previamente presentado. En caso de que se realice la Incineración de residuos, se debe incluir el cumplimiento de las normativas de las plantas de Incineración:</p>		Zona y tipo de suelo	Horario 7 a 21 hrs	Horario 21 a 7 hrs	I: Residencial, espacio público y/o área verde	55	45	II: Zona I, que posee equipamiento.	60	45	III: Zona II, que posee actividades productivas y/o infraestructura.	65	50	IV: actividades productivas y/o de infraestructura	70	70
Zona y tipo de suelo	Horario 7 a 21 hrs	Horario 21 a 7 hrs														
I: Residencial, espacio público y/o área verde	55	45														
II: Zona I, que posee equipamiento.	60	45														
III: Zona II, que posee actividades productivas y/o infraestructura.	65	50														
IV: actividades productivas y/o de infraestructura	70	70														

- Decreto Supremo 29/2013, Ministerio del Medio Ambiente - Norma de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento.
- Resolución 94/2015, del Ministerio de Medio Ambiente - Protocolo de validación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones.
- Decreto Supremo 4/1992, del Ministerio de Salud - Norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales, que se encuentren en la Región Metropolitana.
- Decreto 89/1989, Ministerio de vivienda y urbanismo - Emisiones de polvo y material particulado.
- Decreto Supremo 148/2004, del Ministerio de Salud - Reglamento para el manejo de residuos peligrosos.
- Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente - Niveles máximos permitidos de presión sonora.

10.2.2 Análisis de la Tecnología de Digestión Anaerobia

I. Principales características de la tecnología de Digestión Anaerobia

- Para poder emplear esta tecnología, se requiere que se realice una buena segregación en origen de los residuos para el ingreso de la fracción orgánica a la planta.
- La tecnología de Digestión Anaerobia se puede emplear para el tratamiento de la fracción orgánica, la cual corresponde al 57,1% de los residuos generados en Chile (Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.).
- En Chile, esta tecnología está siendo impulsada por el programa Reciclo Orgánico, ejecutado por el Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá, bajo el Acuerdo de Cooperación ambiental Canadá-Chile.
- Dependiendo de las condiciones operativas y la materia prima que ingresa a la planta, se tendrá que analizar la composición del biosólido seco, para confirmar la factibilidad de poder ser empleado como mejorador de suelo o en los procesos de compostaje.
- La tecnología de digestión anaerobia es factible técnicamente, siempre que se pueda implementar la tecnología en una localización que no se encuentre declarada como saturada y que el CM_g le permita competir en el mercado.
- Es factible ambiental y legalmente, siempre que las emisiones producidas por la cogeneración de energía y la operación de la antorcha de seguridad produzcan concentraciones de material particulado menor a las establecidas en la normativa. Se debe considerar en la localización de la planta, las zonas que han sido declaradas saturadas. De emplear esta tecnología en esas ubicaciones, se requerirá realizar las compensaciones correspondientes.

II. Rol de actores claves

Los Roles que deben tener los actores que están involucrados en el uso de la tecnología son:

- Tomando en consideración el D.F.L. N°725/67 y la Ley de las Municipalidades, es el rol de las Municipalidades el encargarse de la gestión de residuos.
- De acuerdo con el DFL 1/2019, la recolección, transporte y/o disposición final de los residuos domiciliarios corresponde a una labor de las Municipalidades, con excepción de aquellas que se

encuentren ubicadas en un área metropolitana y que convengan con el gobierno regional respectivo, la gestión de residuos parcial o total. El gobierno regional deberá contar con las autorizaciones respectivas de la Secretaría Regional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Salud.

- Para la obtención de fondos asociados a inversión pública, el DFL 1/2019 menciona que los gobiernos regionales podrán celebrar convenios formales anuales o plurianuales para sus programas de inversión los cuales pueden solicitar las I. Municipalidades. La Ley Orgánica Constitucional sobre gobierno y administración regional establece las normas generales que regulan la suscripción, ejecución y exigencias de los convenios.
- En el DFL 1/2019 se establece que: la coordinación entre las municipalidades y entre estas y los servicios públicos que dependan o se relacionen con el Presidente de la República a través de un ministerio y que actúen en sus respectivos territorios, se efectuará mediante acuerdos directos entre estos organismos. La coordinación entre Municipalidades y servicios públicos que dependan o se relacionen con el gobierno regional y que actúen en sus territorios, se efectuará mediante acuerdos directos.
- El DFL 1/2019 define que las Municipalidades elaboran las bases generales y específicas para los llamados a licitación.
- Las Municipalidades actúan como órgano intermedio que interacciona con los Gobiernos Regionales, las Superintendencias, y los Ministerios. Al operar como un órgano intermedio, también interacciona con la gente, obrando para tener una ciudadanía que tenga un uso sustentable del espacio en el que viven.
- Para la Digestión Anaerobia, la Municipalidad tendrá un rol de gestor intermedio y de educador ambiental. Desde el punto de vista de gestor intermedio, se encargará de las licitaciones para la recepción y transporte de los residuos, al igual que el control de su buen funcionamiento. Para el caso de las tecnologías de tratamiento de residuos, como la Digestión Anaerobia, se requiere que se haga una separación previa, sin importar de que se realice una segregación en la planta. Esto, debido a que algunos residuos pueden afectar el rendimiento del proceso de metanización (Digestión Anaerobia). Por ello, el rol de la Municipalidad será enfocado a la educación de la población, para enseñarles a como segregar los residuos, y cuales efectivamente pueden ser tratados por esta tecnología.
- La operación será realizada por una empresa que puede ser seleccionada mediante un proceso de licitación. Todo residuo que sea rechazado en la segunda segregación hecha en planta, podrá entregarse a la Municipalidad, para que se pueda traspasar a los recicladores bases. Por su parte, la empresa podrá generar ingresos principalmente, por la venta de energía eléctrica, energía térmica, y por ingreso de los RSDyA y otros a la planta de tratamiento.
- Respectivo al biosólido seco, se requiere hacer un análisis para determinar sus características, y determinar cuál es su capacidad de aplicación directa al suelo, previa su venta. También se puede emplear el biosólido seco en las plantas de compostaje, como otra materia prima a procesar.
- La alternativa de generación de ingresos del biosólido seco se podrá realizar siempre y cuando tenga un bajo contenido de metales pesados.
- El Ministerio de Salud es un ente que actúa a través de sus Secretarías Regionales Ministeriales, denominada autoridad sanitaria. Según lo establecido en el DFL 725/2019 (última versión Mayo 2019), se encuentra dentro de las labores del Ministerio de Salud, el velar por el cumplimiento de las disposiciones del DFL 725/2019, dentro de las cuales se identifican las atribuciones y obligaciones sanitarias de las Municipalidades. En el Artículo 11 del DFL 725/2019, se define que las Municipalidades deben recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del

Servicio Nacional de Salud, las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana.

- La Ley 20.417 crea la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), un servicio público descentralizado que es supervisado por el Ministerio del Medio Ambiente. Dentro de las principales labores del SMA asociadas a proyectos de tratamiento de residuos y la gestión de residuos, se puede destacar que este organismo se encarga de: ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las RCA, medidas de planes de prevención y/o descontaminación ambiental, contenido de normas de calidad y normas de emisión, y de planes de manejo. La Superintendencia de Medio Ambiente lleva a cabo sus labores mediante fiscalización.
- El modelo de negocios y operación que se recomienda para este tipo de proyectos es el tipo BOT (Build-Operate-Transfer) o BOOT (Build-Own-Operate-Transfer). En la siguiente sección se describe por Modelo Canvas algunas características del modelo de negocios de esta tecnología.

10.2.3 Modelo de negocios de la tecnología de Digestión Anaerobia

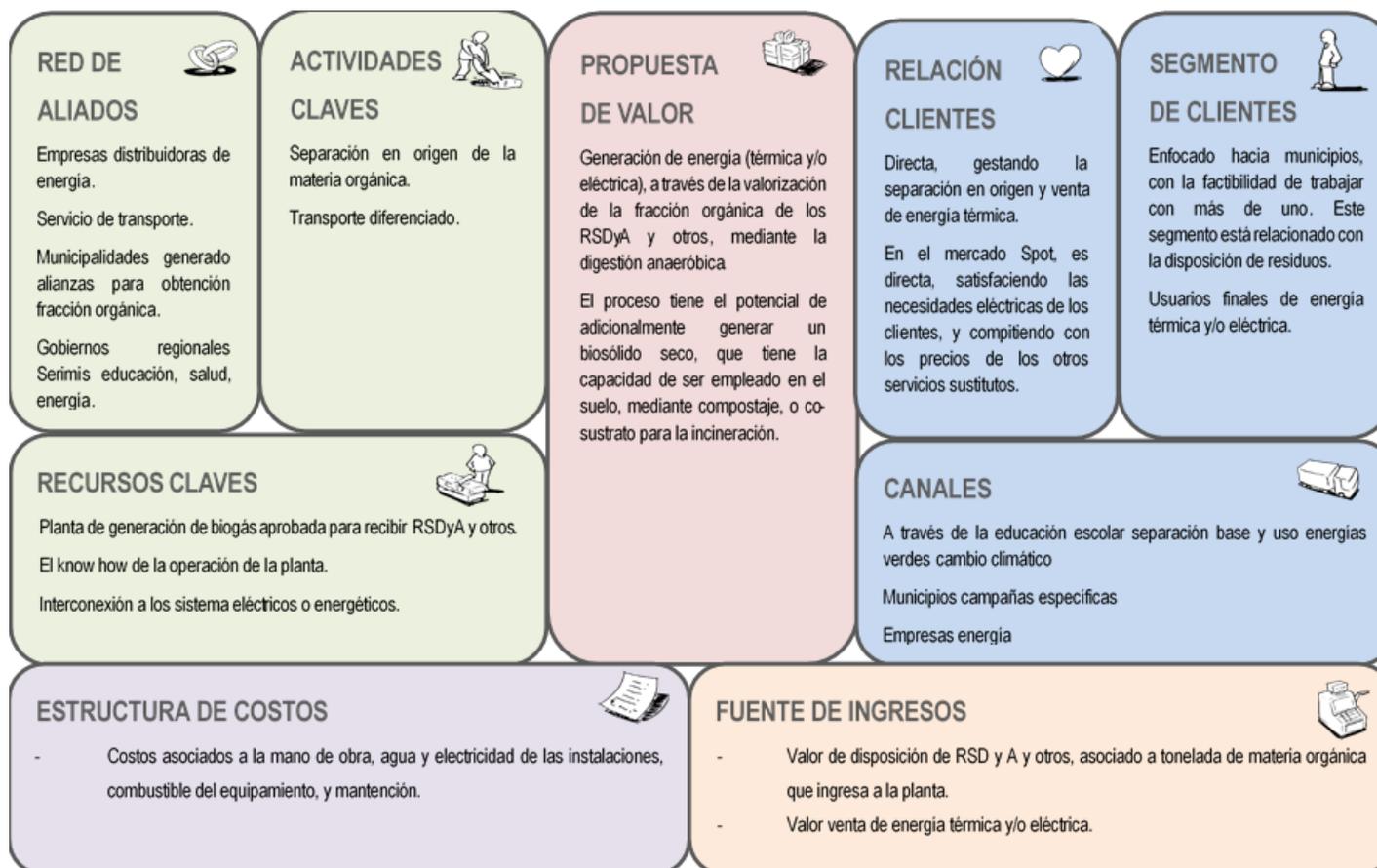


Figura 10-2. Modelo de negocios de la planta de Digestión Anaerobia.
Fuente: Elaboración propia, validado en jornada de discusión de la etapa 2.

11 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

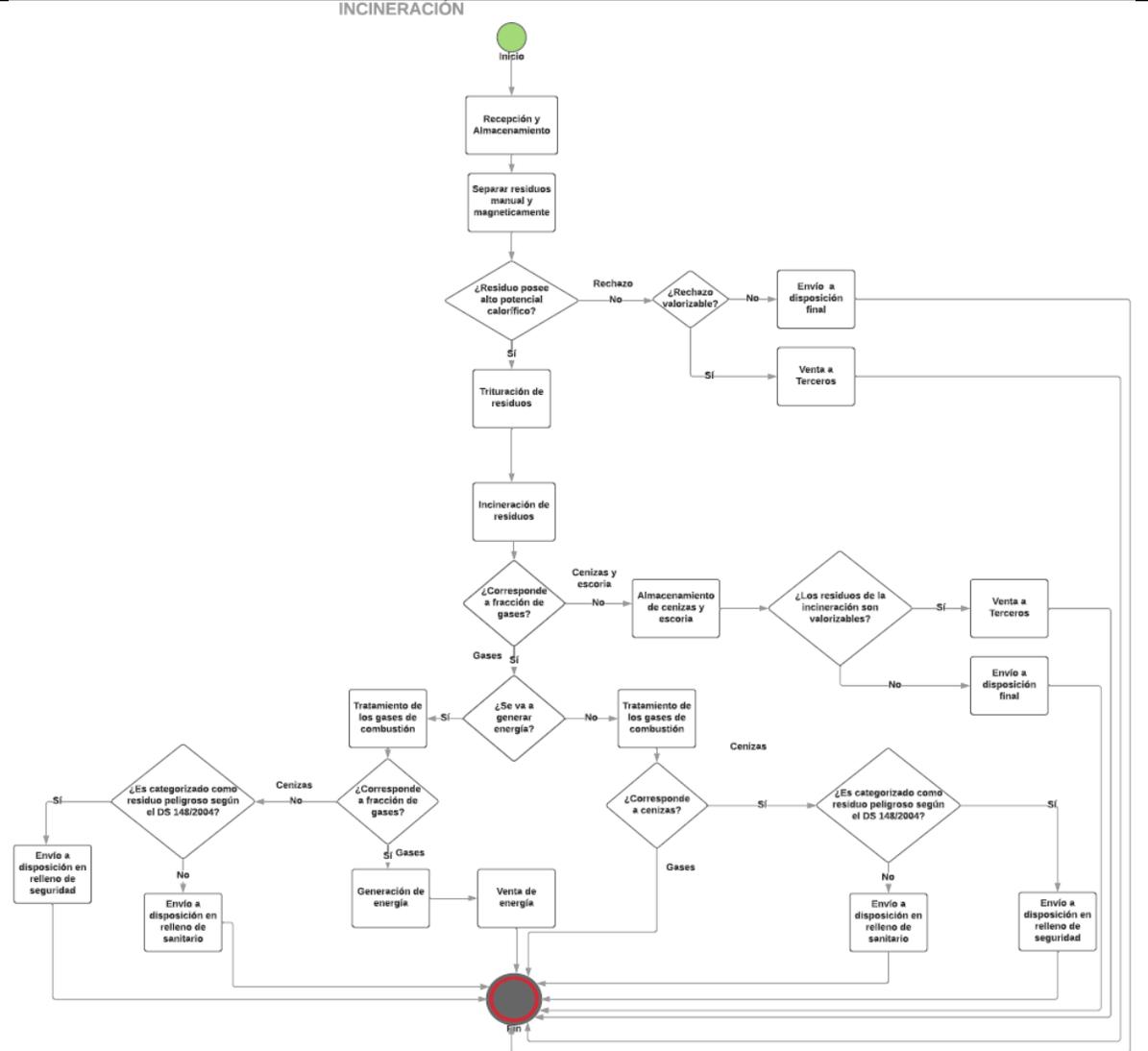
11.1 Incineración

11.1.1 Ficha de Tecnología

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y SU MANTENIMIENTO				
Fundamento de la tecnología				
<p>La combustión es una reacción química de oxidación entre un combustible y un comburente, caracterizada por su gran exotermicidad y por las elevadas temperaturas a que se produce (850 a 1.200 °C). El comportamiento cinético de la combustión de los residuos sólidos depende de su heterogeneidad y de la evolución de la temperatura. No existe una partícula real o hipotética que pueda representar al residuo que se incinera, excepto en ciertos tipos de residuos industriales. Por ello, hay que considerar que los sólidos que se alimentan al horno están formados por una mezcla de partículas que difieren entre ellas en composición, en densidad, en tamaño, en forma y en estructura.</p>				
Tecnologías disponibles				
De Parrilla	Descripción			
	Pueden procesar todo tipo de residuos, desde residuos sin clasificar hasta la fracción combustible de los residuos después de un proceso de clasificación y pretratamiento avanzado. Los residuos, pretratados o no, son incorporados a la cámara de combustión por una parrilla inclinada, ubicada en el fondo de la cámara de combustión. De este proceso se obtiene calor, el cual es conducido a una caldera.			
	Tipos de Variantes			
	<table border="1"> <tr> <td>-Parrilla Pivotante</td> <td>-Parrilla Móvil</td> </tr> <tr> <td>-Parrilla Alterada</td> <td>-Parrilla de Rodillos</td> </tr> </table>	-Parrilla Pivotante	-Parrilla Móvil	-Parrilla Alterada
-Parrilla Pivotante	-Parrilla Móvil			
-Parrilla Alterada	-Parrilla de Rodillos			
Horno Rotatorio	<p>Consiste en una cámara de combustión formada por un cilindro ligeramente inclinado en su eje horizontal, con el fin de generar el flujo de material mientras el cilindro gira. Puede ser utilizada para una gran variedad de residuos con un tiempo de permanencia dentro del horno que asegura una buena combustión de los residuos, pero limita su capacidad. Es por esto que esta tecnología se ha desarrollado y es más utilizada para el tratamiento de residuos peligrosos. De este proceso se obtiene calor, el cual es conducido a una caldera.</p>			
	<p>La recuperación de la energía se puede realizar a través de distintos tipos de caldera dependiendo del uso final de la energía, agua caliente, calefacción distrital, vapor industrial, electricidad o sus combinaciones.</p>			
De Lecho Fluidizado	<p>Consiste en una cámara de combustión sobre un lecho de arena o caliza, que se encuentra ubicada en el fondo de la cámara de combustión. Esta tecnología requiere que se realice una reducción del tamaño de los residuos, y una separación previa, que consiste en la remoción de metales, vidrios y arena, que pueden estar contenidos en los residuos.</p>			

	<p>La recuperación de energía se puede realizar a través de distintos tipos de caldera dependiendo del uso final de la energía, agua caliente, calefacción distrital, vapor industrial, electricidad o sus combinaciones.</p>
<p>Horno para líquidos</p>	<p>Reactor cilíndrico en disposición vertical u horizontal, que está equipado con uno o más quemadores. Se emplea la modalidad vertical para aquellos residuos que poseen un alto contenido de sales o cenizas inorgánicas.</p> <p>El equipo opera entre 700 a 1.000 °C.</p>
<p>Descripción</p>	
<p>El proceso de Incineración busca la completa oxidación de los materiales combustibles contenidos en los residuos. Para ello, se ingresan los residuos a la cámara de combustión, donde se evapora la humedad por el efecto del calor presente en la cámara, luego, a medida que aumenta la temperatura de los residuos, se liberan gases volátiles inflamables, que generan la combustión al entrar en contacto con el oxígeno, liberando energía en forma de calor, gases y cenizas.</p> <p>La energía liberada se irradia en toda la cámara de combustión, alcanzando los residuos que se encuentran ingresando a la cámara, evaporando su contenido de humedad y liberando los gases volátiles generando un ciclo auto-sostenido. Los gases de combustión contienen mucha energía térmica que es recuperada a través de una caldera de agua caliente o vapor.</p> <p>La energía recuperada puede ser utilizada de forma independiente o combinada, con sistemas de vapor industrial, calefacción distribuida o generación eléctrica. Las cenizas, se recuperan del fondo de la cámara de combustión y de los distintos sistemas de control de emisiones. Se puede recuperar componentes desde las cenizas, tales como algunos metales. Según la composición de las cenizas, se puede utilizar como aditivo del cemento o para la fabricación de elementos prefabricados urbanos, tales como ladrillos y soleras.</p>	

Diagrama de Flujo

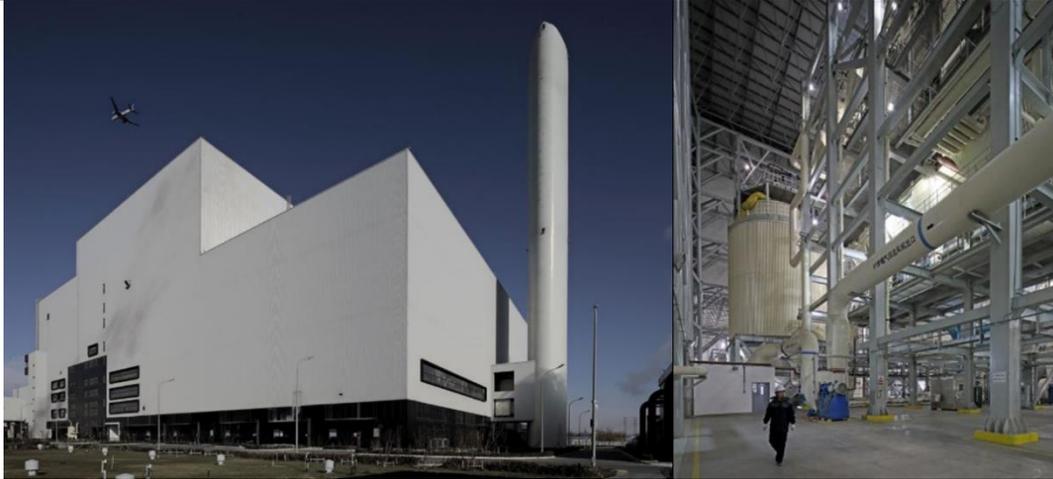


Fuente: Elaboración propia, adaptado el Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, Ministerio de Energía, 2018.

Los sistemas de generación energía que se pueden emplear corresponden a:

- **Caldera de agua caliente e intercambiador de calor:** genera calefacción.
- **Caldera de vapor a baja presión:** genera vapor.
- **Caldera de vapor de alta presión y Turbina de vapor:** genera vapor y electricidad, o electricidad y calefacción.

Fotos Equipamiento



Planta de incineración de residuos. En la imagen izquierda se puede apreciar la planta de incineración y en la imagen derecha, el interior de la planta.

Fuente: ArchDaily.

INDICADORES

Madurez Tecnológica

Índice de Madurez Tecnológica	Alta	X	Media		Baja
-------------------------------	------	---	-------	--	------

Capacidad Operativa

100.000 a 330.000 toneladas por línea al año.

N° Plantas Operativas

1.271 plantas en todo el mundo

Vida Útil del Proceso

Vida útil media (años)

36

Requerimientos Operacionales

Para una planta con capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año, se requieren 33 profesionales y se realiza un consumo de 20.000 L/mes de combustible.

Se requiere por cada 1.000 kg de RSDyA y Otros a tratar:

- 3 kg de Cal.
- 3 kg de Amonio.
- 0,5 kg de Carbón.
- 0,1 a 0,15 kg de agua fresca.

- 54 kWh de energía.

Características y destino de los productos y/o residuos generados

Cenizas de fondo	<p>Aproximadamente 6,6% del volumen de residuo tratado.</p> <p>Las cenizas se encuentran compuestas por material particulado que se deposita gravitacionalmente al fondo de la cámara de combustión.</p> <p>Este material debe ser dispuesto en Relleno Sanitario. Alternativamente, puede ser empleado en la industria de la construcción.</p>
Cenizas Volantes	<p>Aproximadamente <1% del volumen de residuo tratado.</p> <p>Compuesta por material particulado fino que es capturado en las etapas de enfriamiento de los gases de escape.</p> <p>Se requiere realizar análisis de la composición de este residuo. Si los análisis indican que no es peligroso, se requiere disponer en Relleno Sanitario, de lo contrario, se requiere disponer en un Relleno de Seguridad.</p>

Requerimientos del sustrato o residuo a utilizar

Tamaño máximo	500 x 500 x 500 mm
	1200 x 50 x 50 mm
Poder calorífico típico	8 – 11 MJ/kg
Pretratamiento requerido	Separación mecánica de elementos grandes (<500 mm)
Descripción	<p>La planta de Incineración puede tratar todo tipo de residuos. Durante su operación, se requiere remover los elementos grandes, y realizar una trituración de los residuos.</p> <p>Las plantas de Incineración comerciales, realizan el tratamiento de más de 70.000 ton/año de RSDyA y Otros. Debido a inversiones y costos de operación, los menores diseños de plantas consideran el tratamiento de 100.000 ton/año de residuos.</p>

Descripción Alternativa para fracción RSD no tratable

La Incineración es una tecnología de tratamiento de residuos que permite tratar todo tipo de residuos. Sin perjuicio de lo anterior, es factible realizar procesos previos de separación que permitan valorizar los residuos por otras vías, antes de ingresar al proceso de tratamiento térmico.

Como tal, se puede considerar una primera separación que remueva la fracción del material reciclable. Este proceso genera rechazos que podrán ingresar a la planta de Incineración.

En el caso de la materia orgánica, considerando que fue segregada previamente, podrá ser tratada por la técnica de Compostaje o de Digestión Anaerobia. Los rechazos que sean generados por estos procesos, podrán ingresar a la planta de Incineración.

Estabilidad Operacional

Aspectos críticos de la operación:

La composición de los residuos determinará el poder calorífico que se puede generar en la planta. Los residuos que poseen el menor poder calorífico corresponden a los metales y al vidrio, por lo que podría considerarse que se destinen para el reciclaje.

Durante el proceso de Incineración, se requiere alimentar agua al sistema para mantener la temperatura del proceso.

Para el tratamiento de los gases, el sistema requiere de la correcta proporción de cal, carbón activado y amonio, con respecto a la cantidad de residuos tratados.

Riesgos asociados a fallas:

En caso de que los residuos no sean segregados previamente, se generará un menor poder calorífico. Si es que el residuo es de gran tamaño y no fue segregado, puede generar atascos en el sistema.

Parte del agua es recirculada por el sistema, en caso de fallar la recirculación del proceso y no alimentar más agua, se puede descontrolar la temperatura del proceso.

Si no se controlan los requerimientos de materias primas requeridas para el tratamiento de los gases, se descontrola el sistema y no se podrá cumplir con las normas de emisión.

Mecanismos de contingencia:

En caso de generar atascos en el sistema, se debe continuar el tratamiento de los gases de salida del sistema, hasta lograr el cese de las funciones de los equipos.

Cuando hay fallas en el sistema de recirculación, se requiere incrementar la alimentación de agua fresca al sistema.

Se emplea un sistema automatizado que mide las emisiones de gases y los requerimientos de cal, carbón activado y amonio. En caso de que el sistema falle, el grupo de ingenieros deberá recalculer los requerimientos y alimentarlo al FGT.

Requisitos Técnicos del Personal			
Personal de Operación y Mantención requerido	1 línea < tamaño	1 línea > tamaño	3 líneas > tamaño
	26	29	52
Ingeniero	Ingeniero: Civil, Civil Industrial, Civil Químico, Civil Eléctrico, Civil Bioquímico, Civil Ambiental, Civil Mecánico, en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente, Ejecución de Bioprosos, Civil Comercial.		
Principales Instituciones Académicas identificadas	Universidad de Chile, Universidad Técnico Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Mayor, Universidad la Frontera, Universidad Tecnológica Metropolitana, Universidad del Biobío, Universidad Católica del Norte, Universidad de los Andes, Universidad de Concepción, Universidad La Serena, Universidad Playa Ancha, Universidad Los Andes, Universidad de Talca, Universidad Austral de Chile, Universidad de la Santísima Concepción, Universidad Católica del Norte, Universidad Católica de Temuco y Universidad Santiago de Chile.		
Profesionales Universitarios	Gerente de planta, supervisor de planta de residuos, supervisor de planta de generación y tratamiento de gases, ingeniero de planta de residuos y de tratamiento de gases, ingeniero medioambiental de planta de generación, mantención de equipamiento de planta de residuos, mantención de planta de generación y de tratamiento de gases, prevencionista de riesgos, operador del sistema de control e instrumentación, recursos humanos y finanzas.		
Profesional Técnico y otros	Portero, operadores de planta de residuos, operadores de planta de generación y tratamiento de gases.		
Requerimientos para desarrollo			
Líneas de Procesos	1 línea < tamaño	1 línea > tamaño	3 líneas > tamaño
Superficie requerida (m ²)	45.000 a 50.000	80.000 a 85.000	100.000 a 120.000
Capacidad (ton/año-planta)	150.000	330.000	1.000.000
Eficiencia eléctrica (%)	15	17	< 20
Generación eléctrica (MW)	7 a 8	16 a 18	60 a 65
Restricciones de carácter territorial			
Las restricciones de carácter territorial que debe considerar la tecnología de Incineración corresponden a la venta de la generación de energía eléctrica, y las emisiones de gases que puede generar el procesamiento de			

RSDyA, tomando precaución de que la ubicación escogida no se encuentre en una zona declarada como saturada.

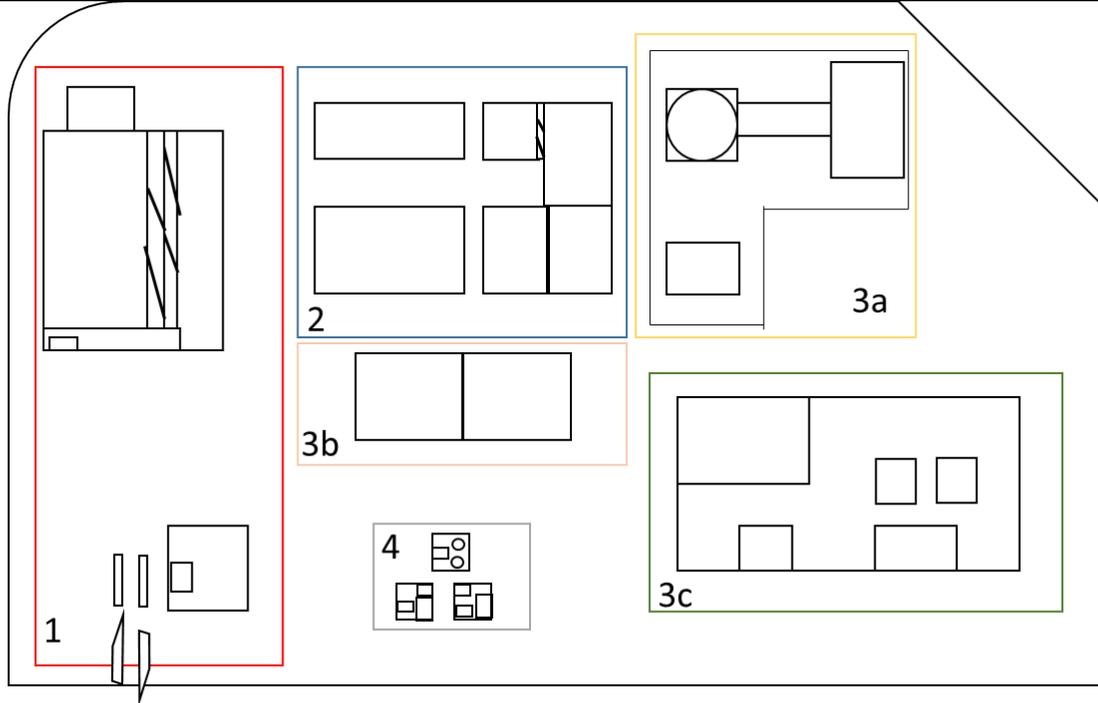
Respectivo a la generación de electricidad, se debe considerar que la localización escogida tendrá que competir en el mercado Spot, en el nudo que se conecte el sistema. Esto significa que se requiere tener precaución con la localización del sector en donde se conecte, para poder tener un precio competitivo en el mercado. En marzo 2019, el CM_g se encontró en un rango de 41,26 a 34,61 USD/MWh (Coordinador Eléctrico Nacional, 2019).

En el plan de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014 al 2018 del Ministerio de Medio Ambiente, entrega información de las localidades que han presentado una emisión anual superior a la establecida para el $MP_{2,5}$ y el MP_{10} . En caso de escoger esa ubicación, se requerirá realizar la compensación de emisión correspondiente.

Las localidades que han presentado emisión anual superior a la norma para $MP_{2,5}$ son: Viña del Mar, Puente Alto, Cerrillos, Cerro Navia, Independencia, La Florida, Las Condes, Pudahuel, Quilicura, Parque O'Higgins, Talagante, Rancagua, San Pedro de la Paz, Libertad, INIA, Las Encinas Temuco, Museo Ferroviario, Valdivia y Osorno.

Las localidades que han presentado emisión anual superior a la norma para MP_{10} son: Campamento, Andacollo, Hospital, Los Andes, Puente Alto, Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, Independencia, La Florida, Las Condes, Pudahuel, Quilicura, Parque O'Higgins, Rancagua, Rengo, San Fernando, La Florida, Libertad, Las Encinas Temuco, Museo Ferroviario, Valdivia, Osorno y Cohaique.

Layout Planta Tipo



Layout de una planta de Incineración. En la zona 1, se encuentra el centro de recepción de los residuos, con su almacenamiento y pretratamiento. En la zona 2, la zona de tratamiento térmico de los residuos. La zona 3, correspondiente a la zona de generación de energía eléctrica y térmica, esta subdividida en la zona 3a que corresponde al sistema de tratamiento de los gases, la zona 3b que corresponde a la subestación y la zona 3c que corresponde al sistema de generación eléctrica. En la zona 4, se encuentran las instalaciones básicas (baño, oficina y oficina).

Fuente: Elaboración propia, adaptado del Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, ejecutado por PÖYRY- EBP, para el Ministerio de Energía (2018).

Marco Normativo

<p>Aspectos Legales</p>	<p>Decreto Supremo 29/2013, Ministerio del Medio Ambiente - Norma de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento.</p> <p>Resolución 94/2015, del Ministerio de Medio Ambiente - Protocolo de validación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones.</p> <p>Decreto Supremo 4/1992, del Ministerio de Salud - Norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales, que se encuentren en la Región Metropolitana.</p> <p>Decreto 89/1989, Ministerio de vivienda y urbanismo - Emisiones de polvo y material particulado.</p>
-------------------------	---

	<p>Decreto Supremo 148/2004, del Ministerio de Salud - Reglamento para el manejo de residuos peligrosos.</p> <p>Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente - Niveles máximos permitidos de presión sonora.</p>
Aspectos Ambientales	<p>Emisiones cumplen normas internacionales.</p> <p>En la Región Metropolitana se deben controlar emisiones específicamente de NO_x y MP equivalente según el plan de descontaminación vigente.</p>
<p>Decreto Supremo 29/2013, Ministerio del Medio Ambiente:</p> <p>Se establecen los valores límites de emisión de material particulado para la incineración, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, carbono orgánico total, monóxido de carbono, cadmio y sus compuestos, mercurio y sus compuestos, berilio y sus compuestos, plomo+zinc y sus compuestos, arsénico + cobalto + níquel + selenio + telurio y sus compuestos, antimonio + cromo + manganeso + vanadio, compuestos inorgánicos clorados gaseosos, compuestos inorgánicos fluorados gaseosos, benceno, dioxinas y furanos.</p>	

Tabla de valores límite de emisión para la incineración

Criterios		Valor Límite [mg/Nm ³]
Material Particulado	MP	30,0
Dióxido de azufre	SO ₂	50,0
Óxidos de Nitrógeno	NO _x	300,0
Carbono Orgánico Total	COT	20,0
Monóxido de Carbono	CO	50,0
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal	Cd	0,1
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal	Hg	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal	Be	0,1
Plomo + Zinc y sus compuestos, indicado como metal, suma total	Pb + Zn	1,0
Arsénico + Cobalto + Níquel + Selenio + Telurio y sus compuestos, indicado como elemento, suma total.	As + Co + Ni +Se + Te	1,0
Antimonio + Cromo + Manganeso + Vanadio, suma total.	Sb + Cr + Mn +V	5,0
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico	HCl	20,0
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico	HF	2,0
Benceno	C ₆ H ₆	5,0
Dioxinas y furanos	TEQ	0,2

Fuente: Decreto Supremo 29/2013 del Ministerio del Medio Ambiente

Decreto Supremo 4/1992, del Ministerio de Salud:

Establece la norma de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP₁₀, con un límite de MP de fuentes nuevas, estacionarias y puntuales, de 112 mg/Nm³. Además, establece requerimientos del monitoreo de la emisión de MP y metodología de emisión, definiendo el requerimiento de la compensación del 100% de emisiones, con el acuerdo entre privados. Se permite el incremento de producción de material

particulado, respectivo a la operación de la planta, en medida de que otra planta disminuya su emisión en una tasa igual.

Decreto 89/1989, Ministerio de vivienda y urbanismo:

Regula las medidas a implementar, para efectos de mitigar el impacto de las emisiones de polvo y material particulado en la ejecución de un trabajo.

Decreto Supremo 148/2004, del Ministerio de Salud:

Establece el reglamento para el manejo de los residuos peligrosos, estableciendo las condiciones mínimas para la descarga de ceniza en plantas de generación de energía. De acuerdo a ello, se debe cumplir con las concentraciones máximas permisibles (CMP) al aplicar el test de toxicidad, de lo contrario, el residuo tendrá que ser dispuesto en un relleno de seguridad.

Concentraciones máximas permisibles para determinar la toxicidad de un residuo.

Sustancia	Norma chilena Test toxicidad de lixiviación
[mg/l]	[mg/l]
Arsénico	5
Cromo	5
Mercurio	0,2
Plomo	5
Selenio	1
Bario	100
Benceno	0,5
Cadmio	1

Fuente: Decreto Supremo N° 148/2004 del Ministerio de Salud

Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente:

Esta normativa establece los límites de ruidos generados por fuentes de emisión, con la cual se puede establecer los horarios en los cuales está permitido ciertos decibeles, dependiendo de la zona en la cual se encuentre ubicada la planta.

Niveles máximos permitidos de Presión Sonora Corregida en db.

Zona y tipo de suelo	Horario 7 a 21 hrs	Horario 21 a 7 hrs
I: Residencial, espacio público y/o área verde	55	45
II: Zona I, que posee equipamiento.	60	45
III: Zona II, que posee actividades productivas y/o infraestructura.	65	50
IV: actividades productivas y/o de infraestructura	70	70

Fuente: DS N°38, 2014

11.1.2 Análisis de la Tecnología de Incineración

I. Principales características de la tecnología de Incineración:

- Esta tecnología no requiere que se realice una segregación en origen, pues puede tratar todo tipo de residuos.
- Es una de las tecnologías más ampliamente empleadas para el tratamiento de los residuos, con 1.458 plantas a nivel mundial.
 - El incremento del reciclaje y reuso de residuos está limitando la disponibilidad de materia prima (residuos), para poder usar esta tecnología. Esto ha conllevado que se requiera importar basura, y puede ser una limitante para su implementación.
- La tecnología de Incineración es factible técnicamente de ser implementada, requiriendo un gran volumen de residuos para operar (sobre 70.000 ton/año).
- La localización de la planta debe considerar el CMg de venta de la electricidad.
- La tecnología es factible ambiental y legalmente, siempre que las emisiones generadas cumplan con la normativa de emisión de material particulado. Se debe considerar en la localización de la planta, las zonas que han sido declaradas saturadas. De emplear esta tecnología en esas ubicaciones, se requerirá realizar las compensaciones correspondientes.

A modo resumen del nivel de madurez de las tecnologías de Waste to Energy se presenta Figura 11-1.



Figura 11-1. Nivel de Madurez de las Tecnologías Waste To Energy.
Fuente: Adaptado de Rosinki, S (2012).

II. Rol de actores claves

Los roles que deben tener los actores que están involucrados en el uso de la tecnología son:

- De acuerdo con el D.F.L. N°725/67 y la Ley de las Municipalidades, es el rol de las Municipalidades el encargarse de la gestión de residuos.
- El DFL 1/2019 presenta el Texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695, sobre las Municipalidades. En la Municipalidad, la gestión de los residuos está a cargo de la Unidad de medio ambiente, aseo y ornato. Dentro de las funciones de la unidad, se define el servicio de extracción de basura, proponer y ejecutar medidas tendientes a materializar acciones y programas relacionados al medio ambiente, aplicar normas ambientales de su competencia y elaborar anteproyectos de ordenanza ambiental, existiendo la posibilidad de acuerdo con el DFL 1/2019, de trabajar en la ordenanza con el Ministerio del Medio Ambiente.
- De acuerdo con el DFL 1/2019, la recolección, transporte y/o disposición final de los residuos domiciliarios corresponde a una labor de las Municipalidades, con excepción de aquellas que se encuentren ubicadas en un área metropolitana y que convengan con el gobierno regional respectivo, la gestión de residuos parcial o total. El gobierno regional deberá contar con las autorizaciones respectivas de la Secretaría Regional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Salud.
- Para la obtención de fondos asociados a inversión pública, el DFL 1/2019 menciona que los gobiernos regionales podrán celebrar convenios formales anuales o plurianuales para sus programas de inversión los cuales pueden solicitar las Municipalidades. La Ley Orgánica Constitucional sobre gobierno y administración regional establece las normas generales que regulan la suscripción, ejecución y exigencias de los convenios.

- En el DFL 1/2019 se establece que: *la coordinación entre las municipalidades y entre estas y los servicios públicos que dependan o se relacionen con el Presidente de la República a través de un ministerio y que actúen en sus respectivos territorios, se efectuará mediante acuerdos directos entre estos organismos.* La coordinación entre municipalidades y servicios públicos que dependan o se relacionen con el gobierno regional y que actúen en sus territorios, se efectuará mediante acuerdos directos.
- El DFL 1/2019 define que las Municipalidades elaboran las bases generales y específicas para los llamados a licitación.
- Las Municipalidades actúan como órgano intermedio, que interacciona con los Gobiernos Regionales, las Superintendencias, y los Ministerios. Al operar como un órgano intermedio, también interacciona con la gente, obrando para tener una ciudadanía que tenga un uso sustentable del espacio en el que viven.
- Para el proceso de Incineración, la Municipalidad poseerá un rol de gestor intermedio y de educador ambiental. La tecnología es capaz de tratar todo tipo de residuos, pero se debe priorizar la valorización de los residuos por los principios de las 3R. Todo residuo que no cumpla con esta categoría, podrá ser tratado en la planta.
- El Ministerio de Salud es un ente que actúa a través de sus Secretarías Regionales Ministeriales, denominada autoridad sanitaria. Según lo establecido en el DFL 725/2019 (última versión mayo 2019), se encuentra dentro de las labores del Ministerio de Salud, el velar por el cumplimiento de las disposiciones del DFL 725/2019, dentro de las cuales se identifican las atribuciones y obligaciones sanitarias de las Municipalidades. En el Artículo 11 del DFL 725/2019, se define que las Municipalidades deben recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del Servicio Nacional de Salud, las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana.
- La Ley 20.417 crea la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), un servicio público descentralizado que es supervisado por el Ministerio del Medio Ambiente. Dentro de las principales labores del SMA asociadas a proyectos de tratamiento de residuos y la gestión de residuos, se puede destacar que este organismo se encarga de: *ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las RCA, medidas de planes de prevención y/o descontaminación ambiental, contenido de normas de calidad y normas de emisión, y de planes de manejo.* La Superintendencia de Medio Ambiente lleva a cabo sus labores mediante fiscalización.
- El trabajo con los diferentes Municipios en la primera etapa, ha demostrado de que hay una variedad de realidades en temática de reciclaje, desde la segregación en origen, al transporte de estos residuos segregados. Para efectos de la operación de la tecnología, se puede considerar tratar todos los residuos inicialmente, en caso de que no se pueda implementar una segregación en origen estable en el tiempo.
- Como gestor intermedio, se encargará de la licitación para la recepción y transporte de los residuos, fiscalizando el control de su buen funcionamiento. De acuerdo con la capacidad de generación de una cultura de segregación de residuos, podrá la licitación considerar el transporte de los residuos rechazados para el proceso de reciclaje y de valorización de otras tecnologías.
- La operación será realizada por una empresa que puede ser seleccionada por un proceso de licitación. El rol de la empresa, corresponde a encargarse del funcionamiento de la planta de Incineración, encargándose la Municipalidad de realizar un rol fiscalizador. La empresa deberá asegurar que las emisiones de gases sean inferiores a las definidas por las leyes y ordenanzas que hayan sido establecidas para el sector de ubicación, al igual que de la disposición de los residuos sólidos que quedan del proceso (cenizas de fondo, cenizas volante y escoria).

- Por su parte, la empresa podrá generar ingresos por la venta de energía eléctrica, energía térmica, y por el ingreso de los RSDyA y otros a la planta de tratamiento. Alternativamente, en caso de incluir un proceso de segregación, también se podrán incluir la venta de material para ser reciclado.
- Se puede realizar trabajos con empresas del rubro de la construcción, y transformar el costo de disposición de las cenizas de fondo en costo 0, entregando este residuo para las industrias de construcción.
- El modelo de negocios y operación que se recomienda para este tipo de proyectos es el tipo BOT (Build-Operate-Transfer) o BOOT (Build-Own-Operate-Transfer). En la siguiente sección se describe por Modelo Canvas algunas características del modelo de negocios de esta tecnología.

11.1.3 Modelo de negocios de la tecnología de Incineración

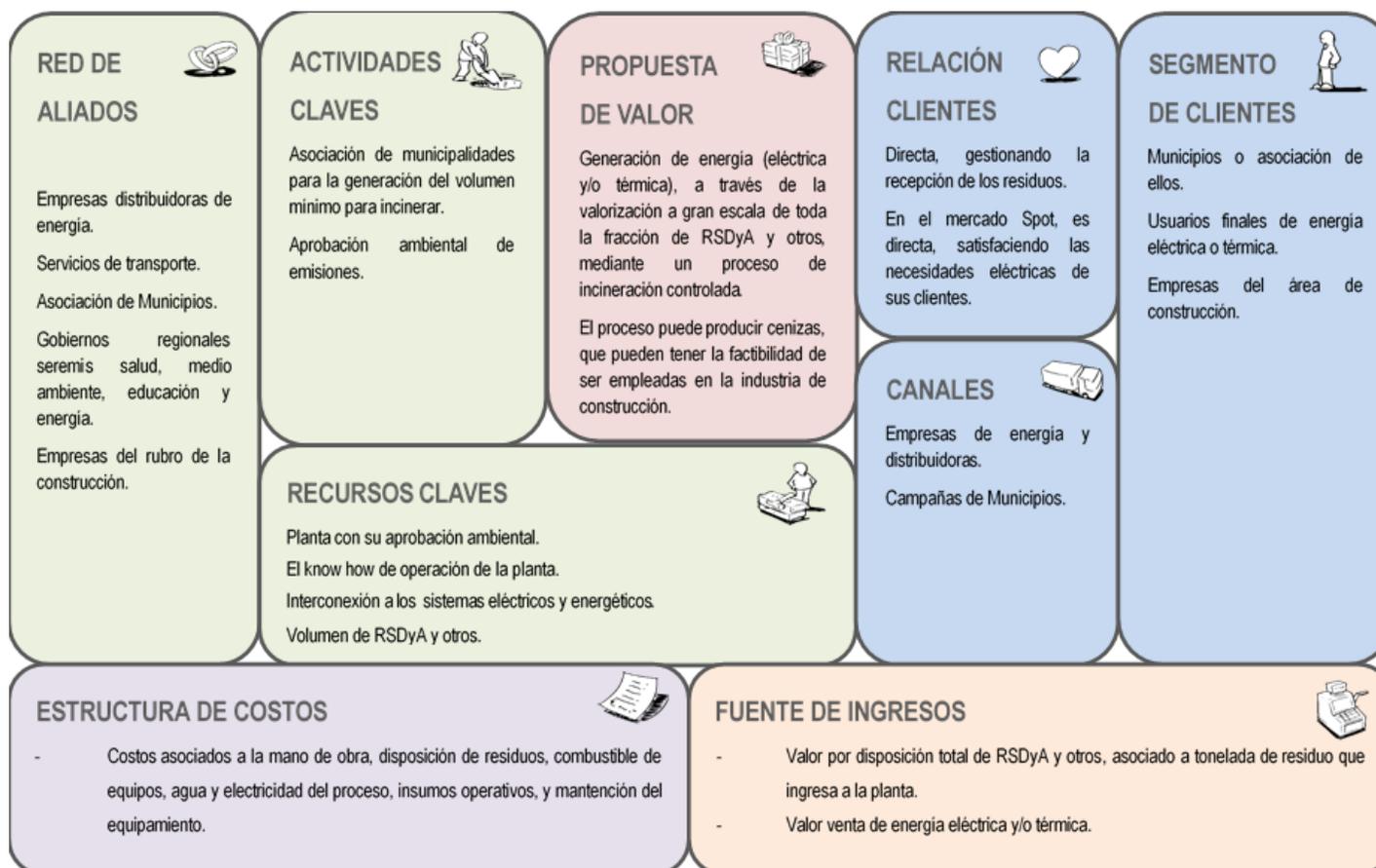


Figura 11-2. Modelo de negocios de la planta de incineración
Fuente: Elaboración propia, validado en jornada de discusión de la etapa 2.

11.2 Pirólisis

11.2.1 Ficha de Tecnología

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y SU MANTENIMIENTO	
Fundamento de la tecnología	
<p>Proceso de descomposición de los residuos a altas temperaturas (300 a 800°C), sin la acción del oxígeno. Este proceso genera elementos carbonizados (cenizas), aceites (gases condensables) y gas sintético.</p> <p>A mayor temperatura de operación, se podrá generar un mayor contenido de gases, disminuyendo la proporción de aceite y elementos carbonizados generados.</p> <p>A menor temperatura, se genera principalmente carbón.</p>	
Tecnologías disponibles	
Pirólisis a baja temperatura (LTC)	La Pirólisis opera a baja temperatura para la conversión térmica que opera en un ambiente sin aire, para producir principalmente una corriente líquida (bioaceites y alquitrán), y además una corriente de gas (gas sintético) y sólidos (cenizas, escoria).
Pirólisis alta temperatura (HTC)	La Pirólisis a alta temperatura se realiza a más de 800°C, obteniendo como producto primario, el gas sintético, y en menor medida, una corriente líquida (bioaceite y alquitrán) y corriente de sólidos (cenizas y escoria)
Pirólisis de alta temperatura + fusión (HTCM)	<p>Pirólisis de alta temperatura (sobre 1.500°C), los residuos son llevados a su punto de fusión, recuperando metales y minerales como escoria vitrificada y gránulos fundidos.</p> <p>Esta tecnología opera como una piro gasificación, que incluye el punto de fusión de los residuos.</p>
Horno rotatorio	Opera típicamente a temperaturas entre 300 a 850 °C. El horno se calienta externamente y se alimenta el residuo desde un extremo, avanzando lentamente con la moción de rotación que genera el horno.
Tubos	Los tubos son calentados externamente a temperaturas de hasta 800°C. Este proceso permite el ingreso de residuos de gran tamaño, manejando la velocidad de ingreso por el tubo, para asegurar una Pirólisis completa.
Superficie de contacto	<p>Se requiere que los residuos sean pretratados mediante trituración, para tener el tamaño adecuado requerido para este tipo de operación.</p> <p>El tamaño de la partícula permite tener alta tasa de calentamiento, maximizando la tasa de Pirólisis.</p>

Descripción

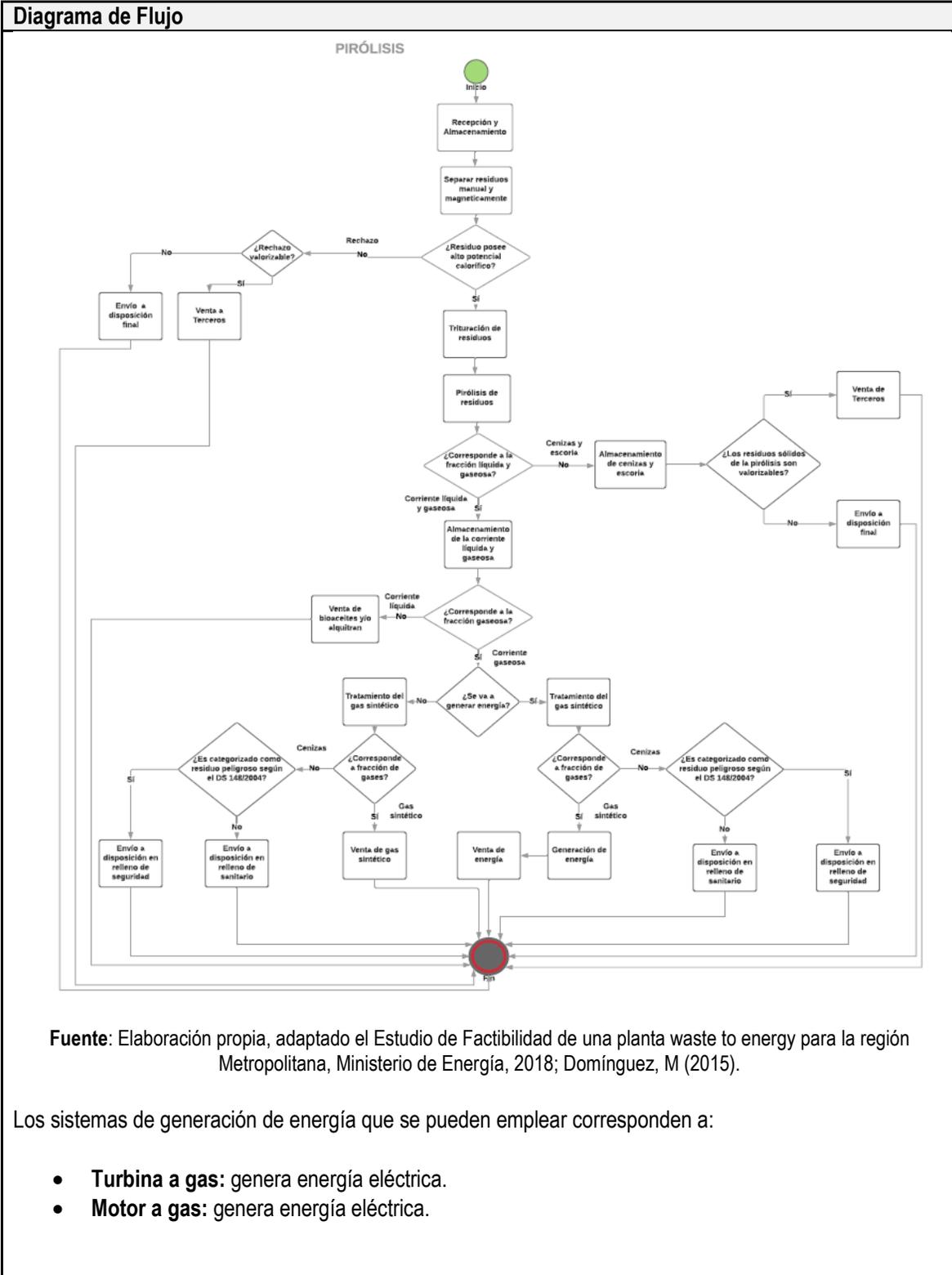
Tratamiento térmico empleado para aquellos residuos que poseen un alto poder calorífico y un bajo contenido de humedad. Esta tecnología puede emplear combustible sólido no recuperado como materia prima (RDF).

El gas generado por el proceso podrá ser empleado para la generación de energía eléctrica o almacenado como gas sintético.

Las cenizas del proceso podrán ser removidas del equipo después del proceso de Pirólisis, y tendrán el potencial de poder ser empleadas como aditivo de cemento o para la fabricación de elementos prefabricados urbanos, tales como ladrillos y soleras.

La corriente líquida generada por la condensación de los gases está compuesta de bio-aceite, cera y alquitrán. Estos productos podrán ser empleados como combustible o en el caso del alquitrán, ser reciclado.

Diagrama de Flujo



Fuente: Elaboración propia, adaptado el Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, Ministerio de Energía, 2018; Domínguez, M (2015).

Los sistemas de generación de energía que se pueden emplear corresponden a:

- **Turbina a gas:** genera energía eléctrica.
- **Motor a gas:** genera energía eléctrica.

Fotos Equipamiento



Pirólisis. En la imagen izquierda se puede apreciar dos vistas de un reactor de Pirólisis, y en la imagen derecha, una planta de Pirólisis de neumáticos.

Fuente: Alibaba (2019); Indiamart (2019).

INDICADORES						
Madurez Tecnológica						
Índice de Madurez Tecnológica	Alta		Media	X	Baja	
Capacidad Instalada	6.000 a 24.000 toneladas al año.					
N° Plantas Operativas	5 plantas (Japón)					
Vida Útil del Proceso						
Vida útil media (años)	5 a 8 años (Doing, 2019)					
Requerimientos Operacionales						
Para una planta que trata 6.000 toneladas al año, se requiere de 18 profesionales y se realiza un consumo de 800 L/mes de combustible.						
Se requiere por cada 1.000 kg de RSDyA y Otros que fueron segregados:						
<ul style="list-style-type: none"> • 378 kWh. 						

Características y destino de los productos y/o residuos generados	
Cenizas de fondo, cenizas volantes y escoria	<p>Las cenizas y escoria producida por el proceso de Pirólisis, poseen un volumen del 10% al 50% de la materia tratada en el proceso, dependiendo de la temperatura de operación.</p> <p>Están compuestas por material particulado que se deposita gravitacionalmente en el fondo de la cámara (cenizas de fondo y escoria), y de material particulado que es removido durante el tratamiento del gas (cenizas volantes).</p> <p>Este material debe ser dispuesto en un Relleno Sanitario, y posee la capacidad de ser empleado en la industria de la construcción.</p> <p>En el caso de las cenizas volantes, de acuerdo a su composición, puede ser requerido que se deba disponer en un Rellenos de Seguridad.</p>
Corriente líquida (condensado de los gases)	<p>El bioaceite y la cera podrán ser empleados como combustible o ser reciclados.</p> <p>El alquitrán que se puede generar en las plantas de pirólisis de neumáticos, podrá ser reciclado.</p>
Requerimientos del sustrato o residuo a utilizar	
Tamaño máximo	1 a 5 mm
Poder Calorífico Típico	8 a 20 MJ/kg
Pretratamiento requerido	Separación mecánica de elementos grandes, trituración y una separación manual
Descripción	<p>La Pirólisis requiere que se realice una segregación mecánica, manual o eléctrica previa, para remover los residuos de mayor tamaño, generando los rechazos del proceso e identificando aquellos que requieren una trituración.</p> <p>Durante la clasificación automática del proceso, se remueven los materiales con bajo potencial calorífico.</p>

Descripción Alternativa para fracción RSD no tratable

Debido al bajo poder calorífico, el proceso de Pirólisis requiere la remoción de vidrios, metales y arena.

Los vidrios y metales pueden ser ingresados a una planta de pretratamiento, para poder ser reciclados o reusados en otros procesos.

Para la arena, dependiendo de la calidad y el tipo, podrá ser empleado en la industria de la construcción. En caso contrario, la planta de gasificación deberá disponer este residuo.

Dentro de las materias primas que puede emplear este proceso, están productos que pueden ser reciclados. Estos pueden ser tratados por el proceso, pero debido a la prioridad que poseen por reciclaje o reúso, deberán ser destinados a una planta de tratamiento, de acuerdo con la exigencia de la normativa vigente.

Estabilidad Operacional

Aspectos críticos de la operación:

El tamaño de la partícula que ingresa al equipo de Pirólisis debe ser pequeño (1 a 5mm).

La temperatura de operación.

Velocidad de calentamiento.

Riesgos asociados a fallas:

El tamaño de partícula se requiere para que no se generen gradientes de temperatura o masa dentro del material.

Se requiere controlar la temperatura, para que el proceso se realice como Pirólisis a baja temperatura o Pirólisis a alta temperatura.

La velocidad de calentamiento o tasa, afecta a los productos que se generan. Mientras más rápido se caliente, menor será la fracción de sólidos generada y mayor la fracción líquida y de gases.

Mecanismos de contingencia:

Para el tamaño de la partícula, se emplea una separación mecánica y manual, y parte de la corriente después de la trituración se puede recircular.

Para el control de la temperatura y velocidad de calentamiento, se operan con sistemas automatizados. En caso de una falla, se recomienda terminar el ciclo de operación y hacer una mantención, para luego reiniciar el proceso de Pirólisis.

Requisitos Técnicos del Personal				
Personal de Operación y Mantenión	6.000 ton al año planta	8.000 a 10.000 ton al año planta	15.000 a 20.000 ton al año planta	20.000 a 24.000 ton al año planta
	18	20	24	24
Ingeniero	Ingeniero: Civil, Civil Industrial, Civil Químico, Civil Eléctrico, Civil Bioquímico, Civil Ambiental, Civil Mecánico, en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente, Ejecución de Bioprocesos, Civil Comercial.			
Principales Instituciones Académicas Identificadas	Universidad de Chile, Universidad Técnico Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Mayor, Universidad la Frontera, Universidad Tecnológica Metropolitana, Universidad del Biobío, Universidad Católica del Norte, Universidad de los Andes, Universidad de Concepción, Universidad La Serena, Universidad Playa Ancha, Universidad Los Andes, Universidad de Talca, Universidad Austral de Chile, Universidad de la Santísima Concepción, Universidad Católica del Norte, Universidad Católica de Temuco y Universidad Santiago de Chile.			
Profesionales Universitarios	Gerente de planta, supervisor de planta de residuos, supervisor de planta de generación y de tratamiento de gases, ingeniero de planta de residuos, ingeniero medioambiental de planta de generación y tratamiento de gases, mantención de equipamiento de planta de residuos, mantención de planta de generación y tratamiento de gases, prevencionista de riesgos, operador del sistema de control e instrumentación, recursos humanos y finanzas.			
Profesional Técnico y otros	Portero, operadores de planta de residuos, operadores de planta de generación y de tratamiento de gases.			
Requerimientos para desarrollo				
Superficie requerida (m ²):	4.484	5.900 a 7.253	10.844 a 14.306	14.306 a 18.493
Capacidad (ton/año-planta)	6.000	8.000 a 10.000	15.000 a 20.000	20.000 a 24.000
Restricciones de carácter territorial				
<p>Las restricciones de carácter territorial que debe considerar la tecnología de Pirólisis, son iguales a las requeridas para la tecnología de Incineración. Se requiere considerar que, al quemar el gas sintético, se debe cumplir con las normativas de emisión de gases y se requiere considerar el precio de venta de energía eléctrica.</p> <p>Respectivo a la generación de electricidad, se debe considerar que la localización escogida tendrá que competir en el mercado Spot, en el nudo que se conecte el sistema. Esto significa que se requiere tener</p>				

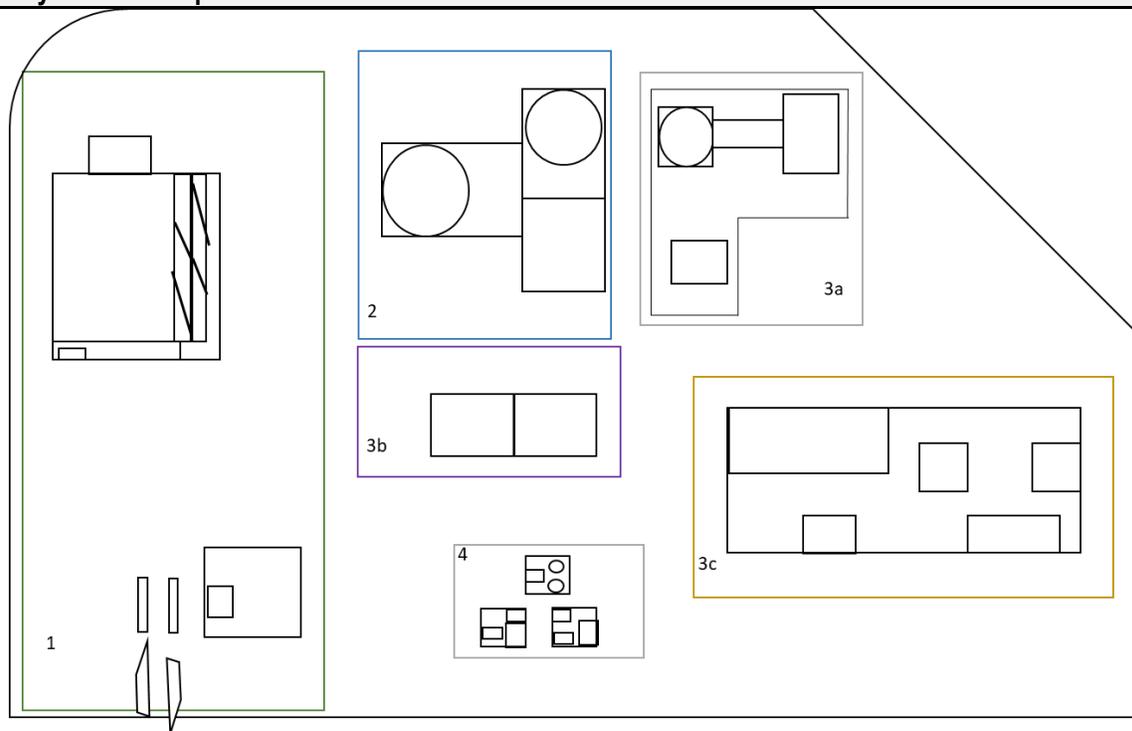
precaución el sector en donde se conecte, para poder tener un precio competitivo en el mercado. En marzo 2019, el CM_g se encontró en un rango de 41,26 a 34,61 USD/MWh (Coordinador Eléctrico Nacional, 2019).

El plan de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014 al 2018 del Ministerio de Medio Ambiente, entrega información de las localidades que han presentado una emisión anual superior a la establecida para el $MP_{2,5}$ y el MP_{10} . En caso de escoger esa ubicación, se requerirá realizar la compensación de emisión correspondiente.

Las localidades que han presentado emisión anual superior a la norma para $MP_{2,5}$ son: Viña del Mar, Puente Alto, Cerrillos, Cerro Navia, Independencia, La Florida, Las Condes, Pudahuel, Quilicura, Parque O'Higgins, Talagante, Rancagua, San Pedro de la Paz, Libertad, INIA, Las Encinas Temuco, Museo Ferroviario, Valdivia y Osorno.

Las localidades que han presentado emisión anual superior a la norma para MP_{10} son: Campamento, Andacollo, Hospital, Los Andes, Puente Alto, Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, Independencia, La Florida, Las Condes, Pudahuel, Quilicura, Parque O'Higgins, Rancagua, Rengo, San Fernando, La Florida, Libertad, Las Encinas Temuco, Museo Ferroviario, Valdivia, Osorno y Cohaique.

Layout Planta Tipo



Layout de planta de Pirólisis. En la zona 1 se encuentra la recepción de los residuos, con su almacenamiento y pretratamiento. En la zona 2 se localiza la zona de tratamiento térmico (pirólisis y almacenamiento del gas condensado). En la zona 3, las diferentes unidades de la zona de generación de energía eléctrica. La zona 3 se subdivide en la zona 3a que corresponde al sistema de tratamiento de gases, la zona 3b que corresponde a la

subestación y la zona 3c, que corresponde al sistema de generación eléctrica. En la zona 4 se encuentran las instalaciones básicas (baño, casino y oficina).

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Benston (2019).

Marco Normativo

Aspectos Legales

Actualmente, la tecnología de Pirólisis debe cumplir con las mismas normativas aplicadas para la tecnología de incineración, correspondientes a:

Decreto Supremo 29/2013, Ministerio del Medio Ambiente - Norma de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento.

Resolución 94/2015, del Ministerio de Medio Ambiente - Protocolo de validación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones.

Decreto Supremo 4/1992, del Ministerio de Salud - Norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales, que se encuentren en la Región Metropolitana.

Decreto 89/1989, Ministerio de vivienda y urbanismo - Emisiones de polvo y material particulado.

Decreto Supremo 148/2004, del Ministerio de Salud - Reglamento para el manejo de residuos peligrosos.

Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente - Niveles máximos permitidos de presión sonora.

Aspectos Ambientales

Esta tecnología posee un bajo número de plantas comerciales y tiene un nivel de madurez medio. Se recomienda analizar los procesos de Pirólisis y las emisiones producidas por el sistema, comparándolas con la normativa de Chile.

Decreto Supremo 29/2013, Ministerio del Medio Ambiente:

Se establecen los valores límites de emisión de material particulado para la incineración, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, carbono orgánico total, monóxido de carbono, cadmio y sus compuestos, mercurio y sus compuestos, berilio y sus compuestos, plomo+zinc y sus compuestos, arsénico + cobalto + níquel + selenio + telurio y sus compuestos, antimonio + cromo + manganeso + vanadio, compuestos inorgánicos clorados gaseosos, compuestos inorgánicos fluorados gaseosos, benceno, dioxinas y furanos.

Tabla de valores límite de emisión para la incineración

Criterios		Valor Límite [mg/Nm ³]
Material Particulado	MP	30,0
Dióxido de azufre	SO ₂	50,0
Óxidos de Nitrógeno	NO _x	300,0
Carbono Orgánico Total	COT	20,0
Monóxido de Carbono	CO	50,0
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal	Cd	0,1
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal	Hg	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal	Be	0,1
Plomo + Zinc y sus compuestos, indicado como metal, suma total	Pb + Zn	1,0
Arsénico + Cobalto + Níquel + Selenio + Telurio y sus compuestos, indicado como elemento, suma total.	As + Co + Ni +Se + Te	1,0
Antimonio + Cromo + Manganeso + Vanadio, suma total.	Sb + Cr + Mn +V	5,0
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico	HCl	20,0
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico	HF	2,0
Benceno	C ₆ H ₆	5,0
Dioxinas y furanos	TEQ	0,2

Fuente: Decreto Supremo 29/2013 del Ministerio del Medio Ambiente

Decreto Supremo 4/1992, del Ministerio de Salud:

Establece la norma de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP₁₀, con un límite de MP de fuentes nuevas, estacionarias y puntuales, de 112 mg/Nm³. Además, establece requerimientos del monitoreo de la emisión de MP y metodología de emisión, definiendo el requerimiento de la compensación del 100% de emisiones, con el acuerdo entre privados. Se permite el incremento de

producción de material particulado, respectivo a la operación de la planta, en medida de que otra planta disminuya su emisión en una tasa igual.

Decreto 89/1989, Ministerio de vivienda y urbanismo:

Regula las medidas a implementar, para efectos de mitigar el impacto de las emisiones de polvo y material particulado en la ejecución de un trabajo.

Decreto Supremo 148/2004, del Ministerio de Salud:

Establece el reglamento para el manejo de los residuos peligrosos, estableciendo las condiciones mínimas para la descarga de ceniza en plantas de generación de energía. De acuerdo a ello, se debe cumplir con las concentraciones máximas permisibles (CMP) al aplicar el test de toxicidad, de lo contrario, el residuo tendrá que ser dispuesto en un relleno de seguridad.

Concentraciones máximas permisibles para determinar la toxicidad de un residuo.

Sustancia	Norma chilena Test toxicidad de lixiviación
[mg/l]	[mg/l]
Arsénico	5
Cromo	5
Mercurio	0,2
Plomo	5
Selenio	1
Bario	100
Benceno	0,5
Cadmio	1

Fuente: Decreto Supremo N° 148/2004 del Ministerio de Salud

Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente:

Esta normativa establece los límites de ruidos generados por fuentes de emisión, con la cual se puede establecer los horarios en los cuales está permitido ciertos decibeles, dependiendo de la zona en la cual se encuentre ubicada la planta.

Niveles máximos permitidos de Presión Sonora Corregida en db.

Zona y tipo de suelo	Horario 7 a 21 hrs	Horario 21 a 7 hrs
I: Residencial, espacio público y/o área verde	55	45
II: Zona I, que posee equipamiento.	60	45
III: Zona II, que posee actividades productivas y/o infraestructura.	65	50
IV: actividades productivas y/o de infraestructura	70	70

Fuente: DS N°38, 2014

11.2.2 Análisis de la Tecnología de Pirólisis

I. Principales características de la tecnología de Pirólisis:

- Esta tecnología requiere de una segregación previa de los residuos.
- Esta tecnología posee un nivel de madurez que le permite tener unas plantas de pirólisis actualmente operativas. Por lo cual, es técnicamente factible su implementación. Sin perjuicio de lo anterior, se recomienda realizar estudios de la operación y el comportamiento de la tecnología, antes de considerar realizar inversión en equipamiento.
- Si se desea generar energía y no almacenar el gas producido por el proceso, se requiere considerar la localización de la planta para analizar el CM_g de venta de la electricidad.
- Se requiere analizar las emisiones de esta tecnología, para determinar si su implementación requiere de más etapas de tratamientos de gases, para cumplir con la normativa chilena y requerimientos ambientales.

II. Rol de actores claves

Los Roles que deben tener los actores que están involucrados en el uso de la tecnología son:

- De acuerdo con el D.F.L. N°725/67 y la Ley de las Municipalidades, es el rol de las Municipalidades el encargarse de la gestión de residuos.
- El DFL 1/2019 presenta el Texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695, sobre las Municipalidades. En la Municipalidad, la gestión de los residuos está a cargo de la Unidad de medio ambiente, aseo y ornato. Dentro de las funciones de la unidad, se define el servicio de extracción de basura, proponer y ejecutar medidas tendientes a materializar acciones y programas relacionados al medio ambiente, aplicar normas ambientales de su competencia y elaborar anteproyectos de ordenanza ambiental, existiendo la posibilidad de acuerdo con el DFL 1/2019, de trabajar en la ordenanza con el Ministerio del Medio Ambiente.
- De acuerdo con el DFL 1/2019, la recolección, transporte y/o disposición final de los residuos domiciliarios corresponde a una labor de las Municipalidades, con excepción de aquellas que se encuentren ubicadas en un área metropolitana y que convengan con el gobierno regional respectivo, la gestión de residuos parcial o total. El gobierno regional deberá contar con las autorizaciones

respectivas de la Secretaría Regional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Salud.

- Para la obtención de fondos asociados a inversión pública, el DFL 1/2019 menciona que los gobiernos regionales podrán celebrar convenios formales anuales o plurianuales para sus programas de inversión los cuales pueden solicitar las Municipalidades. La Ley Orgánica Constitucional sobre gobierno y administración regional establece las normas generales que regulan la suscripción, ejecución y exigencias de los convenios.
- En el DFL 1/2019 se establece que: *la coordinación entre las municipalidades y entre estas y los servicios públicos que dependan o se relacionen con el Presidente de la República a través de un ministerio y que actúen en sus respectivos territorios, se efectuará mediante acuerdos directos entre estos organismos.* La coordinación entre municipalidades y servicios públicos que dependan o se relacionen con el gobierno regional y que actúen en sus territorios, se efectuará mediante acuerdos directos.
- El DFL 1/2019 define que las Municipalidades elaboran las bases generales y específicas para los llamados a licitación.
- Las Municipalidades actúan como órgano intermedio, que interacciona con los Gobiernos Regionales, las Superintendencias, y los Ministerios. Al operar como un órgano intermedio, también interacciona con la gente, obrando para tener una ciudadanía que tenga un uso sustentable del espacio en el que viven.
- Para el proceso de Pirólisis, la Municipalidad poseerá un rol de gestor intermedio y de educador ambiental. Como tal, las Municipalidades actúan como órgano intermedio, que interacciona con los Gobiernos Regionales, las Superintendencias, y los Ministerios.
- Las personas, como generadoras de residuos, tienen la responsabilidad social y medio ambiental de asegurarse de que se disponga su basura en los basureros designados, para que la Municipalidad se encargue de gestionar su disposición.
- El Ministerio de Salud es un ente que actúa a través de sus Secretarías Regionales Ministeriales, denominada autoridad sanitaria. Según lo establecido en el DFL 725/2019 (última versión mayo 2019), se encuentra dentro de las labores del Ministerio de Salud, el velar por el cumplimiento de las disposiciones del DFL 725/2019, dentro de las cuales se identifican las atribuciones y obligaciones sanitarias de las Municipalidades. En el Artículo 11 del DFL 725/2019, se define que las Municipalidades deben recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del Servicio Nacional de Salud, las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana.
- La Ley 20.417 crea la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), un servicio público descentralizado que es supervisado por el Ministerio del Medio Ambiente. Dentro de las principales labores del SMA asociadas a proyectos de tratamiento de residuos y la gestión de residuos, se puede destacar que este organismo se encarga de: *ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las RCA, medidas de planes de prevención y/o descontaminación ambiental, contenido de normas de calidad y normas de emisión, y de planes de manejo.* La Superintendencia de Medio Ambiente lleva a cabo sus labores mediante fiscalización.
- El trabajo que se realizó en la Etapa 1 del proyecto, con las entrevistas a Municipalidades y Gobiernos Regionales, ha demostrado que, si bien en algunas localidades está en las primeras etapas de aplicación, aun requieren solucionar problemas técnicos para poder cumplir con el ciclo de segregación de los residuos, enfocados a la recolección por parte de las empresas que están actualmente ejecutando este servicio transporte a las Municipalidades, y por otra parte, enfocado en continuos

planes de enseñanza a la población, respectivo a como separar los productos reciclables de los no valorizables, y de separar la fracción orgánica.

- Como gestor intermedio, se encargará de la licitación para la recepción y transporte de los residuos, fiscalizando el control de su buen funcionamiento. De acuerdo con la capacidad de generación de una cultura de segregación de residuos, podrá la licitación considerar el transporte de los residuos, de acuerdo a las categorías identificadas.
- La operación será realizada por una empresa que puede ser seleccionada por un proceso de licitación. El rol de la empresa, corresponde a encargarse del funcionamiento de la planta de pirólisis, encargándose la Municipalidad de realizar un rol fiscalizador. La empresa deberá asegurar que las emisiones de gases sean inferiores a las definidas por las leyes y ordenanzas que hayan sido establecidas para el sector de ubicación, al igual que de la disposición de los residuos sólidos que quedan del proceso (cenizas de fondo, cenizas volante y escoria) y la comercialización de los gases condensados.
- La empresa podrá generar ingresos por la venta de energía eléctrica o gas sintético, y por el ingreso de los RSDyA y otros a la planta de tratamiento. Alternativamente, se pueden generar ingresos por la venta de los gases condensables y disminuir los costos de disposición de las cenizas, comercializándolas con el sector de la construcción.
- El modelo de negocios y operación que se recomienda para este tipo de proyectos es el tipo BOT (Build-Operate-Transfer) o BOOT (Build-Own-Operate-Transfer). En la siguiente sección se describe por Modelo Canvas algunas características del modelo de negocios de esta tecnología.

11.2.3 Modelo de negocios de la Tecnología de Pirólisis

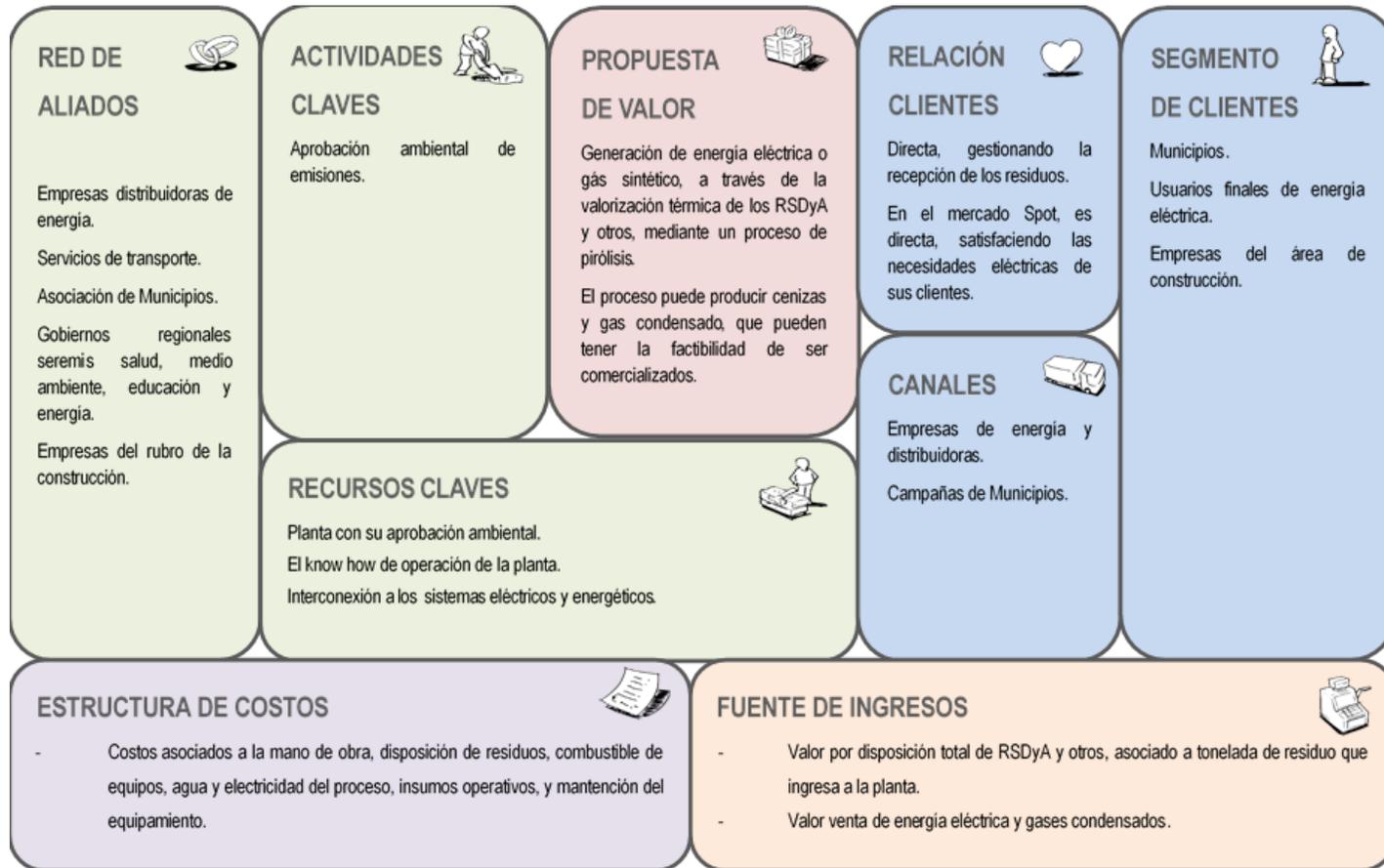


Figura 11-3. Modelo de negocios de la planta de pirólisis
Fuente: Elaboración Propia, validado en jornada de discusión de la etapa 2.

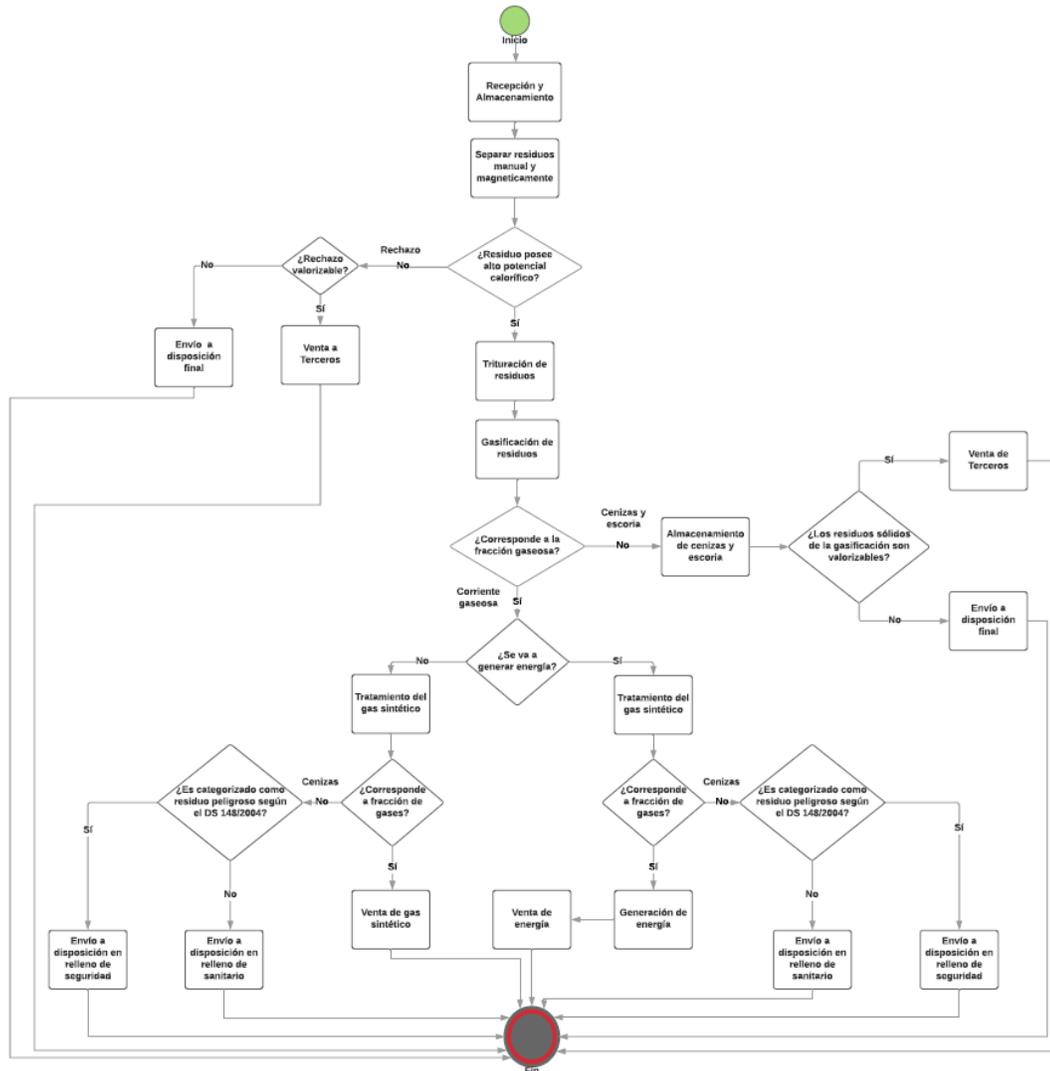
11.3 Gasificación

11.3.1 Ficha de Tecnología

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y SU MANTENIMIENTO	
Fundamento de la tecnología	
La Gasificación es un proceso térmico de oxidación parcial de los residuos a altas temperaturas (800 a 1.600 °C), mediante el control de la alimentación del oxígeno. El proceso permite transformar los residuos en gas sintético, el cual puede ser empleado para la generación de energía, calefacción, vapor o almacenado.	
Tecnologías disponibles	
Gasificación convencional	<p>Proceso de Gasificación que requiere la reducción del tamaño de partícula de los residuos y la remoción de metales, vidrios y arenas (poseen bajo poder calorífico).</p> <p>Los residuos son tratados dentro de la cámara de Gasificación, en ausencia de oxígeno, produciendo el gas sintético. El gas se puede quemar al adicionar oxígeno, y podrá ser procesado en turbina de vapor o en una turbina o motor a gas.</p>
Gasificación con plasma	<p>Proceso de Gasificación que requiere la reducción del tamaño de partícula de los residuos y la remoción de metales, vidrios y arena.</p> <p>El gas a alta temperatura se encuentra en un estado de plasma, formando una mezcla de iones, electrones y partículas libres, que pueden ser empleadas como conductores de electricidad. El proceso generará gas sintético en ausencia de oxígeno, el cual puede ser empleado para la generación de energía, mediante su combustión en caldera de vapor, turbina de gas o motor de gas.</p>
Gasificación lecho fijo	<p>El sustrato se alimenta por la parte superior del reactor, y desciende lentamente, reaccionando con los gases que fluyen en contracorriente a través del lecho.</p> <p>A medida que desciende, el residuo experimenta una serie de procesos: secado, calentamiento, pirólisis, gasificación y combustión. Las cenizas pueden extraerse del fondo del equipo, obteniendo como producto, un gas a baja temperatura (400 a 500 °C), que contiene alquitranes y aceites.</p>
Gasificación lecho arrastrado	<p>El residuo y los agentes gasificantes fluyen en la misma dirección, con velocidades superiores al resto de los otros tipos de configuraciones de reactores.</p> <p>La alimentación puede ser seca (con nitrógeno) o húmeda (en mezcla con agua), se realiza a través de quemadores de oxidación parcial. Las temperaturas de operación son elevadas (1.200 a 1.600 °C) y las cenizas se extraen por la parte inferior.</p>
Gasificación con lecho fluidizado	Esta tecnología puede ser empleada en Incineración o en Gasificación. El lecho está compuesto de partículas que dan características similares a un lecho fluidizado.

	<p>El sistema entrega una buena mezcla de la corriente que ingresa, y el calor puede ser transferido a los residuos.</p> <p>Esta tecnología tiene una alto potencial para ocupar los RDF.</p>
<p>Descripción</p>	
<p>La Gasificación es un proceso térmico que opera entre 800 a 1.600 °C, en el cual los residuos que ingresan al proceso son oxidados parcialmente, mediante un proceso de descomposición que produce un gas que puede ser empleado como combustible. El producto también es conocido como gas sintético.</p> <p>La limitación del oxígeno en el sistema permite que los gases generados no quemen, generando las transformaciones químicas pertinentes que producen el gas sintético.</p> <p>La cámara de Gasificación puede considerar un proceso de Incineración para generar gases de combustión y calor. Alternativamente, los gases del proceso deberán ser pretratados y posteriormente, podrán ser empleados para la generación de energía, mediante el uso de calderas, turbinas o motor de gas.</p> <p>Las cenizas del proceso podrán ser removidas del equipo después del proceso de Gasificación, y tendrán el potencial de poder ser empleadas como aditivo de cemento o para la fabricación de elementos prefabricados urbanos, tales como ladrillos y soleras.</p>	

Diagrama de Flujo



Fuente: Elaboración propia, adaptado el Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, Ministerio de Energía, 2018.

Los sistemas de generación de energía que se pueden emplear corresponden a:

- **Caldera de agua caliente e intercambiador de calor:** genera calefacción.
- **Caldera de vapor a baja presión:** genera vapor.
- **Caldera de vapor de alta presión y Turbina de vapor:** genera vapor y electricidad, o electricidad y calefacción.
- **Caldera de vapor de alta presión, Turbina de vapor e intercambiador de calor:** genera energía de calefacción y electricidad.
- **Turbina de gas:** generación de solo electricidad.

- **Motor de gas:** generación de solo electricidad.

Fotos Equipamiento



Gasificación. En la imagen izquierda se puede apreciar un esquema de una planta de Gasificación, y en la imagen derecha, el reactor piloto que se presentó en el proyecto FIC-R 2017 GasBas.

Fuente: Biofuels Academy; Proyecto FIC-R 2017 GasBas (BIP-40004872).

INDICADORES

Madurez Tecnológica

Índice de Madurez Tecnológica	Alta		Media	X	Baja	
Capacidad Instalada	10.000 a 100.000 toneladas por línea al año.					
N° Plantas Operativas	133 plantas en todo el mundo					

Vida Útil del Proceso

Vida útil media (años)	35
------------------------	----

Requerimientos Operacionales

Para una planta con capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año, se requieren 33 profesionales y se realiza un consumo de 20.000 L/mes de combustible.

Se requiere por cada 1.000 kg de RSDyA y Otros a tratar:

- 54 kWh de energía.

Características y destino de los productos y/o residuos generados

Cenizas de fondo, cenizas volantes y escoria	Las cenizas y escoria producida por el proceso de Gasificación, poseen una masa del 30% de los residuos inicialmente tratados y un volumen del 10%. Están compuestas por material particulado que se deposita gravitacionalmente al fondo de la cámara de Gasificación (cenizas
--	--

	<p>de fondo y escoria), y de material particulado que es removido durante el tratamiento del gas sintético (cenizas volantes).</p> <p>Este material debe ser dispuesto en Relleno Sanitario, y posee la capacidad de ser empleado en la industria de la construcción.</p> <p>En el caso de las cenizas volantes, de acuerdo a su composición, puede ser requerido disponer en Rellenos de Seguridad.</p>
Requerimientos del sustrato o residuo a utilizar	
Tamaño máximo	1 a 5 mm
Poder Calorífico típico	8 a 20 MJ/kg
Pretratamiento requerido	Separación mecánica de elementos grandes, trituración y clasificación automática
Descripción	<p>El tratamiento de Gasificación requiere que se realice una segregación mecánica, manual o eléctrica previa, para remover los residuos de mayor tamaño, generando los rechazos del proceso e identificando aquellos que requieren una trituración.</p> <p>Durante la clasificación automática del proceso, se remueven los vidrios, metales y arena.</p>
Descripción Alternativa para fracción RSD no tratable	
<p>El proceso de Gasificación remueve de los residuos, vidrios, metales y arena.</p> <p>Los vidrios y metales pueden ser ingresados a una planta de pretratamiento, para poder ser reciclados o reusados en otros procesos.</p> <p>Para la arena, dependiendo de la calidad y el tipo, podrá ser empleado en la industria de la construcción. En caso contrario, la planta de gasificación deberá disponer este residuo.</p>	
Estabilidad Operacional	
Aspectos críticos de la operación:	
El Tamaño de la partícula que ingresa al gasificador requiere ser pequeño (1 a 5 mm)	
Alimentación de oxígeno durante el proceso de Gasificación.	
Riesgos asociados a fallas:	
El tamaño de partícula se requiere para que no se generen gradientes de temperatura o masa dentro del material.	

La Gasificación convencional ocurre en tres etapas, correspondientes al calentamiento, Gasificación y oxidación de la fracción con contenido de carbón de los residuos. Si no se alimenta oxígeno durante la etapa correcta y en las concentraciones necesarias, no permitirá obtener un gas sintético de calidad, generándose gases indeseados.

Mecanismos de contingencia:

Luego de la separación mecánica, se recomienda una separación manual, para asegurar que los residuos de mayor tamaño ingresen al proceso de trituración, y de ser necesario, recircular parte del flujo al triturador.

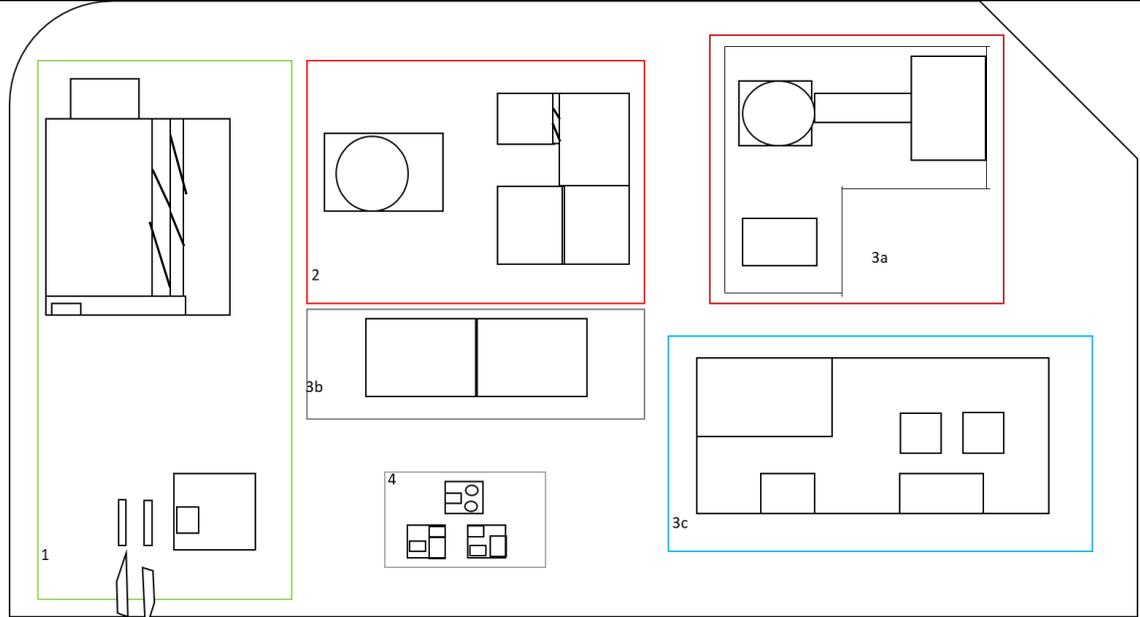
La alimentación de oxígeno es monitoreada por un sistema automatizado. En caso de fallo, se recomienda el paro de las operaciones del sistema y realizar mantenencias al equipo.

Requisitos Técnicos del Personal

Personal de Operación y Mantención	10.000 ton al año por línea	100.000 ton al año por línea
	20	33
Ingeniero	Ingeniero: Civil, Civil Industrial, Civil Químico, Civil Eléctrico, Civil Bioquímico, Civil Ambiental, Civil Mecánico, en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente, Ejecución de Bioprocesos, Civil Comercial.	
Principales Instituciones Académicas Identificadas	Universidad de Chile, Universidad Técnico Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Mayor, Universidad la Frontera, Universidad Tecnológica Metropolitana, Universidad del Biobío, Universidad Católica del Norte, Universidad de los Andes, Universidad de Concepción, Universidad La Serena, Universidad Playa Ancha, Universidad Los Andes, Universidad de Talca, Universidad Austral de Chile, Universidad de la Santísima Concepción, Universidad Católica del Norte, Universidad Católica de Temuco y Universidad Santiago de Chile.	
Profesionales Universitarios	Gerente de planta, supervisor de planta de residuos, supervisor de planta de generación y de tratamiento de gases, ingeniero de planta de residuos, ingeniero medioambiental de planta de generación y tratamiento de gases, mantención de equipamiento de planta de residuos, mantención de planta de generación y tratamiento de gases, prevencionista de riesgos, operador del sistema de control e instrumentación, recursos humanos y finanzas.	
Profesionales Técnicos y otros	Portero, operadores de planta de residuos, operadores de planta de generación y de tratamiento de gases.	
Requerimientos para desarrollo		
Superficie requerida (m ²):	15.000 a 20.000	30.000 a 40.000
Capacidad (ton/año-planta)	10.000	100.000

Eficiencia eléctrica (%)	10%	15%
Generación eléctrica (MW)	0,27 a 0,32	4,3 a 5
Restricciones de carácter territorial		
<p>Las restricciones de carácter territorial que debe considerar la tecnología de Gasificación son iguales a las requeridas para la tecnología de Incineración. Se requiere considerar que, al quemar el gas sintético, se debe cumplir con las normativas de emisión de gases y se requiere considerar el precio de venta de energía eléctrica.</p> <p>Respectivo a la generación de electricidad, se debe considerar que la localización escogida tendrá que competir en el mercado Spot, en el nudo que se conecte el sistema. Esto significa que se requiere tener precaución el sector en donde se conecte, para poder tener un precio competitivo en el mercado. En marzo 2019, el CM_g se encontró en un rango de 41,26 a 34,61 USD/MWh (Coordinador Eléctrico Nacional, 2019).</p> <p>El plan de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014 al 2018 del Ministerio de Medio Ambiente, entrega información de las localidades que han presentado una emisión anual superior a la establecida para el MP_{2,5} y el MP₁₀. En caso de escoger esa ubicación, se requerirá realizar la compensación de emisión correspondiente.</p> <p>Las localidades que han presentado emisión anual superior a la norma para MP_{2,5} son: Viña del Mar, Puente Alto, Cerrillos, Cerro Navia, Independencia, La Florida, Las Condes, Pudahuel, Quilicura, Parque O'Higgins, Talagante, Rancagua, San Pedro de la Paz, Libertad, INIA, Las Encinas Temuco, Museo Ferroviario, Valdivia y Osorno.</p> <p>Las localidades que han presentado emisión anual superior a la norma para MP₁₀ son: Campamento, Andacollo, Hospital, Los Andes, Puente Alto, Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, Independencia, La Florida, Las Condes, Pudahuel, Quilicura, Parque O'Higgins, Rancagua, Rengo, San Fernando, La Florida, Libertad, Las Encinas Temuco, Museo Ferroviario, Valdivia, Osorno y Cohaique.</p>		

Layout Planta Tipo



Layout de planta de Gasificación. En la zona 1 se encuentra la recepción de los residuos, con su almacenamiento y pretratamiento. En la zona 2 se localiza la zona de tratamiento térmico (Gasificación). En la zona 3, las diferentes unidades de la zona de generación de energía eléctrica y térmica. La zona 3 se subdivide en la zona 3a que corresponde al sistema de tratamiento de gases, la zona 3b que corresponde a la subestación y la zona 3c, que corresponde al sistema de generación eléctrica. En la zona 4 se encuentran las instalaciones básicas (baño, casino y oficina).

Fuente: Elaboración Propia, adaptado del Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, ejecutado por PÖYRY- EBP, para el Ministerio de Energía (2018).

Marco Normativo	
Aspectos Legales	<p>Actualmente, la tecnología de Gasificación debe cumplir con las mismas normativas aplicadas para la tecnología de Incineración, correspondientes a:</p> <p>Decreto Supremo 29/2013, Ministerio del Medio Ambiente - Norma de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento.</p> <p>Resolución 94/2015, del Ministerio de Medio Ambiente - Protocolo de validación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones.</p> <p>Decreto Supremo 4/1992, del Ministerio de Salud - Norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales, que se encuentren en la Región Metropolitana.</p> <p>Decreto 89/1989, Ministerio de vivienda y urbanismo - Emisiones de polvo y material particulado.</p> <p>Decreto Supremo 148/2004, del Ministerio de Salud - Reglamento para el manejo de residuos peligrosos.</p> <p>Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente - Niveles máximos permitidos de presión sonora.</p>
Aspectos Ambientales	<p>Las emisiones cumplen con las normas internacionales.</p> <p>En la Región Metropolitana se deben controlar emisiones específicamente de NOx y MP equivalente según el plan de descontaminación vigente.</p>
<p>Decreto Supremo 29/2013, Ministerio del Medio Ambiente:</p> <p>Se establecen los valores límites de emisión de material particulado para la incineración, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, carbono orgánico total, monóxido de carbono, cadmio y sus compuestos, mercurio y sus compuestos, berilio y sus compuestos, plomo+zinc y sus compuestos, arsénico + cobalto + níquel + selenio + telurio y sus compuestos, antimonio + cromo + manganeso + vanadio, compuestos inorgánicos clorados gaseosos, compuestos inorgánicos fluorados gaseosos, benceno, dioxinas y furanos.</p>	

Tabla de valores límite de emisión para la Incineración

Criterios		Valor Límite [mg/Nm ³]
Material Particulado	MP	30,0
Dióxido de azufre	SO ₂	50,0
Óxidos de Nitrógeno	NO _x	300,0
Carbono Orgánico Total	COT	20,0
Monóxido de Carbono	CO	50,0
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal	Cd	0,1
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal	Hg	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal	Be	0,1
Plomo + Zinc y sus compuestos, indicado como metal, suma total	Pb + Zn	1,0
Arsénico + Cobalto + Níquel + Selenio + Telurio y sus compuestos, indicado como elemento, suma total.	As + Co + Ni +Se + Te	1,0
Antimonio + Cromo + Manganeso + Vanadio, suma total.	Sb + Cr + Mn +V	5,0
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico	HCl	20,0
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico	HF	2,0
Benceno	C ₆ H ₆	5,0
Dioxinas y furanos	TEQ	0,2

Fuente: Decreto Supremo 29/2013 del Ministerio del Medio Ambiente

Decreto Supremo 4/1992, del Ministerio de Salud:

Establece la norma de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP₁₀, con un límite de MP de fuentes nuevas, estacionarias y puntuales, de 112 mg/Nm³. Además, establece requerimientos del monitoreo de la emisión de MP y metodología de emisión, definiendo el requerimiento de la compensación del 100% de emisiones, con el acuerdo entre privados. Se permite el incremento de

producción de material particulado, respectivo a la operación de la planta, en medida de que otra planta disminuya su emisión en una tasa igual.

Decreto 89/1989, Ministerio de vivienda y urbanismo:

Regula las medidas a implementar, para efectos de mitigar el impacto de las emisiones de polvo y material particulado en la ejecución de un trabajo.

Decreto Supremo 148/2004, del Ministerio de Salud:

Establece el reglamento para el manejo de los residuos peligrosos, estableciendo las condiciones mínimas para la descarga de ceniza en plantas de generación de energía. De acuerdo a ello, se debe cumplir con las concentraciones máximas permisibles (CMP) al aplicar el test de toxicidad, de lo contrario, el residuo tendrá que ser dispuesto en un Relleno de Seguridad.

Concentraciones máximas permisibles para determinar la toxicidad de un residuo.

Sustancia	Norma chilena Test toxicidad de lixiviación
[mg/l]	[mg/l]
Arsénico	5
Cromo	5
Mercurio	0,2
Plomo	5
Selenio	1
Bario	100
Benceno	0,5
Cadmio	1

Fuente: Decreto Supremo N° 148/2004 del Ministerio de Salud

Decreto Supremo N°38/2014, del Ministerio del Medio Ambiente:

Esta normativa establece los límites de ruidos generados por fuentes de emisión, con la cual se puede establecer los horarios en los cuales está permitido ciertos decibeles, dependiendo de la zona en la cual se encuentre ubicada la planta.

Niveles máximos permitidos de Presión Sonora Corregida en db.

Zona y tipo de suelo	Horario 7 a 21 hrs	Horario 21 a 7 hrs
I: Residencial, espacio público y/o área verde	55	45
II: Zona I, que posee equipamiento.	60	45
III: Zona II, que posee actividades productivas y/o infraestructura.	65	50
IV: actividades productivas y/o de infraestructura	70	70

Fuente: DS N°38, 2014

11.3.2 Análisis de la Tecnología de Gasificación

I. Principales características de la tecnología de Gasificación:

- Esta tecnología requiere de una segregación en origen para poder tratar los residuos y obtener el mayor poder calorífico en el gas sintético generado.
- Es un tratamiento térmico que posee 133 plantas a nivel comercial, por lo que es factible técnicamente. Sin perjuicio de lo anterior, se recomienda realizar estudios de la operación y el comportamiento de la tecnología, antes de considerar realizar invertir en equipamiento.
- Se está ejecutando un proyecto con fondos regionales, que diseña un equipo de Gasificación y analiza su operación con respecto a emisiones y escala de generación de residuos de Chile. Proyecto GasBas: Reducción de residuos sólidos en origen con recuperación energética. Código BIP 40004872.
- La localización de la planta debe considerar el CM_g de venta de la electricidad.
- La tecnología es factible ambiental y legalmente, siempre que las emisiones generadas cumplan con la normativa de emisión de material particulado. Se debe considerar en la localización de la planta, las zonas que han sido declaradas saturadas. De emplear esta tecnología en esas ubicaciones, se requerirá realizar las compensaciones correspondientes.

II. Rol de actores claves

Los Roles que deben tener los actores que están involucrados en el uso de la tecnología son:

- De acuerdo con el D.F.L. N°725/67 y la Ley de las Municipalidades, es el rol de las Municipalidades el encargarse de la gestión de residuos.
- El DFL 1/2019 presenta el Texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695, sobre las Municipalidades. En la Municipalidad, la gestión de los residuos está a cargo de la Unidad de medio ambiente, aseo y ornato. Dentro de las funciones de la unidad, se define el servicio de extracción de basura, proponer y ejecutar medidas tendientes a materializar acciones y programas relacionados al medio ambiente, aplicar normas ambientales de su competencia y elaborar anteproyectos de ordenanza ambiental, existiendo la posibilidad de acuerdo con el DFL 1/2019, de trabajar en la ordenanza con el Ministerio del Medio Ambiente.

- De acuerdo con el DFL 1/2019, la recolección, transporte y/o disposición final de los residuos domiciliarios corresponde a una labor de las Municipalidades, con excepción de aquellas que se encuentren ubicadas en un área metropolitana y que convengan con el gobierno regional respectivo, la gestión de residuos parcial o total. El gobierno regional deberá contar con las autorizaciones respectivas de la Secretaría Regional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Salud.
- Para la obtención de fondos asociados a inversión pública, el DFL 1/2019 menciona que los gobiernos regionales podrán celebrar convenios formales anuales o plurianuales para sus programas de inversión los cuales pueden solicitar las Municipalidades. La Ley Orgánica Constitucional sobre gobierno y administración regional establece las normas generales que regulan la suscripción, ejecución y exigencias de los convenios.
- En el DFL 1/2019 se establece que: la coordinación entre las municipalidades y entre estas y los servicios públicos que dependan o se relacionen con el Presidente de la República a través de un ministerio y que actúen en sus respectivos territorios, se efectuará mediante acuerdos directos entre estos organismos. La coordinación entre municipalidades y servicios públicos que dependan o se relacionen con el gobierno regional y que actúen en sus territorios, se efectuará mediante acuerdos directos.
- El DFL 1/2019 define que las Municipalidades elaboran las bases generales y específicas para los llamados a licitación.
- Como tal, las Municipalidades actúan como órgano intermedio, que interacciona con los Gobiernos Regionales, las Superintendencias, y los Ministerios. Al operar como un órgano intermedio, también interacciona con la gente, obrando para tener una ciudadanía que tenga un uso sustentable del espacio en el que viven.
- Para el proceso de gasificación, la Municipalidad poseerá un rol de gestor intermedio y de educador ambiental. Como tal, las Municipalidades actúan como órgano intermedio, que interacciona con los Gobiernos Regionales, las Superintendencias, y los Ministerios.
- El Ministerio de Salud es un ente que actúa a través de sus Secretarías Regionales Ministeriales, denominada autoridad sanitaria. Según lo establecido en el DFL 725/2019 (última versión mayo 2019), se encuentra dentro de las labores del Ministerio de Salud, el velar por el cumplimiento de las disposiciones del DFL 725/2019, dentro de las cuales se identifican las atribuciones y obligaciones sanitarias de las Municipalidades. En el Artículo 11 del DFL 725/2019, se define que las Municipalidades deben recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del Servicio Nacional de Salud, las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana.
- La Ley 20.417 crea la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), un servicio público descentralizado que es supervisado por el Ministerio del Medio Ambiente. Dentro de las principales labores del SMA asociadas a proyectos de tratamiento de residuos y la gestión de residuos, se puede destacar que este organismo se encarga de: ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las RCA, medidas de planes de prevención y/o descontaminación ambiental, contenido de normas de calidad y normas de emisión, y de planes de manejo. La Superintendencia de Medio Ambiente lleva a cabo sus labores mediante fiscalización.
- El trabajo que se realizó en la Etapa 1 del proyecto, con las entrevistas a Municipalidades y Gobiernos Regionales, ha demostrado que, si bien en algunas localidades está en las primeras etapas de aplicación y aun requieren solucionar problemas técnicos para poder cumplir con el ciclo de segregación de los residuos, enfocados a la recolección por parte de las empresas que están actualmente ejecutando este servicio transporte a las Municipalidades, y por otra parte,

enfocado en continuos planes de enseñanza a la población, respectivo a como separar los productos reciclables de los no valorizables, y de separar la fracción orgánica.

- Como gestor intermedio, se encargará de la licitación para la recepción y transporte de los residuos, fiscalizando el control de su buen funcionamiento. De acuerdo con la capacidad de generación de una cultura de segregación de residuos, podrá la licitación considerar el transporte de los residuos, de acuerdo a las categorías identificadas.
- La operación será realizada por una empresa que puede ser seleccionada por un proceso de licitación. El rol de la empresa, corresponde a encargarse del funcionamiento de la planta de gasificación, encargándose la Municipalidad de realizar un rol fiscalizador. La empresa deberá asegurar que las emisiones de gases sean inferiores a las definidas por las leyes y ordenanzas que hayan sido establecidas para el sector de ubicación, al igual que de la disposición de los residuos sólidos que quedan del proceso (cenizas de fondo, cenizas volante y escoria).
- Por su parte, la empresa podrá generar ingresos por la venta de energía eléctrica, energía térmica, y por el ingreso de los RSDyA y otros a la planta de tratamiento. En caso de escoger no generar energía, la empresa podrá comercializar gas sintético.
- Se puede realizar trabajos con empresas del rubro de la construcción, y transformar el costo de disposición de las cenizas de fondo en costo 0, entregando este residuo para las industrias de construcción.
- El modelo de negocios y operación que se recomienda para este tipo de proyectos es el tipo BOT (Build-Operate-Transfer) o BOOT (Build-Own-Operate-Transfer). En la siguiente sección se describe por Modelo Canvas algunas características del modelo de negocios de esta tecnología.

11.3.3 Modelo de negocios de la Tecnología de Gasificación



Figura 11-4. Modelo de negocios de la planta de gasificación.
Fuente: Elaboración Propia, validado en jornada de discusión de la etapa 2.

12 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS TECNOLOGÍAS

12.1 Fundamentos de Ingeniería Económica

12.1.1 Contabilidad total de costos (FCA)

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y varias organizaciones internacionales han definido lo que se denomina FCA (Full Cost Accounting) como la referencia obligada para identificar costos de proyectos de tratamiento de residuos. FCA es una aproximación sistémica que considera todos los costos asociados a un proyecto, sean directos o indirectos, que se originan en el pasado, presente y futuro de las instalaciones, de tal modo que se visibiliza la situación económica sin dejar aspectos fuera del alcance de la evaluación de proyectos. Un itemizado de la estructura de costos se muestra en la Tabla 12-1, extraída del EPA (1997). Se ha optado por no traducir la tabla para conservar los conceptos.

Tabla 12-1. Estructura de costos FCA

Types and Examples of MSW Management Costs	
<p>Up-Front Costs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Public education and outreach • Land acquisition • Permitting • Building construction/modification 	<p>Contingent Costs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remediation costs (undiscovered and/or future releases) • Liability costs (e.g., property damage, personal injury, natural resources damage)
<p>Operating Costs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normal costs <ul style="list-style-type: none"> - Operation and maintenance (O&M) - Capital costs - Debt service • Unexpected costs 	<p>Environmental Costs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Environmental degradation • Use or waste of upstream resources • Downstream impacts
<p>Back-End Costs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Site closure • Building/equipment decommissioning • Post-closure care • Retirement/health benefits for current employees 	<p>Social Costs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effects on property values • Community image • Aesthetic impacts • Quality of life
<p>Remediation Costs at Inactive Sites</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigation, containment, and cleanup of known releases • Closure and post-closure care at inactive sites 	

Fuente: EPA, 1997.

Lamentablemente esta visión sistémica estructural de la contabilidad de costos no está suficientemente desarrollada, lo que limita su aplicación cuantitativa, siendo en lo fundamental un modelo cualitativo para evaluar proyectos. Aun así, es relevante no perder de vista el conjunto de factores que determinan los costos de proyectos, donde se requiere el uso de una metodología holística que muestre globalmente la evaluación respectiva.

Sin perjuicio de este enfoque, cabe considerar que el punto de partida de una evaluación económica es el proyecto en sí mismo. Por ello en lo que sigue de esta sección, la referencia a los costos se hace desde la perspectiva de la evaluación privada de proyectos, donde se identifican los costos de capital y de operación atribuibles a un proyecto de tratamiento específico.

12.1.2 Bases de Cálculo

La estimación de costos debe considerar los criterios económicos para evaluar una planta de tratamiento, entre los cuales cabe mencionar los siguientes:

- Cambio de Monedas, se utilizan los siguientes:
 - 1 US\$ (dólar americano) = \$ 662 (pesos chilenos)
 - 1 lb (libra esterlina) = \$ 864 (pesos chilenos)
 - 1 Euro (moneda europea) = \$ 747 (pesos chilenos)
 - 1 UF (Unidad de Fomento) = \$27.565
- Índices de precios, donde se utiliza:
 - El Índice de Precios al Consumidor (IPC) de Chile, informado por el INE.
 - El CEPCI (Chemical Engineering Cost Index), publicado por la revista Chemical Engineering.
- La fórmula de actualización de costos para el uso de los índices, que corresponde a la expresión:

$$Costo_A = Costo_B * \left(\frac{Indice_A}{Indice_B} \right)$$

Donde A y B representan años distintos. Los costos de plantas que se presentan en este informe han sido actualizados hasta el 2018, donde el CEPCI fue de 603,8. Las referencias de costos de plantas que se utilizaron se ubican en el periodo 1990-2018, cuyos índices CEPCI se muestran en la gráfica siguiente.

Chemical Engineering Cost Index (CEPCI)

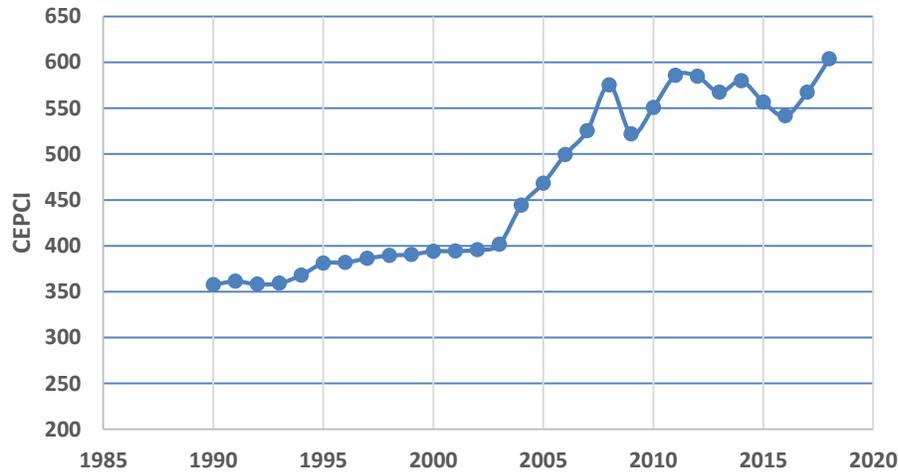


Figura 12-1. Índice de costos en ingeniería química, CEPCI.
Fuente: Elaboración propia basada en Chemeng, 1990-2018.

Índice de escalamiento de costos

En caso de requerirse costos de plantas a distintos tamaños, se recomienda usar la expresión siguiente:

$$Costo_{V_2} = Costo_{V_1} * \left(\frac{Tamaño_2}{Tamaño_1} \right)^{0,6}$$

Donde los subíndices 1 y 2 representan la misma tecnología en tamaños dados por los caudales tratados que tienen los costos con los respectivos subíndices.

12.2 Costos de una Planta de Tratamiento

Se identifican los dos siguientes costos:

- *Costo de Capital*, conocido como CAPEX (Capital Expenditure), cuyos componentes se suelen agrupar en: costos principales, costos auxiliares y costos complementarios. Para conocer estos costos se recurre a fuentes oficiales que registran las inversiones, o en su defecto a cotizaciones que se puedan conseguir. Se incluyen, entre otros, los siguientes:
 - *Adquisición de terreno, incluyendo estudios de mecánica de suelos y due diligence*
 - *Infraestructura, incluyendo obras de drenaje, conexiones eléctricas, accesos*

- *Edificios (Planta de procesos, administración, bodegas)*
 - *Equipos y planta industrial en general, incluyendo stock inicial de repuestos*
 - *Ingeniería, Administración y Supervisión*
 - *Permisos (Construcción, Ambientales, Licencias)*
 - *Costos de Cierre de Planta, si corresponden*
-
- *Costo de Operación, que se denomina OPEX (Operational Expenditures), que incluye tanto costos fijos como variables de la operación de la planta. Las fuentes para identificar los costos son las mismas anteriores, agregando empresas que publican información de su operación. Se consideran costos tales como:*
 - *Mano de Obra*
 - *Insumos industriales*
 - *Combustibles*
 - *Adquisición de repuestos*
 - *Mantenimiento*
 - *Gastos de Administración*
 - *Disposición y gestión de residuos*

12.3 Elaboración de Curvas de costo

Para disponer de valores de CAPEX y OPEX de instalaciones con distintos tamaños, se construyen curvas de costo a partir de información que se recopila para las tecnologías de Digestión Anaerobia, Incineración y Pirólisis. Complementariamente, se presenta un desglose de inversiones y costos, asociados a un tamaño tipo para cada una de las tecnologías, de acuerdo con información bibliográfica disponible. Las curvas de CAPEX y OPEX se desarrollaron en función del tamaño, expresado en MS/ton/año (Miles de pesos chilenos por tonelada anual).

Se optó por considerar costos de plantas de tratamiento de las fechas más recientes posibles, atendiendo al efecto muy marcado del cambio tecnológico en las últimas dos décadas, y a los impactos que suponen las restricciones ambientales que pueden representar aumentos de costo hasta un 20% del CAPEX.

Se debe advertir que las curvas de costo están sujetas a consideraciones tecnológicas, parte de las cuales se recogen en esta sección, sin embargo, hay información de fabricantes y operadores que no es pública, lo que limita el alcance de los valores de tratamientos. En cualquier caso, estos sirven de referencias para primeras estimaciones de costos de tratamientos.

Las gráficas que se entregan para CAPEX y OPEX son específicas para RSDyA obtenidas de distintos proyectos, algunos ejecutados y otros que solo fueron diseñados, sin que exista información detallada de los pretratamientos, condiciones locales de las plantas y detalles tecnológicos. En cualquier caso, los costos que se obtengan de estas curvas pueden ser usado en ingenierías de perfil y conceptuales, donde es posible variaciones de +/- 30%.

12.4 Costos de Tecnologías de Tratamiento biológico o químico

12.4.1 Compostaje

El desglose de la tecnología de compostaje considera un caso estudio analizado de la Declaración de impacto ambiental de Casablanca. Respectivo a ello, la inversión considera la inversión en equipamiento, construcción de la oficina, la construcción de los baños de los trabajadores, obtención del terreno de trabajo, sistemas eléctricos, sistemas de tuberías y contingencias. Para tamizar, se empleará un harnero grueso y un harnero fino. El transporte hasta la cancha de trabajo, se considera dentro del servicio que proveen las empresas que se encargan del retiro y transporte de los RSDyA.

Todos los valores están estimados para el tratamiento de una fracción orgánica, que trata 10.000 ton/año, es decir 208,25 ton/semana. La población atendida se puede estimar, determinando la producción per cápita y la fracción orgánica de los RSDyA en la zona analizada. Para determinar el volumen a tratar de la fracción orgánica, se estima como densidad promedio del material, la entregada por Roman, P. et al (2013), que se encuentra en un rango de 150 a 250 kg/m³. Empleando el promedio, semanalmente ingresa 1.041,25 m³ de materia prima.

De acuerdo con estos antecedentes, se procedió a estimar la Inversión de la planta de compostaje. En la Tabla 12-2 se presentan la inversión estimada.

Tabla 12-2. Inversión de la planta de Compostaje. El valor unitario de terreno para Compostaje, considera terreno de campo para su construcción.

Terreno, equipo, maquinaria y material de trabajo principal	Unidad	Valor Unitario (CLP)	Inversión estimada (CLP)
Terreno	63.947 m ²	0,2 UF/m ²	\$352.540.000
Infraestructura (oficina, casino y baños) y construcción	---	---	\$17.918.000
Construcción menores	---	---	\$150.692.000
Balanza de peso por eje	2	\$3.100.000	\$6.200.000
Chipeadora/Moledor Huning	1	\$32.000.000	\$32.000.000
Cargador Frontal	2	\$92.000.000	\$184.000.000
Rastrillo	3	\$2.000	\$6.000
Pala	3	\$5.000	\$15.000
Carretilla	3	\$15.000	\$45.000
Material de medición para la temperatura	12	\$46.000	\$552.000
Material de medición del pH	4	\$1.200.000	\$4.800.000
Harnero fino y Harnero Grueso	12	\$5.000	\$60.000

Terreno, equipo, maquinaria y material de trabajo principal	Unidad	Valor Unitario (CLP)	Inversión estimada (CLP)
Volteador autopulsado	1	\$205.200.000	\$205.200.000
Bombas	3	\$6.400.000	\$19.200.000
Equipo eléctrico y su instalación (6% Costos de Inversión de equipos)	---	---	\$27.125.000
Cañerías y su instalación (10% Costos de Inversión de equipos)	---	---	\$45.208.000
Contingencias (15% Costos de Inversión de equipos)	---	---	\$67.812.000
Total			\$1.113.373.000

Fuente: Elaboración propia., con datos del DIA Casablanca, 2011. Para la estimación de la inversión del equipo eléctrico, cañerías y contingencias, se consideró los valores estándar presentados por Peters, M. et al. (5ª Ed, 2003).

La mano de obra considera portería, finanzas con RRHH, supervisor, operador de cargador frontal y obreros. Para la operación, se considera una jornada de trabajo de 9 am a 5 pm (lunes a viernes) y 9 am a 2 pm (sábado). En la Tabla 12-3 se presentan los requerimientos de profesionales y los costos de la mano de obra.

Tabla 12-3. Costos de Mano de Obra de la planta de Compostaje.

Mano de Obra	Cantidad	Sueldo mensual profesional (\$CLP)	por	Total anual (CLP)
Portero	1	\$300.000		\$3.600.000
Finanzas y RRHH	1	\$850.000		\$10.200.000
Supervisor	1	\$1.100.000		\$13.200.000
Operador de cargador frontal	3	\$700.000		\$25.200.000
Obreros	4	\$500.000		\$24.000.000
Total				\$76.200.000

Fuente: Elaboración propia.

Los principales costos de operación y mantenimiento corresponden a la mano de obra, seguido por el mantenimiento del equipamiento. En la Tabla 12-4 se presentan los costos de operación y mantenimiento estimados, tomando en consideración para la mantención, que corresponden a un valor anual del 8% de la inversión, y que considera el cambio de piezas, revisión mecánica y mantención.

Tabla 12-4. Costos de operación y de mantención del equipamiento de la planta de Compostaje. Las mantenciones no son anuales, se definen de acuerdo a las características del equipamiento.

Costo de operación y Mantención	Unidad	Valor Unitario (CLP)	Valor Total anual (CLP)
Petróleo del equipamiento	1.700 L	\$620 CLP/L	\$12.648.000
Agua y electricidad	---	---	\$1.500.000
Costo de mano de obra	---	---	\$76.200.000

Costo de operación y Mantenimiento	Unidad	Valor Unitario (CLP)	Valor Total anual (CLP)
Mantenimiento del equipamiento	0,08 de la inv.	\$35.232.000	\$35.232.000
Total			\$125.580.000

Fuente: Elaboración propia.

Se desarrolló la Tabla 12-5, que contiene un resumen de la inversión requerida y costos de operación, para una planta de compostaje que posee una capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año de la fracción orgánica de los residuos.

Tabla 12-5. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Compostaje, para tratar 10.000 ton/año de la materia orgánica de los RSDYA y Otros.

Costo de inversión (\$CLP)	Costo de inversión por tonelada de residuo (\$CLP/ton)	Costos de operación (\$CLP)	Costos de operación por tonelada de residuo (\$CLP)
\$1.113.373.000	\$111.337	\$125.580.000	\$12.558

Fuente: Elaboración propia.

12.4.2 Digestión Anaeróbica

Para efectos de la evaluación, y relacionado a la inversión, se considera equipos, construcción de planta, oficina, los baños de los trabajadores, obtención del terreno de trabajo, equipos eléctricos, cañerías y contingencias.

Todos los valores están estimados para el tratamiento de una fracción orgánica, que trata 10.000 ton/año, es decir, 208,25 ton/semana. La población atendida se puede estimar, determinando la producción per cápita y la fracción orgánica de los RSDyA en la zona analizada.

Se procedió a estimar la Inversión de la planta de Digestión Anaerobia, empleando los datos obtenidos del proyecto *Estudio de biodigestión anaerobia: comunas de la Ligua, Pucón y Cabo de Hornos*, ejecutado para la Subdere (2016), por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Empleando los datos provenientes de la Comunidad de Pucón, se estimó la inversión del equipamiento que requiere la planta de Digestión Anaerobia, que se presenta en la Tabla 12-6.

Tabla 12-6. Inversión de la planta de Digestión Anaerobia. El valor unitario de terreno para la Digestión Anaerobia, considera construcción cerca de la ciudad.

Terreno, equipo, maquinaria y material de trabajo principal	Unidad	Valor Unitario (CLP)	Inversión estimada (CLP)
Terreno	10.423 m ²	1,5 UF/m ²	\$430.965.000
Infraestructura (oficina, casino y baños) y construcción	---	---	\$17.918.000
Infraestructura en planta y construcción	---	---	\$313.889.000
Dosificador Huning	1	\$32.000.000	\$32.000.000
Chipeador/Moledor Huning	1	\$32.000.000	\$32.000.000
Bombas	3	\$6.400.000	\$19.200.000
Válvulas de Substrato manuales	12	\$320.000	\$3.840.000
Válvulas de Substrato neumáticas	8	\$1.600.000	\$12.800.000
Equipo de Cogeneración	1	\$144.000.000	\$144.000.000
Estanque de almacenamiento	1	\$13.545.000	\$13.545.000
Reactor de fermentación	1	\$130.031.000	\$130.031.000
Agitadores de Rotación Lenta	2	\$10.836.000	\$21.672.000
Agitadores sumergibles	4	\$5.418.000	\$21.672.000
Techo inflable autosoportante	1	\$28.160.000	\$28.160.000
Almacén de Lodos	1	\$43.344.000	\$43.344.000
Techo inflable autosoportante	1	\$20.047.000	\$20.047.000
Separador	1	\$25.600.000	\$25.600.000
Almacén de fracción Líquida	1	\$12.800.000	\$12.800.000
Filtro de carbón activado	1	\$9.600.000	\$9.600.000
Secador/Refrigerador de biogás	1	\$5.418.000	\$5.418.000
Antorcha	1	\$16.000.000	\$16.000.000
Sistemas de control automático	1	\$25.600.000	\$25.600.000
Balanza de peso por eje	2	\$3.100.000	\$6.200.000
Caseta de bombas	1	\$16.640.000	\$16.640.000
Cargador Frontal	2	\$92.000.000	\$184.000.000
Pala	3	\$5.000	\$15.000
Carretilla	3	\$15.000	\$45.000
Instalación de equipos (10% Costos de Inversión)	---	---	\$82.423.000
Equipo eléctrico y su instalación (6% Costos de Inversión de equipos)	---	---	\$155.054.000
Cañerías y su instalación (10% Costos de Inversión de equipos)	---	---	\$94.263.000
Contingencias (15% Costos de Inversión de equipos)	---	---	\$123.635.000
Total			\$2.042.376.000

Fuente: Diseño propio, con datos del Estudio de biodigestión anaerobia: comunas de la Ligua, Pucón y Cabo de Hornos, ejecutado para la Subdere (2016). Para la estimación de la inversión de instalación de equipos, el equipo eléctrico, cañerías y contingencias, se consideró los valores estándar presentados por Peters, M. et al. (5ª Ed, 2003).

La mano de obra considera portería, finanzas con RRHH, Supervisor, operador de cargador frontal, analista de datos y obreros. Debido al mayor control de variables, y el seguimiento de la operación del Digestor Anaerobio, aun cuando algunos procesos se encuentran automatizados, es que se consideran dos horarios de turno. Hay turno de lunes a viernes de 9 am a 5 pm, turno de lunes a sábado 9 pm a 5 am, turno de sábado de 9 am a 2 pm, y un turno de sábado a domingo de 9 pm a 2 am. En la Tabla 12-7 se presentan los requerimientos de profesionales y los costos de la mano de obra.

Tabla 12-7. Costos de Mano de Obra de la planta de Digestión Anaerobia.

Mano de Obra	Cantidad	Sueldo mensual por profesional (\$CLP)	Total anual (CLP)
Portero	2	\$300.000	\$7.200.000
Finanzas y RRHH	1	\$850.000	\$10.200.000
Supervisor	2	\$1.100.000	\$26.400.000
Operador de cargador frontal	2	\$700.000	\$16.800.000
Analista de Datos	2	\$700.000	\$16.800.000
Obreros	2	\$500.000	\$12.000.000
Total			\$89.400.000

Fuente: Diseño propio.

Los principales costos de operación, corresponden a la mano de obra, los relacionados con el agua y electricidad requerida por las instalaciones, y la mantención del equipamiento. Para determinar los costos de mantención del equipamiento, se empleó la *Guía de Planificación para proyectos de Biogás en Chile*, desarrollada a partir del proyecto “Energías Renovables no convencionales”, para el Ministerio de Energía, en la cual, el costo de la mantención del equipamiento, corresponde a un 8% del valor de la inversión de equipos. Los valores estimados se presentan en la Tabla 12-8.

Tabla 12-8. Costo de operación y mantención del equipamiento de la planta de Digestión Anaerobia. Las mantenciones no son anuales, se definen de acuerdo a las características del equipamiento.

Costo de operación y Mantención	Unidad	Valor (CLP)	Unitario	Valor Total anual (CLP)
Costo mano de obra	---	---		\$89.400.000
Agua y electricidad de las instalaciones	mensual	\$1.536.000		\$18.432.000
Insumo de operación (reguladores de pH, floculantes)	1 anual	\$9.500.000		\$9.500.000
Petróleo del equipamiento	2.000 L	\$620 CLP/L		\$14.880.000
Mantención de maquinaria y de equipamiento *	0,08 de la inv.	\$65.320.000		\$65.320.000
Total				\$197.532.000

Fuente: Diseño propio.

Se desarrolló la Tabla 12-9, que contiene un resumen de la inversión requerida y costos de operación, para una planta de Digestión Anaerobia que posee una capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año de la fracción orgánica de los residuos.

Tabla 12-9. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Digestión Anaerobia, para tratar 10.000 ton/año de la materia orgánica de los RSDyA y Otros.

Costo de inversión (\$CLP)	Costo de inversión por tonelada de residuo (\$CLP/ton)	Costos de operación (\$CLP)	Costos de operación por tonelada de residuo (\$CLP)
\$2.042.376.000	\$204.238	\$197.532.000	\$19.753

Fuente: Diseño propio.

12.4.2.1 Curvas CAPEX Y OPEX de la Digestión Anaerobia

Las siguientes dos gráficas muestran curvas de costo para CAPEX y OPEX. La información que existe en referencias es más amplia para CAPEX y bastante restringida para OPEX. En la curva de CAPEX se observan un rango que se va estrechando hacia los mayores tamaños de planta. En instalaciones pequeñas se estima que los costos indirectos pueden afectar en mayor medida el costo total. Se ha marcado con color rojo la estimación que se hizo para una planta de biogás en Pucón, proyecto elaborado por NBC para SUBDERE.

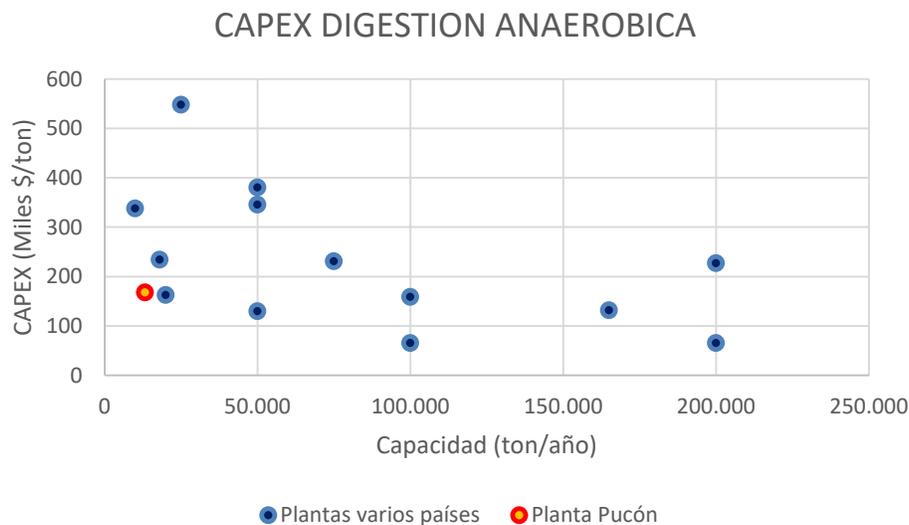


Figura 12-2. CAPEX Digestión Anaeróbica.

Fuente: Elaboración propia basada en Arcadis, 2009 y NBC, 2016

OPEX DIGESTION ANAEROBICA

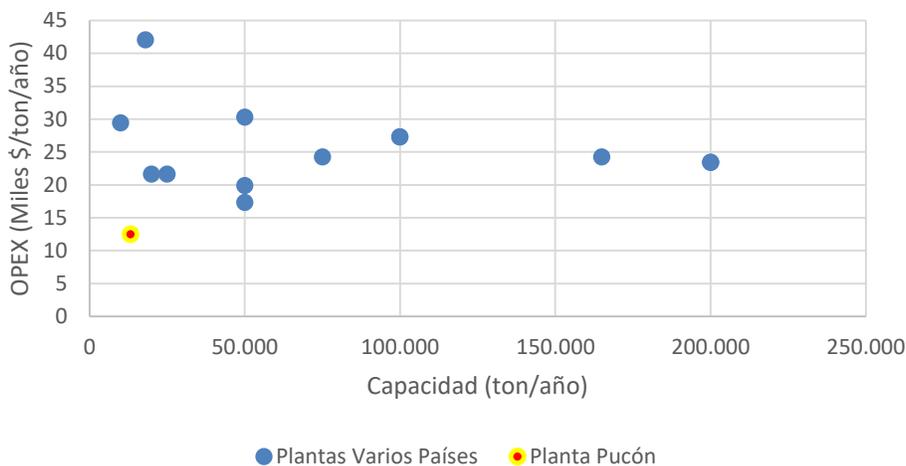


Figura 12-3. OPEX Digestión Anaeróbica
Fuente: Elaboración propia basada en Arcadis, 2009 y NBC, 2016.

12.5 Costos de Tecnologías de Tratamientos Térmicos

12.5.1 Incineración

De acuerdo con datos entregados por Suez respectivo al tamaño mínimo de diseño desarrollado por la empresa, es que en el diseño del sistema de Incineración se considera que se tratara una corriente de 100.000 ton/año. Todos los valores estimados para la inversión del equipamiento, infraestructura, construcción, terreno, instalación, costos de operación y de mantenimiento del equipamiento, están considerados para el tratamiento de los RSDyA y otros, empleando los antecedentes entregados por el Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, ejecutado por PÖYRY- EBP, para el Ministerio de Energía (2018). En la Tabla 12-10 se presenta la estimación de inversión de la planta.

Tabla 12-10. Inversión de la planta de Incineración. El valor unitario de terreno para la planta de Incineración, considera construcción cerca de la ciudad. Se estimó el requerimiento de 45.000 m² para la planta.

Principales inversiones	Inversión estimada (CLP)
Terreno	\$1.860.638.000
Infraestructura (oficina, casino y baños) y construcción	\$35.835.000
Infraestructura planta y construcción	\$13.807.134.000

Principales inversiones	Inversión estimada (CLP)
Sistema de pretratamiento	\$1.273.694.000
Sistema de conversión	\$18.019.413.000
Turbina/Generador	\$7.722.606.000
Sistema de tratamiento de gases de combustión (FGT)	\$5.604.252.000
Sistemas y componentes auxiliares de la planta de energía	\$3.056.865.000
Instalación de equipos (10% Costos de Inversión)	\$3.567.683.000
Equipo eléctrico y su instalación (6% Costos de Inversión de equipos)	\$7.885.185.000
Cañerías y su instalación (10% Costos de Inversión de equipos)	\$3.567.683.000
Contingencias (15% Costos de Inversión de equipos)	\$5.351.525.000
Total	\$71.752.513.000

Fuente: Diseño propio, Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, ejecutado por PÖYRY- EBP, para el Ministerio de Energía (2018). Para la estimación de la inversión del equipo eléctrico, cañerías y contingencias, se consideró los valores estándar presentados por Peters, M. et al. (5ª Ed, 2003).

La mano de obra considera: Portero, Gerente de Planta, Supervisor de Planta de residuos, Operadores Planta de residuos, Supervisor de Planta de generación, Operadores de Planta de generación, Ingeniero Planta de residuos, Ingeniero Medioambiental de planta de generación, Mantenimiento de equipamiento Planta residuos, Mantenimiento de equipamiento de Planta de generación, Prevención de riesgos, Sistema de control e instrumentación, RRHH y Finanzas. Se considera para la operación de la planta, 3 jornadas de trabajo diarias, con horarios de trabajo de 8 horas de lunes a viernes por jornada y el sábado, jornada de 5 horas. Sin perjuicio de lo anterior y de acuerdo requerimientos de los contratos de venta de energía, se puede considerar operar la planta de lunes a domingo. En la Tabla 12-11 se presentan los requerimientos de profesionales y los costos de mano de obra.

Tabla 12-11. Costos de Mano de Obra de la planta de Incineración.

Mano de Obra	Cantidad	Sueldo mensual profesional (\$CLP)	por	Total anual (CLP)
Portero	3	\$300.000		\$10.800.000
Gerente de Planta	1	\$1.800.000		\$21.600.000
Supervisor de Planta de residuos	2	\$1.300.000		\$31.200.000
Operadores Planta de residuos	6	\$700.000		\$50.400.000
Supervisor de Planta de generación	1	\$1.300.000		\$15.600.000
Operadores de Planta de generación	3	\$700.000		\$25.200.000
Ingeniero Planta de residuos	1	\$1.100.000		\$13.200.000
Ingeniero Medioambiental de planta de generación	1	\$1.100.000		\$13.200.000
Mantenimiento de equipamiento Planta residuos	6	\$950.000		\$68.400.000
Mantenimiento de equipamiento de Planta de generación	3	\$950.000		\$34.200.000
Prevención de riesgos	1	\$700.000		\$8.400.000
Sistema de control e instrumentación	3	\$850.000		\$30.600.000
RRHH	1	\$1.000.000		\$12.000.000
Finanzas	1	\$1.300.000		\$15.600.000
Total				\$350.400.000

Fuente: Diseño propio.

Los principales costos de operación corresponden a la disposición de los residuos (cenizas), los costos de electricidad y los costos de mano de obra. Los costos de mantenimiento son altos, pero se considera que no se requieren realizar anualmente, sino que de acuerdo con la necesidad de los equipamientos. Los costos de requerimientos de agua, y de insumos para el tratamiento de los gases, fue determinado empleando la información proveniente del Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, ejecutado por PÖYRY- EBP, para el Ministerio de Energía (2018). Para efectos de la estimación de la mantención del equipamiento, se estima que es un 2% del total de la inversión realizada por sistema de la planta de Incineración.

El tratamiento de los RSDyA y Otros por Incineración, permite una reducción del peso de los residuos en un 70%, generando cenizas de fondo, cenizas volante y escoria, obteniéndose una reducción. El valor de la disposición de los residuos dependerá del Relleno Sanitario y de la ubicación. De acuerdo con información obtenida para la primera etapa del proyecto, en la Macrozona Norte, en el CTI de Alto Hospicio, se estima un precio de disposición de \$4.000 CLP/ton, mientras que, en el Sur, en el Relleno Sanitario La Laja, su segunda etapa de expansión considera que se realizará un cobro de \$10.000 CLP/ton. Por su parte, en la Macrozona

Central, se puede encontrar un valor promedio de \$13.600 CLP/ton. Para efectos del cálculo del valor de disposición, se considera \$10.000 CLP/ton.

A continuación, en la Tabla 12-12 se presentan los datos de los costos de operación y mantención del equipamiento.

Tabla 12-12. Costos de operación y de mantención del equipamiento de la planta de Incineración.

Costo de operación y Mantención	Unidad	Valor Unitario (CLP)	Valor Total anual (CLP)
Costo de mano de obra	---	---	\$350.400.000
Costo de disposición de cenizas de fondo, cenizas volante y escoria	30% de los RSDyA y otros que son procesados por la incineración.	\$10.000 CLP/ton	\$300.000.000
Requerimiento de Petróleo para el equipo (Cargador frontal)	20.000 L	\$620 CLP/L	\$148.800.000
Electricidad	---	\$70 CLP/kWh	\$378.000.000
Requerimiento de agua de proceso (1)	---	\$340 CLP/m ³	\$5.100.000
Insumos (cal, carbón activado, amonio) (2)	---	Cal hidratada 144 USD/ton Carbón activado 1526 USD/ton Amonio 270 USD/ton	\$132.731.000
Mantención de equipamiento (3)	---	\$828.429.000	\$828.429.000
Total		\$2.143.460.000	

Fuente: Diseño propio.

Se desarrolló la Tabla 12-13, que contiene un resumen de la inversión requerida y costos de operación, para una planta de incineración que posee una capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año de RSDyA y Otros.

Tabla 12-13. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Incineración, para tratar 100.000 ton/año de RSDyA y Otros.

Costo de inversión (\$CLP)	Costo de inversión por tonelada de residuo (\$CLP/ton)	Costos de operación (\$CLP)	Costos de operación por tonelada de residuo (\$CLP)
\$71.752.513.000	\$717.525	\$2.143.460.000	\$21.434

Fuente: Diseño propio.

12.5.1.1 Curvas CAPEX Y OPEX de la Incineración

Se han elaborado las gráficas de CAPEX y OPEX con diversas fuentes de referencia, en general de plantas posteriores al 2000, pese a que se dispone de datos de plantas anteriores. Debido a cambios tecnológicos, la prevención ambiental y otras situaciones propias del avance social, la información anterior al año 2000, muestra un cambio de costos sustancial en los proyectos, que no permite comparaciones, al corresponder a tecnología obsoleta. (ver Figura 12-4 y Figura 12-5)

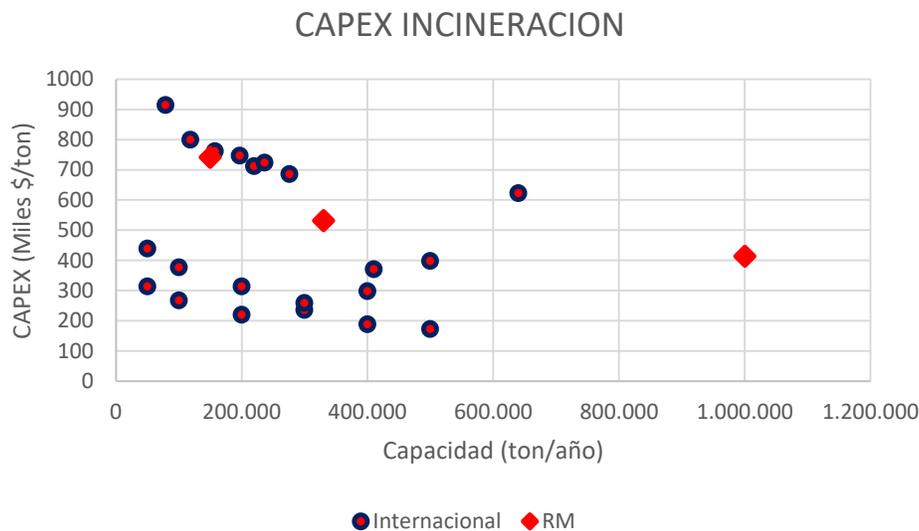


Figura 12-4. CAPEX Incineración

Fuente: Elaboración propia basada en WSP, 2013; SLR, 2008; Stantec, 2011; Ministerio de Energía y Gobierno Regional Metropolitano, 2018.

OPEX INCINERACION

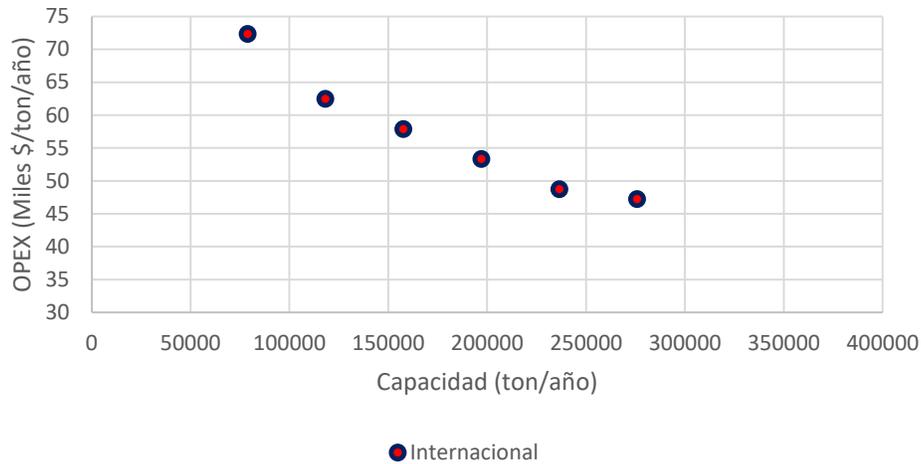


Figura 12-5. OPEX Incineración
Fuente: Elaboración propia basada en Stantec, 2011

Las gráficas han sido depuradas de datos que no se ajustan a la tendencia, atendiendo a cambios tecnológicos que diferencian fuertemente los costos. En general representan plantas de incineración que producen electricidad. Parte de estas diferencias son atribuibles al destino de la incineración, si es solo para producir vapor, electricidad o ambos servicios (plantas CHP). Esto puede observarse en el conjunto de tablas presentado en las Tabla 12-14 y Tabla 12-15.

Tabla 12-14. Variación de CAPEX y OPEX en Plantas de Incineración. Parte 1

INCINERACION		2000	INCINERACION		2004
Allington, Kent, UK			Zabalgarbi, Bilbao, España		
Libras		Pesos	Euros		Pesos
1		864,39	1		747,37
2000	394,1		2004	444,2	
2018	603,8	1,53	2018	603,8	1,36
CAP	500.000	Ton/Año	CAP	220.000	Ton/Año
CAPEX	150.000.000	lb	CAPEX	154.000.000	euros
2010	300	lb/ton	2007	700	eu/ton
2018	460	lb/ton	2018	952	eu/ton
	397	M\$/ton		711	M\$/ton

Fuente: Elaboración propia basada en WSP, 2013

Tabla 12-15. Variación de CAPEX y OPEX en Plantas de Incineración. Parte 2.

INCINERACION		2007	INCINERACION		2010
Issy les Moulineaux, Paris, Francia			Lakeside, Londres, UK		
Euros		Pesos	Libras		Pesos
1		747,37	1		864,39
2007	525,4		2010	550,8	
2018	603,8	1,15	2018	603,8	1,10
CAP	460.000	Ton/Año	CAP	410.000	Ton/Año
CAPEX	604.000.000	euros	CAPEX	160.000.000	lb
2007	1.313	eu/ton	2010	390	lb/ton
2018	1.509	eu/ton	2018	428	lb/ton
	1.128	M\$/ton		370	M\$/ton

Fuente: Elaboración propia basada en WSP, 2013

12.5.2 Pirólisis

Para el diseño de la planta de pirólisis, se considera la inversión en equipos, construcción de la planta, oficina, los baños de los trabajadores, obtención de terreno, equipos eléctricos, cañerías y contingencias.

La planta considera el uso de residuos proveniente de plásticos (PET, PVC, PE), papeles y cartones, y la posibilidad de procesar grasas. Todos los valores presentados se encuentran estimados para el tratamiento de 10.000 ton/año.

Se procedió a estimar la inversión de la planta de pirólisis empleando datos obtenidos de Ríos, P (2011). Es importante destacar que el diseño de la planta considera la producción de un crudo de Pirólisis que puede ser empleado como combustible. En caso de considerar el ingreso de esta tecnología al mercado energético, se requiere realizar inversiones en equipos de tratamiento de gases y equipos generadores de energía. (ver Tabla 12-16)

Tabla 12-16. Inversión de la planta de Pirólisis. El valor unitario de terreno para la Pirólisis considera construcción cerca de la ciudad, y un requerimiento de 7.253 m² de terreno.

Principales inversiones	Inversión estimada (CLP)
Terreno	\$299.894.000
Infraestructura (oficina, casino, taller y baños) y construcción	\$17.918.000
Infraestructura en planta y construcción	\$324.971.000
Balanza de peso por eje	\$12.400.000
Cargador Frontal	\$184.000.000

Principales inversiones	Inversión estimada (CLP)
Sistema de pretratamiento	\$129.159.000
Molino	\$13.321.000
Tolva material, residuos y para el tanque de aceite	\$11.323.000
Bomba de vacío	\$6.661.000
Ciclón	\$1.998.000
Tornillo	\$4.663.000
Tanque de aceite	\$13.321.000
Bomba de aceite	\$6.661.000
Horno Calentador de aceite	\$53.281.000
Reactor de pirólisis	\$6.661.000
Tanque de almacenamiento de carbón en polvo	\$3.996.000
Ciclón	\$3.996.000
Tanque lavador	\$9.990.000
Bombas de circulación de aceites	\$13.320.000
Filtro de carbón en polvo	\$2.664.000
Enfriador líquidos de tanque lavador	\$13.320.000
Condensador de gases	\$13.320.000
Tanque Separador gas líquido	\$1.998.000
Tanque almacenamiento crudo de pirólisis	\$13.320.000
Tanque almacenamiento de gases	\$13.320.000
Compresor de gases	\$23.311.000
Enfriador de gases comprimidos	\$16.650.000
Tanque pulmón de gases	\$16.650.000
Filtro	\$5.994.000
Pre calentador de Gases	\$16.651.000
Destilador	\$49.951.000

Principales inversiones	Inversión estimada (CLP)
Tanques de almacenamiento crudo pirólisis	\$79.921.000
Cromatógrafo y aparatos de laboratorio	\$39.961.000
Instrumentos de control automático, cañerías y componentes auxiliares	\$193.142.000
Equipo eléctrico y su instalación (6% Costos de Inversión de equipos)	\$58.495.000
Cañerías y su instalación (10% Costos de Inversión de equipos)	\$97.492.000
Instalación de equipos (10% Costos de Inversión)	\$97.492.000
Contingencias (15% Costos de Inversión de equipos)	\$146.234.000
Total	\$2.017.420.000

Fuente: Elaboración propia., con datos de Ríos, P (2011). Para la estimación de la inversión del equipo eléctrico, cañerías y contingencias, se consideró los valores estándar presentados por Peters, M. et al. (5ª Ed, 2003).

La mano de obra considera: Portero, Gerente de Planta, Supervisor de Planta de residuos, Operadores Planta de residuos, Supervisor de Planta de pirólisis, Operadores de Planta de pirólisis, Ingeniero Planta de residuos, Ingeniero Medioambiental de planta de pirólisis, Mantenimiento de equipamiento Planta residuos, Mantenimiento de equipamiento de Planta de pirólisis, Prevención de riesgos, Sistema de control e instrumentación, RRHH y Finanzas. Se considera para la operación de la planta, 2 jornadas de trabajo diarias. Los turnos están distribuidos de lunes a viernes de 9 am a 5 pm, turno de lunes a sábado 9 pm a 5 am, turno de sábado de 9 am a 2 pm, y un turno de sábado a domingo de 9 pm a 2 am. En la Tabla 12-17 se presentan los requerimientos de profesionales y los costos de mano de obra.

Tabla 12-17. Costos de Mano de Obra de la planta de Pirólisis.

Mano de Obra	Cantidad	Sueldo mensual profesional (\$CLP)	por Total anual (CLP)
Portero	2	\$300.000	\$7.200.000
Gerente de Planta	1	\$1.800.000	\$21.600.000
Supervisor de Planta de residuos	1	\$1.300.000	\$15.600.000

Mano de Obra	Cantidad	Sueldo mensual profesional (\$CLP)	por Total anual (CLP)
Operadores Planta de residuos	2	\$700.000	\$16.800.000
Supervisor de Planta de pirólisis	1	\$1.300.000	\$15.600.000
Operadores de Planta de pirólisis	2	\$700.000	\$16.800.000
Ingeniero Planta de residuos	1	\$1.100.000	\$13.200.000
Ingeniero Medioambiental de planta de pirólisis	1	\$1.100.000	\$13.200.000
Mantenimiento de equipamiento Planta residuos	2	\$950.000	\$22.800.000
Mantenimiento de equipamiento de Planta de pirólisis	2	\$950.000	\$22.800.000
Prevención de riesgos	1	\$700.000	\$8.400.000
Sistema de control e instrumentación	2	\$850.000	\$20.400.000
RRHH	1	\$1.000.000	\$12.000.000
Finanzas	1	\$1.300.000	\$15.600.000
Total			\$222.000.000

Fuente: Elaboración propia.

Los principales costos de operación identificados corresponden a la mano de obra, el agua y electricidad de las instalaciones y los costos de mantenimiento del equipamiento. Para determinar los costos de mantenimiento del equipamiento, se considera un 8% del valor de la inversión de los equipos. Los valores estimados se presentan en la Tabla 12-18.

El valor de la disposición de los dependerá del Relleno Sanitario y de la ubicación. De acuerdo con información obtenida para la primera etapa del proyecto, en la Macrozona Norte, en el CTI de Alto Hospicio, se estima un precio de disposición de \$4.000 CLP/ton, mientras que, en el Sur, en el Relleno Sanitario La Laja, su segunda etapa de expansión considera que se realizará un cobro de \$10.000 CLP/ton. Por su parte, en la Macrozona Central, se puede encontrar un valor promedio de \$13.600 CLP/ton. Para efectos del cálculo del valor de disposición, se considera \$10.000 CLP/ton.

Tabla 12-18. Costo de operación y mantenimiento del equipamiento de la planta de Pirólisis. Las mantenciones no son anuales, depende del equipo, se definen de acuerdo a las características del equipamiento.

Costo de operación y Mantenimiento	Unidad	Valor Unitario (CLP)	Valor Total anual (CLP)
Costo de mano de obra	---	---	\$222.000.000
Costo de disposición de residuos cenizas y escoria	Considera que el 5% de los residuos que ingresan se transforman en cenizas y escoria. La corriente restante se separa en fracción líquida y gaseosa.	\$10.000 CLP/ton	\$5.000.000
Requerimiento de Petróleo para el equipo (Cargador frontal)	2000 L	620 CLP/L	\$14.880.000
Agua y Electricidad de instalaciones	Se estima el precio de electricidad en 70 CLP/kWh, y el precio del agua en 340 CLP/m ³ .	---	\$84.291.000
Mantenimiento de equipamiento	0,08 de la inv.	61549728,73	\$61.550.000
Total		\$387.721.000	

Fuente: Diseño propio

Se desarrolló la Tabla 12-19, que contiene un resumen de la inversión requerida y costos de operación, para una planta de Pirólisis que comercializa el crudo de Pirólisis, y que posee una capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año de RSDyA y Otros.

Tabla 12-19. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Pirólisis, para tratar 10.000 ton/año de RSDyA y Otros.

Costo de inversión (\$CLP)	Costo de inversión por tonelada de residuo (\$CLP/ton)	Costos de operación (\$CLP)	Costos de operación por tonelada de residuo (\$CLP)
\$2.017.420.000	\$201.742	\$387.721.000	\$38.772

Fuente: Elaboración propia.

12.5.2.1 Curvas CAPEX de Pirólisis

El costo de la Pirólisis depende de las siguientes formas de conversión:

- LTC Low Temperature Conversion, que opera a menos de 750°C
- HTC High Temperature Conversion, que opera cercana a 750°C

- HTCM High Temperature Conversion + Melting, con temperature de 1500°C

La gráfica muestra el CAPEX de la tecnología de Pirólisis más avanzada (HTCM), donde se funden los metales y todo tipo de materiales, por ello su costo es relativamente alto frente a las otras, pero genera menores residuos, facilitando la protección ambiental.(ver Figura 12-6).

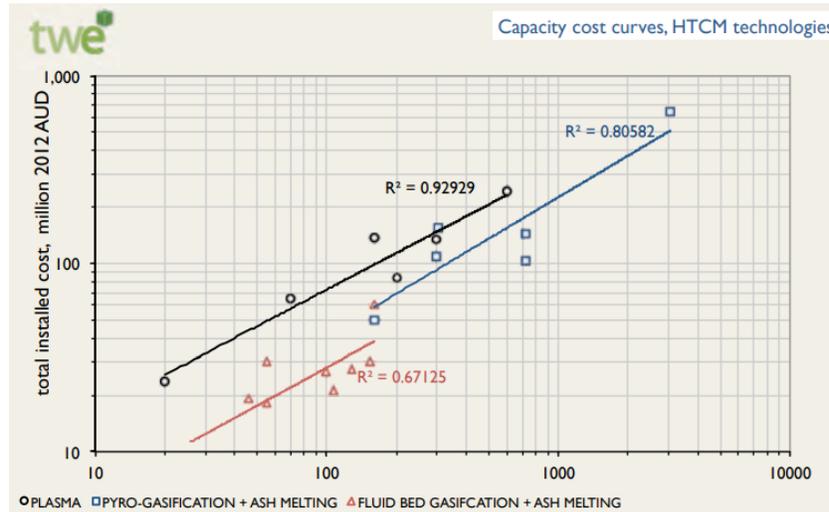


Figura 12-6. CAPEX de Pirólisis de Conversión de Alta Temperatura HTCM
Fuente: Extraída de TwE, 2014.

12.5.3 Gasificación

Según varios estudios, la tecnología de Gasificación posee un CAPEX semejante a la Incineración, donde las diferencias entre ambas tecnologías se centran en el equipo central de combustión, siendo el resto bastante similar. La Gasificación es muy eficiente para convertir energía térmica en electricidad, lo que explica su uso industrial especialmente a partir de carbón, con sistemas de antigua data, prácticamente en los inicios de la revolución industrial, pero no existe un desarrollo similar cuando se trata de RSDyA.

El diseño de la planta de Gasificación se realizó con datos obtenidos bibliográficamente y con una Declaración de Impacto Ambiental.

Para el diseño de la planta de Gasificación, se considera la inversión en equipos, construcción de la planta, oficina, baños de los trabajadores, obtención de terreno, equipos eléctricos, cañerías y contingencias.

La planta considera el uso de combustible sólido no recuperado (RDF). Todos los valores presentados se encuentran estimados para el tratamiento de 100.000 ton/año-

Se procedió a estimar la inversión de la planta de gasificación empleando datos de Klein, A (2002) y la DIA Temuco (2017). Los datos estimados se presentan en la Tabla 12-20.

Tabla 12-20. Inversión de la planta de Gasificación. El valor unitario de terreno para la planta considera construcción cerca de la ciudad, y un requerimiento de 30.000 m².

Principales inversiones	Inversión estimada (CLP)
Terreno	\$1.240.425.000
Infraestructura (oficina, casino, taller y baños) y construcción	\$35.835.000
Infraestructura en planta y construcción	\$10.599.259.000
Balanza de peso por eje	\$12.400.000
Cargador Frontal	\$184.000.000
Sistema de Pretratamiento de los RDF	\$14.519.084.000
Sistema de Gasificación, tratamiento de gases y costos de ingeniería asociados	\$4.917.653.000
Sistema de generación de energía	\$12.164.638.000
Equipo eléctrico y su instalación (6% Costos de Inversión de equipos)	\$1.907.867.000
Cañerías y su instalación (10% Costos de Inversión de equipos)	\$3.179.778.000
Instalación de equipos (10% Costos de Inversión)	\$3.179.778.000
Contingencias (15% Costos de Inversión de equipos)	\$4.769.667.000
Total	\$56.710.384.000

Fuente: Elaboración propia, con datos de Klein, A (2002) y DIA Temuco 2017. Para la estimación de la inversión del equipo eléctrico, cañerías y contingencias, se consideró los valores estándar presentados por Peters, M. et al. (5ª Ed, 2003).

La mano de obra considera: Portero, Gerente de Planta, Supervisor de Planta de residuos, Operadores Planta de residuos, Supervisor de Planta de generación, Operadores de Planta de generación, Ingeniero Planta de residuos, Ingeniero Medioambiental de planta de generación, Mantención de equipamiento Planta residuos, Mantención de equipamiento de Planta de generación, Prevención de riesgos, Sistema de control e instrumentación, RRHH y Finanzas. Se considera para la operación de la planta, 3 jornadas de trabajo diarias, con horarios de trabajo de 8 horas de lunes a viernes por jornada y el día sábado, jornada de 5 horas. Sin perjuicio de lo anterior y de acuerdo a requerimientos de los contratos de venta de energía, se puede considerar operar la planta de lunes a domingo. En la Tabla 12-21 se presentan los requerimientos de profesionales y los costos de mano de obra.

Tabla 12-21. Costos de Mano de Obra de la planta de Gasificación.

Mano de Obra	Cantidad	Sueldo mensual por profesional (\$CLP)	Total anual (CLP)
Portero	2	\$300.000	\$7.200.000
Gerente de Planta	1	\$1.800.000	\$21.600.000
Supervisor de Planta de residuos	2	\$1.300.000	\$31.200.000
Operadores Planta de residuos	6	\$700.000	\$50.400.000
Supervisor de Planta de generación	1	\$1.300.000	\$15.600.000
Operadores de Planta de generación	6	\$700.000	\$50.400.000
Ingeniero Planta de residuos	1	\$1.100.000	\$13.200.000
Ingeniero Medioambiental de planta de generación	1	\$1.100.000	\$13.200.000
Mantenimiento de equipamiento Planta residuos	4	\$950.000	\$45.600.000
Mantenimiento de equipamiento de Planta de generación	3	\$950.000	\$34.200.000
Prevención de riesgos	1	\$700.000	\$8.400.000
Sistema de control e instrumentación	3	\$850.000	\$30.600.000
RRHH	1	\$1.000.000	\$12.000.000
Finanzas	1	\$1.300.000	\$15.600.000
Total			\$349.200.000

Fuente: Elaboración propia.

Los principales costos de operación corresponden a la mano de obra y los requerimientos de agua y electricidad del proceso. Los costos de mantención son altos, pero se considera que no se requieren anualmente, sino que de acuerdo con la necesidad de los equipamientos. Los costos de requerimientos de agua y electricidad fueron estimados con datos presentados por el DIA Temuco (2017), al igual que la cantidad de cenizas generadas por el proceso y que requieren ser dispuestas. Para efectos de la estimación de la mantención del equipamiento, se estima que es de un 2% del total de la inversión realizada por sistema de la planta de gasificación.

El valor de la disposición de los residuos dependerá del Relleno Sanitario y de la ubicación. De acuerdo con información obtenida para la primera etapa del proyecto, en la Macrozona Norte, en el CTI de Alto Hospicio, se estima un precio de disposición de \$4.000 CLP/ton, mientras que, en el Sur, en el Relleno Sanitario La Laja, su segunda etapa de expansión considera que se realizará un cobro de \$10.000 CLP/ton. Por su parte, en la Macrozona Central, se puede encontrar un valor promedio de \$13.600 CLP/ton. Para efectos del cálculo del valor de disposición, se considera \$10.000 CLP/ton.

A continuación, en la Tabla 12-22 se presentan los datos de los costos de operación y mantención del equipamiento.

Tabla 12-22. Costos de operación y de mantenimiento del equipamiento de la planta de Gasificación.

Costo de operación y Mantenimiento	Unidad	Valor (CLP)	Unitario	Valor Total anual (CLP)
Costo mano de obra	---	---		\$349.200.000
Costo de disposición de residuos cenizas y escoria	Considera la generación de un 10% de cenizas y escoria por parte del proceso.	\$10.000 CLP/ton		\$99.973.000
Requerimiento de Petróleo para el equipo (Cargador frontal)	20.000 L	\$581 CLP/L		\$139.440.000
Requerimiento de agua y electricidad del proceso	Se estima el precio de electricidad en 70 CLP/kWh, y el precio del agua en 340 CLP/m3.	---		\$227.263.000
Mantenimiento de equipamiento	---	635955494,4		\$635.956.000
Total		\$1.451.832.000		

Fuente: Elaboración propia.

Se desarrolló la Tabla 12-23, que contiene un resumen de la inversión requerida y costos de operación, para una planta de Gasificación que posee una capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año de RDF.

Tabla 12-23. Resumen de inversiones y costos operacionales de la tecnología de Gasificación, para tratar 100.000 ton/año de RDF.

Costo de inversión (\$CLP)	Costo de inversión por tonelada de residuo (\$CLP/ton)	Costos de operación (\$CLP)	Costos de operación por tonelada de residuo (\$CLP)
\$56.710.384.000	\$567.104	\$1.451.832.000	\$14.518

Fuente: Elaboración propia.

12.6 Costos de Tecnologías de Pretratamientos

12.6.1 Pretratamiento de residuos para su reúso o reciclaje

Para la tecnología de pretratamiento de residuos, se empleó material bibliográfico y se determinó los costos de inversión y de operación de una planta de pretratamiento de residuos, con capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año.

Para efectos de la evaluación y relacionado a la inversión, se considera la construcción de la oficina, la construcción de baños, comedor, obtención del terreno y su construcción.

Los valores están estimados para el tratamiento de 10.000 ton/año de RSDyA, con un rendimiento de proceso del 90%. Los residuos que sean rechazados deberán ser dispuestos, de acuerdo a la normativa que rija para el residuo en específico.

De acuerdo a estos antecedentes, se procedió a estimar la inversión de la planta de Pretratamiento de los residuos, empleando datos obtenidos de Urtubia, E. (2017). La estimación de la inversión de la planta de Pretratamiento se presenta en la Tabla 12-24.

Tabla 12-24. Inversión de la planta de Pretratamiento. El valor unitario de terreno para la planta de Pretratamiento, considera construcción cerca de la ciudad.

Terreno, equipo, maquinaria y material de trabajo principal	Unidad	Valor Unitario (CLP)	Inversión estimada (CLP)
Terreno	10.420 m2	1,5 UF	\$430.841.000
Infraestructura (oficina, casino, taller y baños) y construcción	90 m2	---	\$70.291.000
Infraestructura en planta y construcción	---	---	\$193.245.000
Balanza de peso por eje	4	\$3.100.000	\$12.400.000
Contenedores recepción y almacenamiento	10	\$4.400.000	\$44.000.000
Cargador Frontal	5	\$92.000.000	\$460.000.000
Pala	15	\$5.000	\$75.000
Carretilla	15	\$15.000	\$225.000
Compactador	4	\$769.000	\$3.076.000
Equipo de lavado y secado	2	\$5.737.000	\$11.474.000
Triturador	5	\$7.688.000	\$38.440.000
Cintas transportadoras	18	---	\$6.750.000
Separador magnético	1	\$3.300.000	\$3.300.000
Instalación de equipos (10% Costos de Inversión)	---	---	\$57.974.000
Equipo eléctrico y su instalación (6% Costos de Inversión de equipos)	---	---	\$34.785.000
Cañerías y su instalación (10% Costos de Inversión de equipos)	---	---	\$57.974.000
Contingencias (15% Costos de Inversión de equipos)	---	---	\$86.961.000
Total		\$1.511.811.000	

Fuente: Elaboración propia, con Urtubia, E (2017).

La mano de obra considera portería, finanzas, recursos humanos, gerente, supervisor de planta, ingeniero de gestión de residuos, obreros, profesionales para la mantención del equipamiento y operador de maquinaria pesada.

La operación de la planta considera dos turnos por día, operando de lunes a sábado. El horario de lunes a viernes para el primer turno corresponde de 9 am a 5 pm, partiendo el segundo turno desde las 5 pm a las 3 am del día siguiente. El horario del día sábado para el primer turno, es desde las 9 am a las 2 pm, y del segundo turno, desde las 2 pm a las 7 pm.

En la Tabla 12-25 se presentan los requerimientos de profesionales y los costos de la mano de obra asociada.

Tabla 12-25. Costos de Mano de Obra de la planta de pretratamiento de residuos.

Mano de Obra	Cantidad	Sueldo mensual profesional (\$CLP)	por Total anual (CLP)
Portero	4	\$300.000	\$14.400.000
Finanzas	1	\$1.300.000	\$15.600.000
RRHH	2	\$1.000.000	\$24.000.000
Gerente	2	\$1.800.000	\$43.200.000
Supervisor de planta	5	\$1.300.000	\$78.000.000
Ingeniero de gestión de residuos	1	\$1.100.000	\$13.200.000
Obreros	40	\$350.000	\$168.000.000
Mantención de equipamiento	2	\$950.000	\$22.800.000
Operador maquinaria pesada	5	\$700.000	\$42.000.000
Total			\$421.200.000

Fuente: Elaboración propia.

Los principales costos de operación corresponden a la mano de obra, pues se requiere de una gran cantidad de personal para la separación manual de los residuos. En la Tabla 12-26 se presentan los valores de los costos de operación estimados, tomando en consideración para efectos de la mantención del equipamiento, que corresponde a un 8% de la inversión del equipamiento.

Tabla 12-26. Costos de operación y de mantención del equipamiento de la planta de Pretratamiento de residuos. Las mantenciones no son anuales, se definen de acuerdo a las características del equipamiento.

Costo de operación y Mantención	Unidad	Valor Unitario (CLP)	Valor Total anual (CLP)
Costo mano de obra	---	---	\$421.200.000
Costo de disposición de residuos rechazados en la planta	10% de los RSDyA y otros que ingresan a ser procesados.	\$10.000 CLP/ton	\$48.000.000
Requerimiento de petróleo	1.800 L	\$620 CLP/L	\$13.392.000
Electricidad y agua	---	---	\$27.016.000

Costo de operación y Mantenimiento	Unidad	Valor (CLP)	Unitario	Valor Total anual (CLP)
Mantenimiento equipamiento	del 8% de la inversión del equipamiento	\$42.835.000		\$42.835.000
Total				\$552.443.000

Fuente: Elaboración propia.

Se desarrolló la Tabla 12-27, que contiene un resumen de la inversión requerida y costos de operación, para una planta de Pretratamiento de residuos, que posee una capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año.

Tabla 12-27. Resumen de las inversiones y costos operacionales de la tecnología de pretratamiento de residuos, para tratar 10.000 ton/año de RSDYA y Otros.

Costo de inversión (\$CLP)	Costo de inversión por tonelada de residuo (\$CLP/ton)	Costos de operación (\$CLP)	Costos de operación por tonelada de residuo (\$CLP)
\$1.511.811.000	\$151.181	\$552.443.000	\$55.244

Fuente: Elaboración propia.

12.7 Estructura de costos de proyectos de tratamiento

12.7.1 Elaboración de tablas de referencia

La estructura de costos refleja el valor de los distintos componentes que éste tiene, siendo un quiebre del costo total que permite rectificar precios si las condiciones locales así lo exigen. Situaciones como estas son comunes, ya que el costo de un proyecto depende de valores internacionales de equipos e instrumentos, pero de condiciones locales cuando se refiere a terreno, accesos, servicios y aprobaciones ambientales. En tal sentido los costos de tratamiento que se obtienen de curvas como las antes presentadas, pueden ser modificados conociendo la estructura que define cuanto afecta cada componente al costo total, en general expresado en porcentajes. La estructura de costos de diversos sistemas de tratamiento se mostró relativamente similar, de tal modo que se presentan casos de distintas tecnologías en una misma tabla.

La Tabla 12-28 siguiente fue elaborada a partir de referencias donde el caso base está definido en el libro de Max S. Peters, M. et al. (5ª Ed, 2003) donde se han agregado otros ítems para actualizar esta lista de componentes (costos ambientales, B.O.D.). Se destacan los valores de estudios realizados en Chile. Los términos en inglés han sido traducidos con la mejor aproximación posible. En el caso base los porcentajes están referidos al Costo Fijo, atendiendo a que el concepto de CAPEX fue posteriormente introducido. En algunos casos se han hecho supuestos para agrupar ítems, que no alteran mayormente los resultados presentados.

Tabla 12-28. Estructura de Costos de Plantas de Tratamiento

Referencia	1	2	3	4	5	6
	% CF	% CAPEX				
COSTOS DIRECTOS						
Adquisición de Equipos	15-40	65	49,0	45,0	50,0	65,0

Referencia	1	2	3	4	5	6
Instalación equipos	6-14					
Instrumentación y Control	2-12			3,0		
Tuberías	4-17					
Sistemas eléctricos	2-10		8,9	7,0		
Construcciones	2-18	25	24,8	20,0	20,0	15,0
Mejoramiento de terreno	2-5	10				
Servicios	8-30		0,7			
Terreno	1-2		2,1			
Accesos						
COSTOS INDIRECTOS						
Balance of Plant			4,4	15,0	20,0	10,0
Ingeniería y supervisión	4-20		3,2	10,0	10,0	10,0
Gastos de construcción	4-17					
Gastos legales	1-3					
Pago a contratistas	2-6					
Contingencias	5-15		6,3			
Permisos y EIA	s/i		0,5			
Totales		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
inversión US\$			\$202.947.031			

Fuente: Elaboración propia basada en (1) Peters and Timmerhaus, 2003; (2) Stantec, 2011; (3) Ministerio de Energía y Gobierno Regional Metropolitano, 2018; (4, 5, 6) IFC, 2017; Raj and Chutima, 2018.

12.7.2 Análisis de la estructura de costos de plantas de tratamiento

Considerando la variedad de tecnologías que se ofrecen en el mercado para un mismo proceso, es posible esperar variaciones importantes de los costos de las plantas de tratamiento, sin embargo, el mayor efecto se observa como producto de otros factores, tales como los que se comentan a continuación:

- Los costos asociados a los ítems de adquisición de equipos, instalación de ellos, instrumentación y control más tuberías, varían entre 50 a 65% del CAPEX, donde la instrumentación y control equivale a un 3%, mientras que el sistema eléctrico varía entre 7 al 9%. Al respecto, debe señalarse que estos valores no consideran ingeniería complementaria, como serían nuevas líneas eléctricas, caminos de acceso y otros ítems exteriores al tratamiento mismo, que según experiencia de los consultores de este estudio pueden aumentar los costos hasta un 40%.
- En el ítem de construcciones, el caso base indica un rango de 2 a 18%, que finalmente se observa mayor en plantas de tratamiento que es de 20 a 25%. Se debe considerar que hay aspectos de la ingeniería que pueden hacer variar sustancialmente los costos, como lo referido a fundaciones producto de la mecánica de suelos e hidrogeología de los terrenos. Un ejemplo de esta situación es la planta de WTE de Ámsterdam (WSP, 2013) cuyo CAPEX es completamente distinto al resto, atendiendo a su construcción en terrenos inundables y acciones que elevan la continuidad operacional

(runability y availability en sus términos técnicos en inglés) que elevan considerablemente su CAPEX (704 euros/ton en comparación con otras plantas similares que alcanzan en promedio 550 euros/ton).

Tabla 12-29. Optimización técnica de Planta WTE Amsterdam

Ítem	Consideraciones
Protección de Equipos	Las cámaras de radiación están protegidas por una aleación de níquel de alta calidad.
Mantenimiento	En caso de desgaste del sobrecalentador, se puede reemplazar en 72 horas.
Continuidad Operacional	La planta fue diseñada para trabajar ininterrumpidamente, durante 24 meses en contraste con los 12 meses habituales.
Otras acciones	Alta participación y medidas de prevención de riesgos optimizados
Construcción	Estructura civil y gestión avanzada de inundaciones.

Fuente: WSP, 2013.

- En los ítems de ingeniería y supervisión, gastos de construcción, gastos legales y pago a contratistas, el caso base se presenta más detallado con valores que pueden ser superiores a 20%, lo que es consistente con los proyectos que se han analizado. En ellos se identifica el ítem B.O.D. (Balance of Plant), sin embargo, éste no se presenta en el caso base. Si se considera como parte de los gastos de ingeniería, el orden de magnitud de estos sería cercano al 25%, valor consistente con lo propuesto por el caso base.
- Los costos de ingeniería de la planta propuesta para la RM se observan bajo los estándares conocidos. En ingeniería de grandes plantas, solo las horas hombre del desarrollo de proyecto suele estar entre el 2 al 10% del CAPEX, siendo el valor mínimo válido solo para proyectos de tecnologías convencionales de baja complejidad, que no es el caso de las plantas de tecnologías de tratamiento de RSDyA, que en general están en permanente desarrollo. Por su parte, un B.O.D. de 10% es considerado un estándar para proyectos industriales de cierta complejidad.
- Hay otros efectos en un rango variable generados por los pretratamientos, que corresponden a operaciones unitarias, tales como: separación y/o clasificación manual o mecánica, molienda y reducción de tamaño, mezclado con otros materiales, secado y peletización. Estas operaciones pueden afectar el CAPEX y OPEX en forma muy diferente dependiendo del proceso, lo que se ilustra a continuación para dos tecnologías:

Digestión Anaeróbica: En la Tabla 12-30 se muestran dos modalidades, una estándar y otra avanzada. Esta última considera un pretratamiento con mejor eliminación de materiales no orgánicos y/o difícil digestión por microorganismos (vidrios, maderas). La modificación afecta en un 27,3% el costo del pretratamiento que en el caso estándar equivale al 24,5 % del CAPEX, sin embargo, al comparar los procesos solo hay un aumento de CAPEX del 1,9%.

Tabla 12-30. CAPEX de Plantas de Digestión Anaeróbica (180.000 ton/año)

Etapa	Tecnología estándar	Tecnología avanzada
Pretratamiento	€ 5.500.000	€ 7.000.000
Digestión Anaerobia	€ 17.500.000	€ 16.500.000
Control de emisiones	€ 2.800.000	€ 2.800.000
Control de proceso	€ 1.100.000	€ 1.100.000
Total	€ 26.900.000	€ 27.400.000

Fuente: M. Langen y J. Mitchinson (2010)

En la literatura especializada se señalan diversos factores que pueden afectar los costos, lo que cualitativamente se representa en la Tabla 12-31 siguiente para la Digestión Anaeróbica.

Tabla 12-31. Visión Cualitativa de la Variación de Costos

Tipo de Digestión Anaerobia	Costos de inversión	Costos operacionales
Termofílica	\$\$\$	\$\$\$
Mesofílica	\$	\$
Húmeda	\$	\$\$\$
Seca	\$\$\$	\$
Continua	\$\$\$	\$
Lote	\$\$\$	\$
Una etapa	\$	\$
Etapas múltiples	\$\$\$	\$\$\$

Fuente: Global Methane Initiative (2006). \$\$\$: mayor; \$: menor.

Gasificación: requiere de pretratamiento y disposición de cenizas, que se expresan en un alto costo relativo, tal como puede verse de la siguiente Tabla 12-32:

Tabla 12-32. Distribución Porcentual tipo, de Costos en Gasificación

Fases de Proceso	The miska	Batelle
Pretratamiento	36,8	45,9
Gasificador, tratamiento de gas y costos de ingeniería	33,3	15,6
Equipo generador de electricidad	29,9	38,5
CAPEX (%)	100	100
CAPEX US\$	170.675.000	80.532.000
Mano de obra, operación, mantención	44,4	35,4
Proceso	22,2	18,8
Disposición ceniza	33,3	45,8
OPEX (%)	100	100
OPEX (US\$/ton)	36	48

Fuente: Alexander Klein, 2002

13 SÍNTESIS DEL ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA ACTUALIZADA

Para el análisis de la industria, se emplea un análisis con la metodología FODA, asociado a la operación del sistema público. Complementariamente, se considera un análisis PORTER para las tecnologías de valorización y un análisis PESTEL, para analizar el escenario como país, relativo a la gestión y tratamiento de residuos.

La primera iteración de la metodología FODA, PORTER y PESTEL, fue desarrollada mediante estudios de la industria nacional e internacional, con opiniones que se recibieron en las entrevistas con actores claves durante la Etapa 1 del proyecto. Los actores se dividieron en aquellos que pertenecen al Sector Público y aquellos que pertenecen al Sector Privado.

El Sector Público corresponde a Ministerios, Gobiernos Regionales e I. Municipalidades. Del total de entrevistas solicitadas, se obtuvo respuesta del 75% de los actores. En la Tabla 13-1 se entrega la información de los actores del Sector Público que fueron entrevistados.

Tabla 13-1. Listado de entidades del Sector Público que fue entrevistado

Entidad del Sector Público	Profesionales entrevistados
Ministerio Desarrollo social	Orietta Valdes – Coordinadora de Evaluación Ex post de Mediano plazo. Alejandro Le Fort – Analista de Inversiones.
Ministerio de Energía	Viviana Avalos – Profesional Unidad de Sectores Productivos, División de Energías Renovables. Katherine Navarrete – Profesional Unidad de Sectores Productivos, División de Energías Renovables. Marcel Silva Gamboa - Jefe de la Unidad de Sectores Productivos, División de Energías Sostenibles.
Ministerio Medio Ambiente	Guillermo Gonzalez Caballero - Jefe de la Oficina de Economía Circular. Pablo Fernandois – Encargado del Área de Gestión de Residuos.
Gobierno Regional de Tarapacá	Paula Tejada – Profesional de la División de Planificación y Desarrollo Regional.
I. Municipalidad de Iquique	Diego López – Director de Medio Ambiente.
I. Municipalidad de Alto hospicio	Pablo Oroz – Asesor Ambiental del Municipio de Alto Hospicio.
Gobierno Regional de Valparaíso	Carlos Vera - Profesional Unidad Gestión Ambiental.
I. Municipalidad de Valparaíso	Claudio Venegas – Encargado de residuos valorizables.
I. Municipalidad de Quilpué	Jimena Zúñiga – Dirección de gestión ambiental.
I. Municipalidad de la Ligua	Rodrigo Sánchez - Alcalde de La Ligua.

Entidad del Sector Público	Profesionales entrevistados
Gobierno Regional de Los Lagos	María Ester Sepúlveda - Encargada del Departamento de Estudios y Ordenamiento Territorial. Belén Villanueva - Profesional de la División de Planificación y Desarrollo Regional – Residuos. Enrique Vera - Profesional del Departamento de Estudios y Ordenamiento Territorial. Andrea Rocha - Profesional del Departamento de Estudios y Ordenamiento Territorial.
I. Municipalidad de Puerto Montt	Domingo Jiménez – Jefe de la Dirección de Medio Ambiente, Aseo y Ornato. Maritza Pérez - Profesional de la Dirección de Medio Ambiente, Aseo y Ornato.
I. Municipalidad de Los Muermos	Carlos Turra – Encargado de reciclaje. Verónica Toledo – Profesional de coordinación, y de fiscalizar RSD en la comuna.
I. Municipalidad de Frutillar	Cristian Vásquez – Encargado Unidad de Medio Ambiente.
I. Municipalidad de Puerto Varas	Karina Morales – Encargada del Departamento de Medio Ambiente. Paloma Caruso - Profesional del Departamento de Medio Ambiente.

Fuente: Elaboración propia.

El Sector Privado corresponde a empresas y se incluyó dentro de esta categoría a los actores expertos en temática de gestión de residuos y profesionales de Universidades. Del total de entrevistas solicitadas, se obtuvo respuesta del 63% de los actores. Once de los actores claves identificados previamente en la Etapa Global de Inicio no respondieron. En la Tabla 13-2 se entrega la información de los actores del Sector Privado que fueron entrevistados.

Tabla 13-2. Listado del Sector Privado, actores expertos en temáticas de gestión de residuos y profesionales de Universidades que fueron entrevistados

Empresa y/o Profesión del Actor experto	Profesionales entrevistados
AESA Consultora Spa	Esteban Álvez - Gerente General.
Arcadis	Gerardo Canales - Coordinador Programa Reciclo Orgánico.
Asociación de Industriales de Iquique	Claudia Ramírez - Coordinadora Unidad de Proyectos y Desarrollo Empresarial
Asociación Nacional de la Industria de Reciclaje (ANIR)	Alejandro Navech - Gerente General
Bio G Energía	Carolina Quiroz - Jefe HSE y Relacionamento Comunitario
Cepal	Heloisa Schneider - Oficial de asuntos económicos
Ecoitalia	Andrea Martinetti - Fundador
GRS Szanto Consultores Ltda	Jocelyn Szantó – Directora Proyectos.
ORHMA INGENIERÍA	Guillermo Saavedra – Gerente Técnico Asesor de empresas sanitarias y comunas de riego.

Empresa y/o Profesión del Actor experto	Profesionales entrevistados
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Alejandro Corvalan - Profesor Instituto de Geografía. María Cristina Schiappacasse - Directora Escuela de Ingeniería Civil Bioquímica. Marcel Szantó - Profesor PUCV y trabajo en ONU medio ambiente.
Suez	Louis de Poncheville - Director de Negocios de Desarrollo para el Reciclaje y valorización de residuos. Lionel Quezada - Gerente General
Universidad Playa Ancha y Consejo Zonal de Valparaíso	Eva Soto - Profesor UPLA y Consejo Zonal Valparaíso – Colegio de Ingenieros de Chile A.G.
Universidad Viña del Mar	Oscar Vidal - Profesor Coordinador del Diplomado Gestión de Residuos Sólidos. Tito Parga - Abogado, posgrado en gestión integral en residuos sólidos.
Veolia	Christian Celis - Jefe de Control y Seguimiento Ambiental. Carolina Ascui - Especialista Ambiental.
Volta	Cristian Luarte - Director de Estudios

Fuente: Elaboración propia.

La segunda iteración de la revisión de las metodologías FODA, PORTER y PESTEL, consideró la validación de las aseveraciones presentadas en la Etapa 1 y la retroalimentación entregada por los profesionales, mediante una jornada de discusión en modalidad taller. En esta jornada asistieron profesionales del sector público y privado, los cuales presentaron alcances de los diferentes modelos de gestión empresarial. La jornada tuvo una asistencia del 100%. En la Tabla 13-3 se presentan los asistentes a la jornada de discusión.

Tabla 13-3. Listado de profesionales asistentes a la jornada de discusión

Profesional	Institución, profesión y/o labor
Andrés Morales	Núcleo Biotecnología Curauma de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Cristian Luarte	Volta
Esteban Alvez	Aesa Consultora
Gerardo Canales	Arcadis - Coordinador Programa Reciclo Orgánico.
Hugo Ilabaca Morales	Consultor
Leonardo Vivanco	Enyma
Marcel Szantó	Profesor PUCV y trabajo en ONU medio ambiente.
Patricia Salvo	Arcadis
Rodrigo Sanchez	I. Municipalidad de la Ligua - Alcalde.
Stephany Schwalm	Núcleo Biotecnología Curauma de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el análisis FODA, análisis PORTER y análisis PESTEL validado en la Etapa 2 del proyecto.

13.1 Análisis FODA Validado - Sistema Público

a) Fortalezas:

- Los RSDyA son un recurso valorizable no explotado en el país, que posee un bajo precio y se encuentra disponibles en grandes cantidades. Asimismo, no hay restricciones tecnológicas en una gama amplia de la escala productiva. No existe una tecnología exclusiva para el tratamiento de estos residuos.
- La cobertura del sistema nacional de gestión de residuos de residuos sólidos se considera alta, superior al 80%, lo que asegura que exista materia prima para posibles industrias derivadas.
- Seis de las dieciséis regiones de Chile poseen sistemas de gestión con una disposición a Rellenos Sanitarios, que es superior al 90%, cifra aún baja que permite observar que hay espacio para mejorar esta industria.
- Se dispone de la caracterización cualitativa y cuantitativa de los residuos, lo que permite contar con los antecedentes más importantes para la propuesta de una adecuada gestión de los residuos. Pese a ello es necesario reforzar el análisis y caracterización de los RSDyA.
- Las encuestas y proyectos pilotos muestran una clara tendencia, donde la población presenta conciencia e interés en participar en una gestión de residuos en la que se considere, por ejemplo, una recogida segregada. Existe vocación ciudadana.
- Se están aprobando y ejecutando proyectos pilotos de las tecnologías de tratamiento de residuos, para poder demostrar su operación y que se cumple con las normas actualmente vigentes.

b) Oportunidades:

- Existen alternativas de pretratamiento de residuos que se puede emplear para la segregación en diferentes fracciones. Se puede invertir en este tipo de tecnologías y disminuir los esfuerzos de segregación en origen.
- Hay variedad de acciones donde caben mejoramientos sustanciales. Por ejemplo, los municipios no ofrecen frecuencias de recolección aceptables, excepto en comunas de altos ingresos. Los RSDyA se recolectan en bolsas o en contenedores, desapareciendo la recogida a granel. La recolección en el país, en sus ciudades de mayor concentración de población, tiende a una recolección mediante contenedores. En estas actividades se observa que falta tecnología de mejor desempeño y por otra parte hay ausencia de estándares nacionales.
- Reforzar y mejorar el cumplimiento del DS N°189, que aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los Rellenos Sanitarios.
- En los próximos años, se vencerán contratos de operación de los Rellenos Sanitarios.
- Se necesitan nuevos sitios de disposición final de tercera generación, tales como Rellenos Sanitarios con sólo materia orgánica, para generación de biogás o disposición de solo rechazos, luego de implementar Centros de Acondicionamiento de residuos segregados en origen y/o Centros de Acopio.

- Existe la posibilidad de financiar la operación de las tecnologías de tratamiento de residuos, considerando beneficios tributarios. Como medida complementaria, se podría aplicar impuestos para subir el precio de disposición a Rellenos Sanitarios.
 - En el Reino Unido y Australia, se aplican impuestos por la disposición en Rellenos Sanitarios. Esta modalidad operativa que impulsa la valorización de residuos se aplica en toda Europa, con diferentes impuestos aplicados a la disposición final en Rellenos Sanitarios.
- Hay necesidad de implementar Centros de Tratamiento que permitan tener diferentes opciones de valorización de los residuos que gestionan las Municipalidades, empleando las Mejores Técnicas Disponibles (MTD).
- La recolección en contenedores permite proponer dentro de la cadena de gestión de residuos, la valorización de los RSDyA y otros, implementando la recogida segregada.
- Si se dispone de los datos duros de composición, humedad, densidad, granulometría y poder calorífico, entre otros, se podrá lograr una mejor elección del modelo de gestión de residuos.
- La implementación de la ley REP generará mayores instancias de segregación de residuos.
- Hay algunos buenos ejemplos de proyectos intercomunales, lo que permite obtener una escala que da respuesta a los métodos de gestión con diferentes tecnologías.
- Integrar la cadena de valor social en la evaluación de proyectos de tratamiento de residuos.
- Impulsar el desarrollo de normativas que fomenten la asociación de los recicladores base y de las empresas, para generar el volumen necesario para poder comercializar los residuos y unir empresas de valorización de residuos, respectivamente.
- La COP25 impulsará el desarrollo de proyectos que generen una reducción de los Gases de Efecto Invernadero.
- El momento socio-económico-político está impulsando el uso de tecnologías para el tratamiento de residuos.
- Nueva ley sobre atribuciones de los Gobiernos Regionales con las comunas que se encuentren en un área metropolitana (DFL 1/2019), en la temática de gestión de residuos sólidos.

c) *Debilidades:*

- Siete de las dieciséis regiones de Chile poseen una disposición en Rellenos Sanitarios inferior al 40%, produciéndose escenarios con una disposición inferior al 2%, en cuatro de estas siete regiones.
- De estas cuatro regiones, hay dos que no poseen Rellenos Sanitarios, predominando la disposición en vertederos y basurales (Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere).
- El modelo actual de gestión de residuos genera pérdidas a las Municipalidades, con gastos que superan a los ingresos, por 1,99 a 7,22 veces (Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.).
 - Los mayores costos de la gestión de los residuos corresponden a su recolección y transporte.

- Los métodos de gestión implementados por los Municipios carecen de análisis técnicos económicos, que permitan establecer el valor real de recolección, transporte y disposición final de residuos.
- Desconocimiento de algunos Municipios, sobre el funcionamiento de las tecnologías de tratamiento de residuos.
- Poca capacidad financiera comunal para el desarrollo de proyectos.
- Falta mejorar la gestión de los Municipios, los cuales no cuentan con planes integrales de gestión de residuos, además de concesionar la gestión sin participación ciudadana. Existe un déficit de capacidad técnica en especial para aquellos Municipios de menor tamaño.
- Dada las características topográficas de cada región, deja en evidencia los problemas de conectividad para establecer puntos mancomunados, donde la escala sea un factor económico que haga factible a diferentes alternativas de disposición final.
- Si el que contamina es el que debe encargarse de pagar, el estado debiese considerar el desarrollo de metodologías que faciliten el cobro por estos servicios.
- Se requiere definir mejores mecanismos de cobro de la disposición de residuos. Para ello, se requiere un rol proactivo de parte del estado, para gestionar dentro de la Ley de Renta de las Municipalidades, los mejores mecanismos para diferentes grupos socioeconómicos.
- Hay una dificultad para coordinar trabajos entre Municipios, por conflictos que pueden tener un origen político-social.
- La normativa actual no tiene guías para evaluar proyectos de tratamiento y/o disposición de residuos, que no consideren rellenos sanitarios. Se requiere de una política pública.
- Falta una guía para la de Evaluación de proyectos, para poder ingresar y aprobar proyectos del sector de tratamiento de residuos. Este trabajo debe considerar al Ministerio de Desarrollo Social.
- La operación de los puntos limpios se da únicamente en los Municipios que poseen más recursos, durante la duración de los contratos.
- Los contratos de servicio de recolección y transporte tienen gran rigidez. Esta situación limita que se puedan analizar nuevas opciones o volver a negociar precios.
- Se requiere considerar el flexibilizar las RCA que son entregadas para los Rellenos Sanitarios y los Centros de Transferencia, para permitirles poder segregar residuos en planta y poder acumular residuos, respectivamente.

d) *Amenazas:*

- Las regiones que no poseen sitios de disposición que cumplan con el DS N°189 del 2008, pueden generar problemas a la salud y seguridad de la población, por la atracción de vectores y patógenos, y la generación de malos olores.
- En los siguientes 10 años, se cierran 7 Rellenos Sanitarios y un Centro de Tratamiento de residuos, por lo que se requieren analizar alternativas de tratamiento y disposición de residuos (Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.). Dada las circunstancias actuales, es complejo disponer de nuevos sitios para futuros Rellenos Sanitarios.
 - Muchos sitios de disposición no han considerado en sus costos, los planes de cierre.

- En ocasiones puede suceder que, bajo los reclamos de la ciudadanía sobre la operación de los sitios, asociado a la generación de gases y líquido, el estado deba entregar fondos para el cierre del sitio.
- Las amenazas que no permiten la implementación de tecnologías de tratamiento corresponden principalmente al: volumen generado de residuos, las distancias de transporte y la calidad del residuo.
- Una amenaza seria, es que después de haber escalado en la contención total de los residuos, en Rellenos Sanitarios o Vertederos Controlados, se siga insistiendo en este método como única solución, sin tratar de escalar en la solución de acuerdo a las políticas ambientales vigentes.
- No evaluar desde un punto de vista técnico, ambiental, social y económico, las diferentes alternativas, dejándose llevar por propuestas foráneas con respuestas ambientales importantes, las que solo se conocen en proyectos pilotos.
- Una oferta de tecnologías extranjera que considera evaluaciones que no responden a la realidad del país, y que incluso, no han sido probadas a escala industrial. Muchas de las tecnologías que aparentemente son una gran solución han sido implementadas en países desarrollados basadas en subsidios, que, en el caso europeo, alcanzan hasta el 70% del valor operacional del proyecto. Existe un riesgo de generar proyectos a partir de tecnologías ofrecidas por proveedores en un mercado de baja transparencia.
- En los países que están en procesos de desarrollo, no siempre se considera prioridad disponer de mejores tratamientos de residuos. Chile tiene déficit en temas sociales, de infraestructura y productivos que consumen la mayor parte de los recursos. Debe tomarse en cuenta que la mayor parte de la población no paga por la basura que genera, y que en general los Municipios tratan de minimizar estos gastos, donde la obligación es esencialmente sanitaria y no ambiental.
- Oposición social a ciertos tipos de empresas, donde se manifiestan contrarios a su instalación en las cercanías de sus lugares de residencia (Not in my Backyard). Se requiere de soluciones robustas.
- Hay detractores de las tecnologías de tratamiento de residuos que poseen argumentos inexactos y un gran poder socio-político.
- No existe una relación entre la cantidad de gente, situación de la Región y volumen de residuos, para determinar el precio de inversión de los Rellenos Sanitarios y los subsidios otorgados para su construcción.

13.2 Análisis de Porter Validado - Reciclaje y Valorización ER

a) Poder de negociación de los proveedores:

- El residuo sólido urbano, requerido por la empresa recicladora para implementar su proyecto, requiere de ciertas condiciones, tales como la cantidad y la calidad. Los proveedores de servicios pueden establecer estándares limitantes al desarrollo del negocio.

- Dada la forma en que se genera el residuo, se requiere de una segregación en origen o una acumulación en determinado punto o contenedor. Esta situación lleva a negociar con la denominada empresa informal que es sustentada por los denominados “cachureros”, hoy considerados en la ley como recicladores de base.
- Los consumidores deben ser vistos como agentes activos del desarrollo de esta industria. Es necesaria su participación en la segregación en origen y en el desarrollo de una cultura del reciclaje y la economía circular.
- Los Municipios sólo tienen poder de negociación en el llamado a propuesta para cumplir con el mandato por ley que tiene el alcalde.
- La situación actual de trabajo les impide usar tecnologías de punta, por falta de planes de manejo que le definan las mejores técnicas disponibles, además de no contar con los recursos para la implementación.
- El poder negociador sólo se basa en los adicionales que oferta la empresa.
- Se requiere de un rol proactivo del estado para fomentar el uso de las tecnologías de tratamiento de residuos.
 - Desarrollar una mesa que se enfoque en el tratamiento de los residuos.

b) *Rivalidad entre competidores:*

- El mercado de RSDyA es prácticamente monopólico, donde hay escasos competidores. La valorización de residuos ofrece espacio para competidores, todo ello dependiendo de la escala de producción. Es importante generar capacidades de asociación (cluster) que permitan la economía de escala.
- La rivalidad observada por la empresa, no se centra en la valorización. El valor del negocio está en adjudicarse la recolección y la disposición final, lo que obviamente al ser licitados por las toneladas recogidas, recolectadas o dispuestas, no existe interés por parte de la empresa, para establecer una minimización. Solo existe la posibilidad que evolucionen hacia la recogida segregada, situación no desencadenada al no observarse una clara demanda por cada una de las fracciones.
- Se observa una competencia entre empresas, las que se implementan bajo el alero de “beneficios” (Coaniquem) las que concentran en determinados puntos o contenedores la cantidad que hace rentable en primer lugar el transporte y luego los subproductos.
- Existen múltiples empresas nacionales e internacionales que tratan de capturar el negocio de más alta rentabilidad, el cual se lleva un 70% del costo de la gestión de residuos. Este negocio corresponde al transporte de residuos.
- El transporte, al igual que la disposición, servicios que se pagan por tonelada, no incentivan a la minimización, ni menos al reciclaje.

c) *Amenazas de entrada de nuevos competidores:*

- De las empresas que involucran al sector, ninguna de ellas alcanza una rentabilidad atractiva. Por este motivo se observa mínima venta de tecnología y un mercado incipiente para nuevos negocios.
- La negociación entre proveedores es muy baja. No existen antecedentes que muestren esta posibilidad, no hay registros de conflictos entre competidores, salvo algunas situaciones hace años en la Región Metropolitana de Santiago. Cabe considerar que

los proyectos no responden a una evaluación privada y son considerados proyectos sociales

- Las empresas dedicadas a tratamiento de residuos deben ser innovadoras no solo en tecnología, sino en su gestión comercial, donde pueden ofrecer nuevos tratos a Municipalidades y usuarios. Este planteamiento aún no se observa, lo que limita el desarrollo de proyectos.
- En el mercado mundial se observa un sostenido crecimiento del número de empresas dedicadas a residuos, que además van abriendo nuevos mercados con productos novedosos. Es esperable que esta situación se replique en Chile.
- Los tipos de contratos limitan la entrada de nuevos competidores.
- Se dificulta el ingreso de nuevas tecnologías, debido al costo del servicio y la magnitud de la inversión requerida.

d) *Amenazas de productos sustitutos:*

- Si el producto es energía, la amenaza más cercana son todas las fuentes de ERNC, y en particular la biomasa. En la medida que los precios de ERNC provenientes de viento y sol bajan, se hace difícil competir con tecnologías de tratamiento de residuos que generan energía.
- En la tecnología de reciclaje no existe una amenaza de otros productos reciclados. Es importante ofrecer una amplia gama de opciones, con distintos productos.

13.3 Análisis de PESTEL Validado – Perspectiva de País

a) *Variables políticas:*

- El Acuerdo de Cooperación Ambiental Chile Canadá impulsa el estudio y la aplicación de tecnologías de valorización de residuos, enfocados al tratamiento de la materia orgánica. Bajo este enfoque, se está potenciando en Chile el uso del Compostaje y la Digestión Anaerobia.
- El Plan de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014 al 2018 del Ministerio de Medio Ambiente, limita la implementación de tecnologías que emitan MP 10 y MP 2,5.
- Chile ha firmado diferentes convenios internacionales para apalancar el abatimiento de la materia orgánica, el principal problema en la gestión de residuos. Un ejemplo de un convenio internacional corresponde a NAMAS.
- Desde el punto de vista institucional, existe un gran impulso hacia las ERNC, a lo que se suman las políticas ambientales y sociales que se realizan a través del Estado, todo lo cual favorece el desarrollo de proyectos relacionados con residuos, incluyendo los urbanos. Se estima que se crearán nuevas empresas de reciclaje con apoyos Municipales y de distintos Ministerios. Por otra parte, la gestión de RSDyA que se efectúa en Chile está a cargo de las Municipalidades, al igual que la mayoría

de los países desarrollados, siendo coincidentes algunos de los problemas que se han identificado.

- Respecto de subvenciones, no existe una política explícita hacia estos mecanismos de apoyo a la industria, sin embargo, se hacen esfuerzos para mejorar las condiciones de pymes, algunas de las cuales podrían buscar un espacio de desarrollo en el reciclaje. En general, la recogida de RSDyA está financiada por el Estado, a través de las Municipalidades, lo que es un factor a considerar en proyectos nuevos.
- Las resistencias locales son escasas y más bien apuntan hacia la dificultad de disponer residuos en las comunas por la oposición de las comunidades, sin embargo, la población va adquiriendo progresivamente mayor conciencia ecológica.

b) *Variables económicas:*

- De acuerdo con datos del SEIA, los principales proyectos corresponden a Rellenos Sanitarios, y Centro de Tratamiento. Las inversiones que están dispuestos a realizar llegan a los 20 millones de dólares, cifra relativamente modesta frente a la problemática nacional de gestión de residuos y al valor de los proyectos de valorización.
- Las tecnologías de Incineración, Gasificación, Pirólisis y Digestión Anaerobia generan energía mediante el tratamiento de los residuos. Estas tecnologías se encuentran con una barrera en su implementación, debido al costo de la venta de la electricidad. La inclusión de las tecnologías renovables en el mercado Spot, ha hecho que disminuya fuertemente el CM_g . Actualmente, su valor se encuentre entre 41.26 a 34.61 USD/MWh (Coordinador Eléctrico Nacional, 2019).
- Según el SEA, en los últimos 7 años, la inversión total de proyectos de valorización de residuos corresponde a 14,38 millones de dólares, y la disposición final de los residuos corresponde a 58,84 millones de dólares. Por su parte, las Municipalidades y empresas han invertido por proyecto de disposición y valorización de residuos, montos entre 1,25 a 20 millones de dólares. El de mayor valor, corresponde al Centro de Tratamiento Integral, que considera el tratamiento anual de 231 mil toneladas y su valorización. Cabe considerar que una planta Digestión Anaerobia de 300.000 ton/año, tiene un CAPEX cercano a 15 millones de dólares, mientras que una planta de incineración de 330.000 ton/año requiere 180 millones de dólares (*Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana*, del Ministerio de Energía - 1261-5-LP17). La inversión nacional es aún baja, lo que podría mejorar con un marco de referencia específico en este campo para nuevas inversiones, incluyendo las opciones de asociación pública privada.
- Respecto de factores macroeconómicos no existen elementos de juicio para definir qué factores podrían estar afectando a la industria, sin embargo, temas contingentes que afectan a todo emprendimiento se refieren al efecto de impuestos y de las reformas tributarias, además de la disponibilidad de recursos que exista en el país.

c) *Variables sociales:*

- Socialmente, el reciclaje y el compostaje son medidas de valorización de residuos conocidas por la población, que permiten que se involucren las personas en la cadena de la gestión de los residuos y conocer directamente los impactos generados.
- Los habitantes no se sienten cómodos viviendo cerca de focos de generación de malos olores. La generación de malos olores se puede producir por la operación de vertederos y basurales, al igual que durante el tratamiento biológico de los RSDyA y otros, cuando no se controlan sus variables operativas y de almacenamiento.
- El factor más complejo es la oposición de la población hacia rellenos sanitarios en sus cercanías. Existe una mala imagen de estas empresas que contribuye negativamente a su aceptación social, lo que se refuerza por eventos que han causado alarma pública, como vertidos, incendios y bajo control de vectores.
- Un elemento a favor es la mayor conciencia ecológica de la población, lo que puede generar disminuciones de residuos, aumento de reciclajes y menor oposición a proyectos ambientalmente sustentables.

d) *Variables tecnológicas:*

- Las tecnologías de Compostaje, Reciclaje, Digestión e Incineración son las más ampliamente empleadas en el tratamiento de residuos a nivel mundial, parte de las cuales son conocidas en Chile, incluyendo usos más bien a nivel piloto.
- La disponibilidad de proveedores de tecnología no es un factor limitante del desarrollo, existen muchas opciones para su adquisición, que incluso están operando en el país. Se estima que aumentará la inversión en proyectos relacionados con RSDyA, tanto por un mejoramiento sanitario del país, como por efecto del desarrollo económico que exige soluciones de mejor calidad y servicio.
- Se observa una ausencia de proyectos de I+D+i+e que aborden temáticas propias del país, entre las cuales cabe considerar la necesidad de disponer de tecnologías factibles a pequeña escala, atendiendo a localidades alejadas y que no cuentan con servicios adecuados para desarrollar proyectos.

e) *Variables ecológicas:*

- Al no comprender las medidas mínimas sanitarias, los vertederos y basurales son focos de problemas ambientales y a la salud. En Chile, actualmente hay un total de 90 vertederos y basurales sin considerar los microbasurales.
- Se deben controlar las emisiones de las tecnologías térmicas. Adicionalmente, no se pueden localizar plantas en las zonas declaradas como saturadas, sin la previa compensación de emisiones.
- La protección ambiental: es una exigencia cada vez más fuerte en la sociedad, lo cual conlleva a generar nuevos estándares a las actividades. Es esperable respuestas más efectivas frente al cambio climático y aumento de reciclajes y procesos sustentables.

- La sustentabilidad local muestra una tendencia positiva tanto en Chile como en países desarrollados, donde se promueven técnicas de Reciclaje, Compostaje y Reúso de materiales, todo lo cual está fortaleciendo en comunas del país, con un rápido crecimiento de organizaciones ecológicas de carácter productivo.

f) *Variables legales:*

- La Ley 20.920 establece el marco para la Gestión Responsable de los Residuos por parte del productor o importador del producto, mediante el fomento del reúso, reciclaje y valorización de los residuos. Esta medida permitirá disminuir la cantidad de residuos que son destinados a Rellenos Sanitarios, y por consiguiente, aumentar su vida útil. Este marco legal es un hecho muy favorable que abre expectativas para negocios propios de la sustentabilidad, incluyendo aplicaciones basadas en el Principio de las 3R (reúso, reducción y reciclaje).
- El Decreto Supremo 29/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, regula las emisiones de las tecnologías térmicas, situación muy favorable en la gestión de residuos.
- Para poder comercializar el compost y aplicarlo a todo tipo de suelos, se debe cumplir con la categoría de Compost de clase A, de la NCh 2.880, situación que merece mayor análisis para una mayor implementación.
- La correcta operación de las plantas de digestión anaerobia se encuentra regulada por el Decreto 119 del Ministerio de Energía. El decreto establece como operar la seguridad de las plantas de biogás, considerando: la recepción, preparación y almacenamiento de las materias primas, y la producción, almacenamiento, transferencia, tratamiento, suministro y uso del biogás.
- La resolución de calidad ambiental otorgada a los proyectos de disposición final está impedida de separar la materia orgánica para ser compostada.
- El marco legal chileno sobre propiedad intelectual, leyes laborales, tributación y requerimientos ambientales está en desarrollo, con cambios que pueden afectar a las empresas, sin embargo, el clima de negocios es favorable y no existen impedimentos para la instalación de empresas en el ámbito de los tratamientos de RSDyA.

DESARROLLO ETAPA 3

14 PROPUESTAS TECNOLÓGICAS Y SU ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis de las tecnologías, se divide esta sección en tecnologías de Pretratamiento de los residuos, Compostaje, Digestión Anaerobia, y Procesos Térmicos.

Las propuestas consideran el análisis de la tecnología por las regiones que componen la Macrozona analizada.

14.1 Tecnología de Pretratamiento para el reciclaje o reúso de los residuos

El análisis que se expone en esta sección considera que esta tecnología puede ser empleada para tratar un gran porcentaje de los residuos que se generan. Se diseñaron diferentes tamaños de plantas para obtener el CAPEX y el OPEX correspondiente.

Cabe destacar en el análisis de esta tecnología, que es una buena fuente generadora de empleos, pues la operación requiere de un gran número de operarios en la sección de preselección de los residuos y profesionales de planta. También se debe destacar que durante el levantamiento de información con recicladores bases, fuentes primarias y fuentes secundarias, se determinó que hay una variación de los precios de venta, asociado a la capacidad de negociación, requerimiento de residuo, estado del residuo y puntos de venta.

A continuación, en la Tabla 14-1 se presentan las 4 principales categorías para el reciclaje de residuos, las cuales corresponden a cartón y papel, vidrio, metales y plástico.

Tabla 14-1. Precio de comercialización de residuos reciclables.

Categoría del material	Precio de venta (CLP/kg)
Cartón y Papel	40
Vidrio	20
Metales	40
Plástico	40

Fuente: Recicladores bases; Asociación Industriales de Iquique.

En el análisis económico que se ha elaborado, se consideran aspectos que dependen del territorio, entre ellos se encuentran los siguientes:

- La cantidad y la composición de los RSDyA. Se considera la disponibilidad de residuos regional para el análisis del uso de la tecnología.
- La distribución territorial, con grandes y pequeños centros generadores, lo que se aborda con un rango amplio dentro de los límites tecnológicos diseñados para esta tecnología.

- La exigencia económica de esta planta impulsa a considerar Ingresos por tratamiento para cubrir el tratamiento de los residuos, específicamente para los mayores tamaños de planta, como se verá posteriormente al analizar los Ingresos por tratamiento.

14.1.1 Macrozona Norte

De acuerdo con el método propuesto para el análisis económico, se procede de la siguiente forma:

A. Identificar Tamaños y Costos de Planta de Pretratamiento

Se procede como se muestra en la Tabla 14-2 y Tabla 14-3 elaborada con datos disponibles de la Región de Tarapacá. En ella se identifican los tamaños de planta diseñados para la tecnología de pretratamiento de los residuos. En las respectivas gráficas, el tamaño está definido en función de toneladas anuales de RSDyA que fueron previamente segregados, ingresando a la planta: papel y cartón, plásticos, metales y vidrio. Los valores de CAPEX y OPEX respectivos se indican en términos unitarios y totales.

Tabla 14-2. Identificación de capacidad de planta de pretratamiento.

Tecnología	Capacidad De Tratamiento de residuos	Composición de residuos			
		Papel y cartón	Plásticos	Metales	Vidrio
	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Pretratamiento de residuos	5.000	1.900	2.600	200	300
	20.000	7.600	10.400	800	1.200
	50.000	19.000	26.000	2.000	3.000
	90.000	34.200	46.800	3.600	5.400

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14-3. CAPEX y OPEX unitarios y totales de diferentes tamaños de planta

Tecnología	Capacidad De Tratamiento de residuos	Valores unitarios		Valores totales		
		CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX de inversiones depreciables
		M\$/ton RSDyA/año	M\$/ton RSDyA/año	M\$	M\$/año	M\$
Pretratamiento de residuos	5.000	185,56	43,32	927.810	216.596	386.707
	20.000	123,61	26,47	2.472.200	529.434	872.332
	50.000	98,45	18,69	4.922.350	934.336	1.502.546
	90.000	86,79	15,05	7.810.740	1.354.827	2.132.678

Fuente: Elaboración propia.

B. Identificación del Costo Unitario en el PEq

Se procede a definir la vida útil, establecido en esta evaluación en 20 años para el paquete de cada tecnología, y asimismo se considera una tasa de descuento para poder anualizar el CAPEX (7,54%), lo que se expresa en M\$/año. En la evaluación para determinar el punto de equilibrio se considera la suma del valor de CAPEX anualizado con el OPEX. (ver 14-4)

14-4. Estimación del Egreso Anual de la tecnología de Pretratamiento de los residuos.

Capacidad De Tratamiento de residuos ton/año	Vida útil años	Tasa %	Valores anualizados		Egreso anual MM\$/año	Costo total punto equilibrio
			CAPEX M\$/año	OPEX M\$/año		RSDyA \$/kg
5.000	20	7,54	91.288	216.596	307,9	\$62
20.000	20	7,54	243.242	529.434	772,7	\$39
50.000	20	7,54	484.314	934.336	1.419	\$28
90.000	20	7,54	768.505	1.354.827	2.123	\$24

Fuente: Elaboración propia.

C. Valor Actual Neto (VAN)

Para estimar ingresos, se calcula la venta del material pretratado, tomando en consideración un proceso que tiene un rendimiento del 70%, debido a una segregación en origen deficiente (ingreso de residuos que no trate la planta diseñada). El análisis de sensibilidad de esta tecnología considera posteriormente, la variación del rendimiento de recuperación (50, 70 y 90%).

Los ingresos por venta de material reciclado no son por sí solos para justificar las inversiones por eso se ha agregado un valor adicional que deberá ser cubierto tanto para absorber el actual aporte que financia la disposición final o por nuevas tarifas. De acuerdo con el estudio SUBDERE (2018) el costo de disposición de RSDyA varía en un rango bastante amplio en Chile, desde 2.946 a 14.768 \$/ton dispuesto, con una media de 8.852. Específicamente para las regiones de Tarapacá, Valparaíso y Los Lagos, el costo de disposición es de 12.231, 7.472 y 7.751 \$/ton RSDyA, valores que son consistentes con el destino final en rellenos sanitarios, pero muy bajos respecto de nuevas tecnologías.

En todas las evaluaciones que se presentan, se ha asumido que el actual valor será traspasado a las nuevas tecnologías, al objeto de que se logren ingresos suficientes para lograr rentabilidades que den viabilidad económica al proyecto. Por ello se considera como una parte del ingreso, que debería ser complementada con cobros vía tarifas de tratamiento, que se anota como ingreso adicional. De esta forma se logra obtener un ingreso bruto por concepto de venta de materiales. (ver Tabla 14-5 y Tabla 14-6)

Tabla 14-5. Estimación del Margen bruto de la planta de pretratamiento de residuos.

Capacidad de tratamiento de residuos	Ingresos venta Material para reciclado	Ingreso por costo actual	Ingresos adicionales	Ingreso anual	Ingreso anual	Egreso anual	Margen bruto
ton/año	\$/kg RSDyA tratado	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	mm\$/año	\$/kg RSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kg RSDyA
5.000	\$27	\$12,2	\$4,4	\$219	\$44	\$43	\$0
20.000	\$27	\$12,2	\$4,4	\$875	\$44	\$26	\$17
50.000	\$27	\$12,2	\$4,4	\$2.188	\$44	\$19	\$25
90.000	\$27	\$12,2	\$4,4	\$3.938	\$44	\$15	\$29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14-6. Estimación del VAN de la planta de pretratamiento de residuos.

Dep	EBIT	Impuesto	UTIL DESP IMP	FCL ANUAL	VP DEL FCL ANUAL	VP CAPEX	VAN
\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA
3,86	-\$3	\$0	-\$3	\$0	\$4	\$186	-\$181
2,18	\$15	\$4	\$11	\$13	\$134	\$124	\$11
1,5	\$24	\$6	\$17	\$19	\$190	\$98	\$92
1,18	\$28	\$7	\$20	\$21	\$216	\$87	\$129

Fuente: Elaboración propia.

D. Resultados del Análisis Económico

El análisis del caso base de la tecnología considera la recuperación de un 70% del material que ingreso en planta, el punto de equilibrio, la tasa de descuento que hace el VAN igual a 0 en las diferentes capacidades de la planta y los Ingresos por tratamiento de residuos por cada tamaño que hacen el VAN igual a 0.

El procedimiento de cálculo empleado se puede sensibilizar respecto de parámetros que resultan críticos en la rentabilidad económica del tratamiento. Para ello, se hizo variar el rendimiento de recuperación de los materiales, tomando en cuenta que la rentabilidad del proceso dependerá directamente de los rechazos que se generen en planta. Para ello, se analizará una recuperación del 50, 70 y 90%.

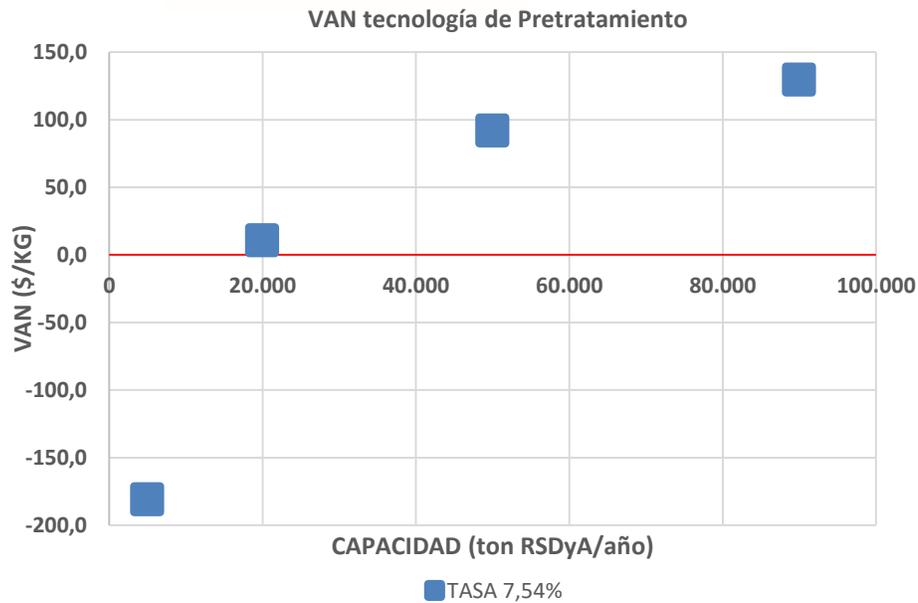


Figura 14-1. VAN de plantas de Pretratamiento Macrozona Norte
Fuente Elaboración propia.

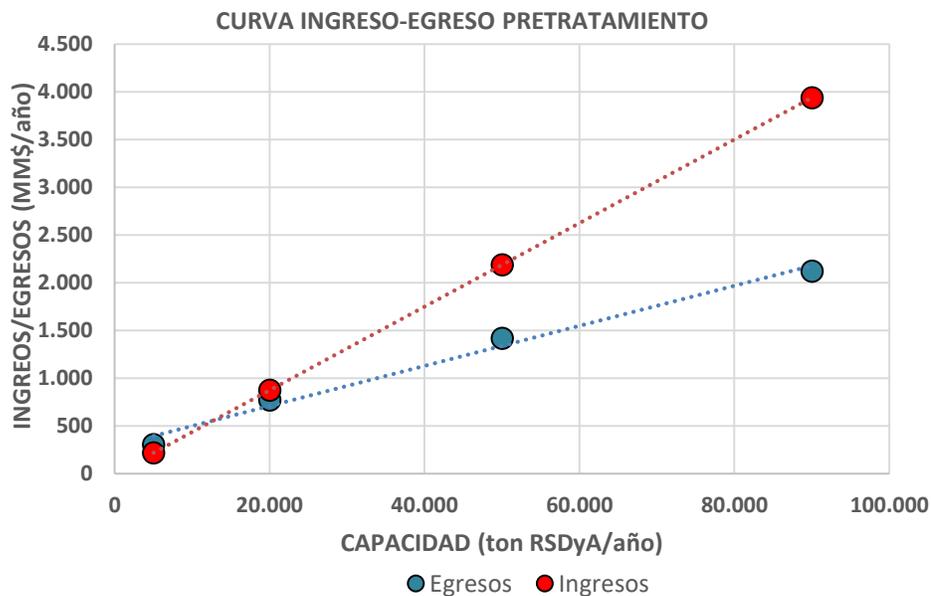


Figura 14-2. Punto de Equilibrio Macrozona Norte
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14-1, se puede observar que una planta de tratamiento que posee una capacidad de tratamiento cercana a 20.000 ton/año, entrega un VAN positivo para la tecnología de pretratamiento de los residuos. Este

cambio se puede visualizar cuando se ve el comportamiento de la TIR, que para una capacidad superior a 20.000 ton/año, es mayor que la tasa de descuento aplicada para la tecnología de pretratamiento (7,54%).

Tabla 14-7. TIR para las diferentes capacidades de pretratamiento de residuos, Macrozona Norte.

Capacidad De Tratamiento de residuos	TIR
ton/año	%
5.000	-19,9
20.000	8,7
50.000	18,4
90.000	24,2

Fuente Elaboración propia.

Todas las regiones que componen la Macrozona Norte poseen una generación superior a 20.000 ton/año, de materiales con potencial de para ser reciclados. Esta tecnología puede aplicarse en las diferentes regiones. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

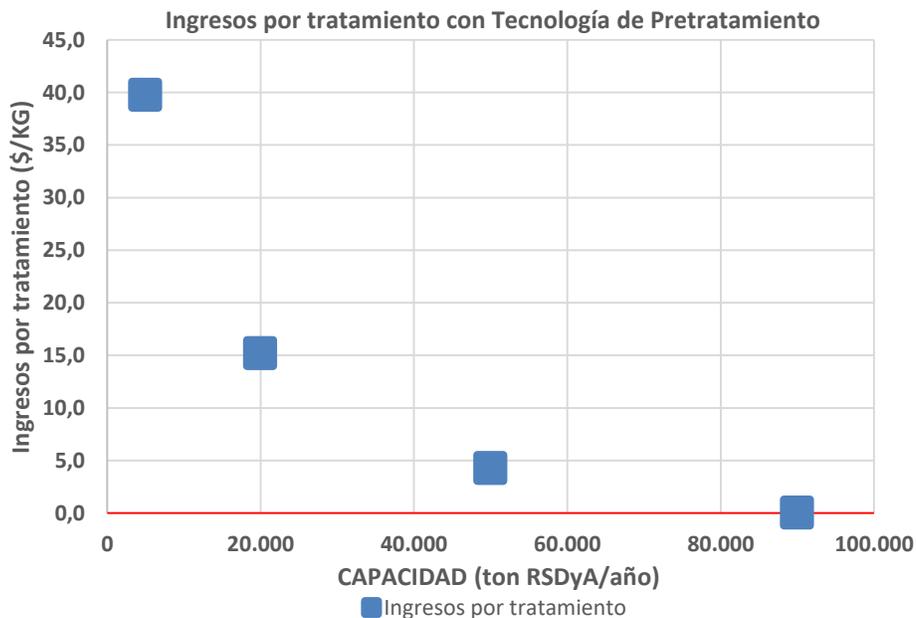


Figura 14-3. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de pretratamiento, Macrozona Norte.

Fuente: Elaboración propia que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Como se puede apreciar en la Figura 14-3, a medida que incrementa la capacidad de la planta, disminuye el cobro que se tiene que hacer. Para plantas que poseen una capacidad de tratamiento mayor a 90.000 ton/año, los ingresos por venta de material pretratado pueden sustentar la tecnología, pudiendo disminuir el precio de venta de los materiales debido a la economía de escala.

Región de Arica y Parinacota: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Arica. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 42.000 ton/año de residuos que pueden ser reciclados y el costo de disposición es de 2.830 \$/ton de RSDyA. Para una

planta de pretratamiento con capacidad cercana a 42.000 ton/año, se puede ofrecer un cobro por tratamiento levemente superior al cobro actual.

Región de Tarapacá: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Iquique. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., poseen una disponibilidad de 37.944 ton/año de residuos que pueden ser reciclados y el costo de disposición es de 18.295 \$/ton de RSDyA. Para la disponibilidad de residuos que hay en la comuna, se puede ofrecer una alternativa de tratamiento que tendrá un cobro menor al actual con plantas que tengan capacidad de tratamiento cercana a las 20.000 ton/año.

Región de Antofagasta: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Antofagasta. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., poseen una disponibilidad de 42.366 ton/año de residuos que pueden ser reciclados y un costo por disposición de 7.273 \$/ton. La solución de pretratamiento de residuos puede ofrecer una alternativa que tiene un cobro menor al actual, tratando la totalidad de residuos disponibles.

Región de Atacama: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Copiapó, con una generación de 20.853 ton/año de residuos que pueden ser reciclados y que tienen un costo de disposición de 19.560 \$/ton. Para una planta de pretratamiento de residuos que posee una capacidad cercana a 20.000 ton/año, se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro menor a la tasa actual.

Región de Coquimbo: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Coquimbo, con una generación de residuos de 33.633 ton/año de material que puede ser reciclado y que tiene un costo de disposición de 10.000 \$/ton. Para una planta con capacidad de tratamiento que trate la totalidad de los residuos, se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro menor a la tasa actual.

Alternativamente, se puede realizar trabajos intercomunales para incrementar la disponibilidad de residuos y como consecuencia, disminuir el cobro por tratamiento.

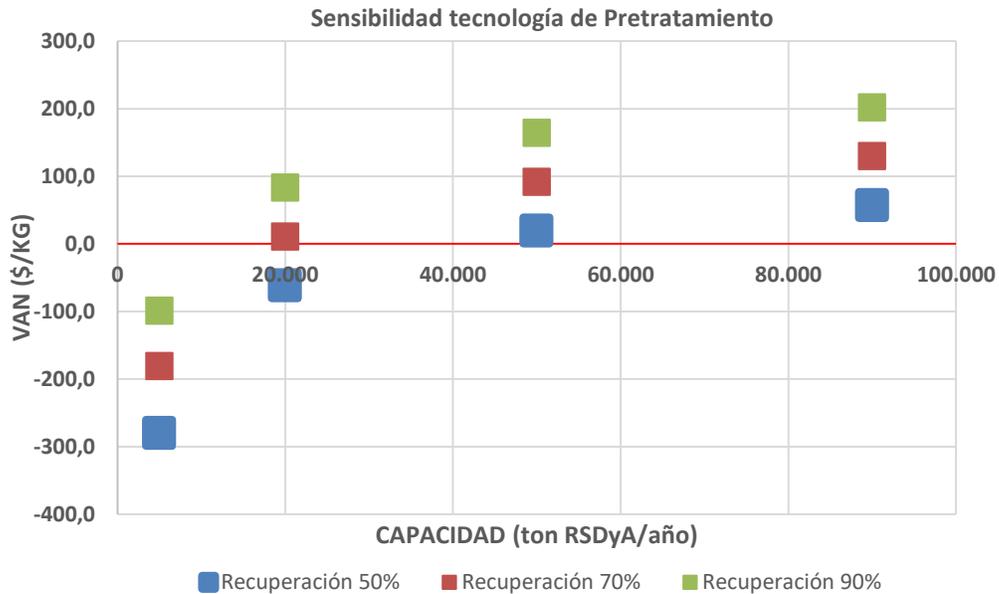


Figura 14-4. Sensibilidad de las plantas de pretratamiento de la Macrozona Norte. Recuperación del 50, 70 y 90% de los residuos que ingresan a la planta.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14-4 se puede apreciar la variación del VAN para las diferentes tasas de recuperación. Este parámetro tiene un impacto no menor en el VAN que se obtiene, cambiando el punto en el cual pasa de negativo a positivo a un valor cercano a 50.000 ton/año para la menor recuperación.

14.1.2 Macrozona Centro

De forma similar al caso presentado para la Macrozona Norte, se elaboraron las curvas de Valor Actual Neto, punto de equilibrio, TIR e ingreso por tratamiento de la Macrozona Centro. Posteriormente, se realizó una sensibilización de los parámetros de rendimiento de recuperación.

Las gráficas desarrolladas se presentan a continuación.

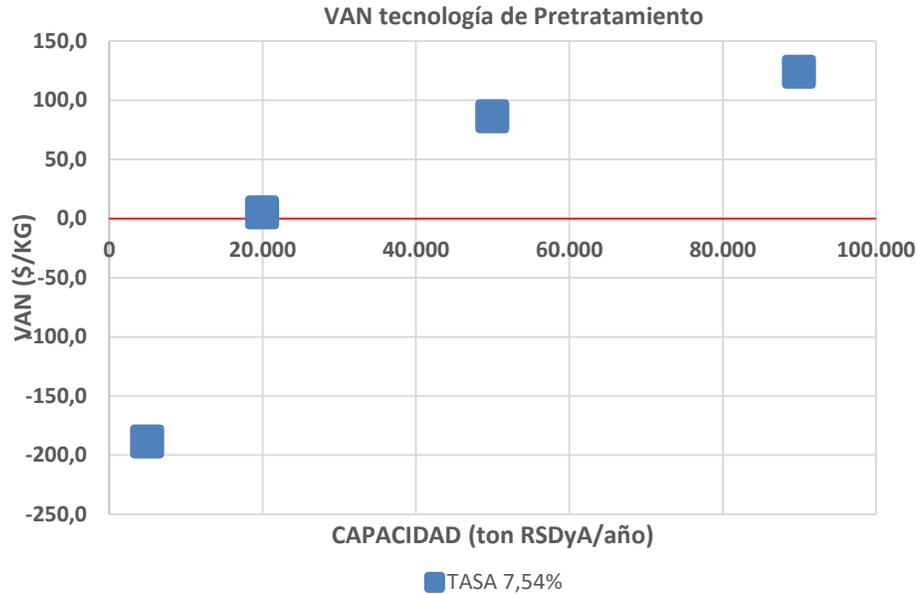


Figura 14-5. VAN de plantas de Pretratamiento Macrozona Centro
Fuente: Elaboración propia.

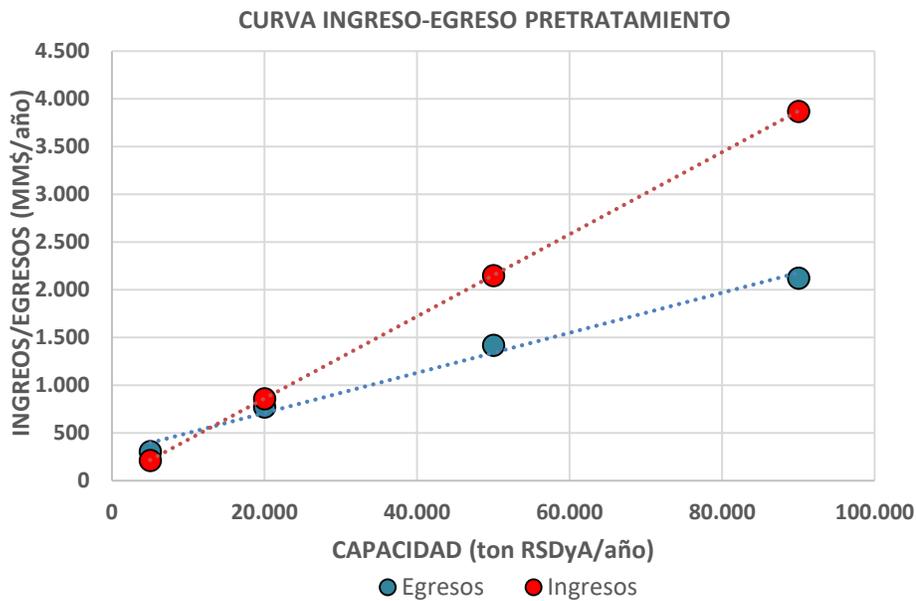


Figura 14-6. Punto de Equilibrio Macrozona Centro
Fuente: Elaboración propia.

Para la Macrozona Centro, tal como se aprecia en la Figura 14-5, el punto de paso entre VAN negativo a VAN positivo se encuentra cercano a una capacidad de tratamiento de 20.000 ton/año. Este cambio se puede

visualizar cuando se analiza el cambio de la TIR a diferentes tamaños de planta, pues cuando se emplea una planta de pretratamiento con capacidad de tratamiento de 20.000 ton/año, la tasa de descuento para esta tecnología es levemente menor a la TIR.

Tabla 14-8. TIR para las diferentes capacidades de pretratamiento de residuos, Macrozona Centro.

Capacidad De Tratamiento de residuos ton/año	TIR %
5.000	---
20.000	8,07
50.000	17,74
90.000	23,53

Fuente: Elaboración propia.

Esta tecnología puede aplicarse a todas las regiones que componen la Macrozona Centro, pues todas poseen una disponibilidad de residuos con potencial de ser reciclados, que es superior a 20.000 ton/año. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

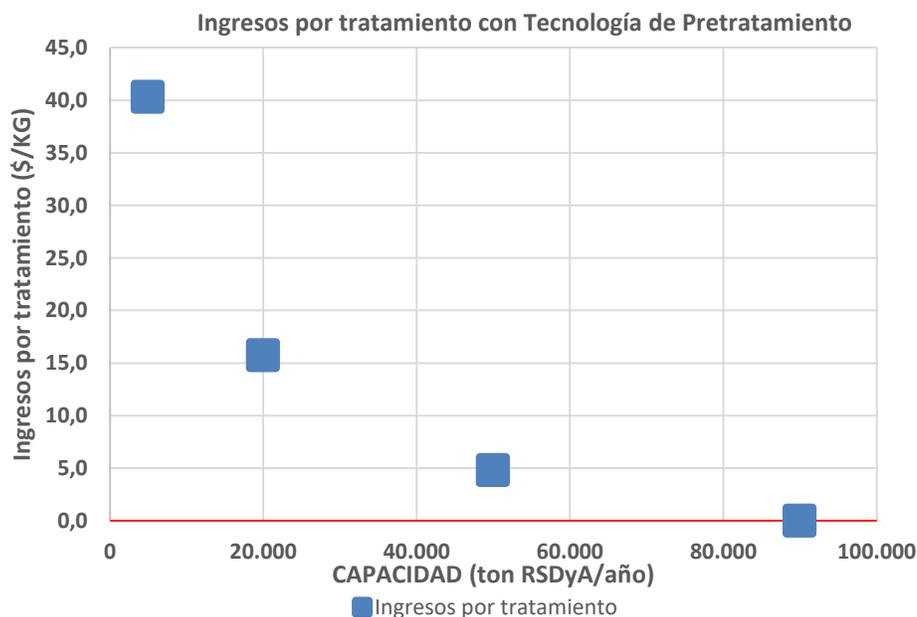


Figura 14-7. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de pretratamiento, Macrozona Centro.

Fuente: Elaboración propia que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Como se puede apreciar en la Figura 14-7, los Ingresos por tratamiento anualizados son similares a los obtenidos en la Macrozona Norte, debido a que en los cálculos, hay una pequeña variación a los ingresos por venta de los residuos, debido a la variación de la composición. A medida que va incrementando el tamaño, se puede disminuir el precio de venta de los materiales pretratados debido a la economía de escala.

Región de Valparaíso: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Viña del Mar. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 30.284 ton/año de material que puede ser reciclado y el costo de disposición es de 7.000 \$/ton. Para una planta de pretratamiento con capacidad superior a 20.000 ton/año, se puede ofrecer un cobro por tratamiento que es levemente superior al actual.

Región Metropolitana de Santiago: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Puente Alto. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 59.660 ton/año de residuos que pueden ser reciclados y el costo de disposición es de 10.475 \$/ton. Para una planta que trata la totalidad de los residuos, se puede ofrecer un cobro que es hasta 2 veces menor que el actual valor de disposición.

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la comuna de Rancagua. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 37.365 ton/año de material que puede ser reciclado y el costo de disposición es de 7.737 \$/ton. Para la disponibilidad de residuos total, se puede ofrecer un cobro levemente superior al actual.

Región del Maule: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la comuna de Talca. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 39.629 ton/año de material que puede ser reciclado y un costo de disposición es de 5.400 \$/ton. Para la disponibilidad de residuos no se logra ofrecer un cobro inferior al actual.

Se puede realizar trabajos intercomunales para tener una mayor disponibilidad de residuos y disminuir el cobro por disposición de los residuos.

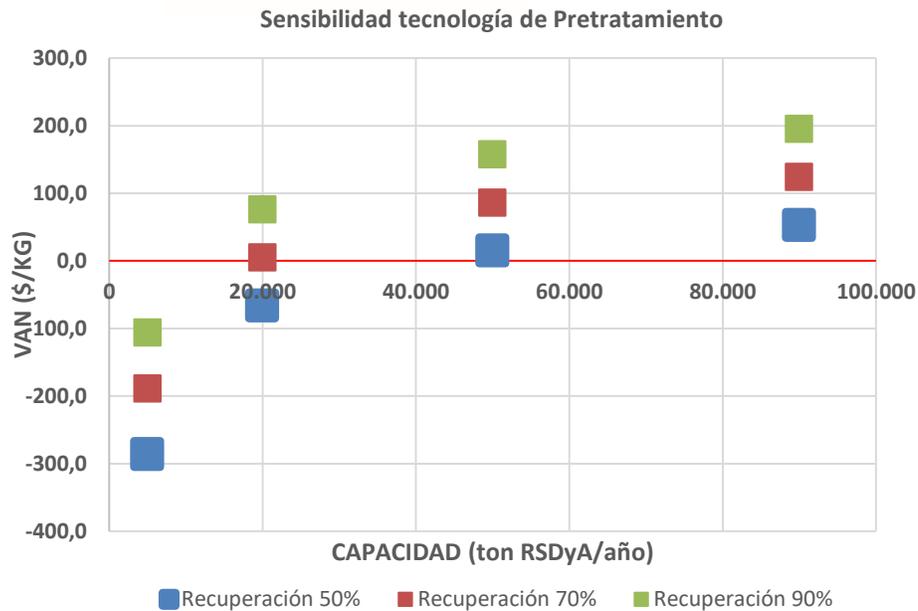


Figura 14-8. Sensibilidad de las plantas de pretratamiento de la Macrozona Centro. Recuperación del 50, 70 y 90% de los residuos que ingresan a la planta.

Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento del VAN que se puede apreciar en la Figura 14-8, es similar al que se determinó para la Macrozona Norte. La tasa de recuperación del material es de vital importancia, pues cuando los residuos no son bien clasificados en origen, incrementan los costos operativos debido a rechazos de material.

14.1.3 Macrozona Sur

De forma similar al caso presentado para la Macrozona Norte, se elaboraron las curvas de Valor Actual Neto, punto de equilibrio, TIR e ingreso por tratamiento de la Macrozona Sur que hace el VAN igual a 0. Posteriormente, se realizó una sensibilización de los parámetros de rendimiento de recuperación.

Las gráficas desarrolladas se presentan a continuación.

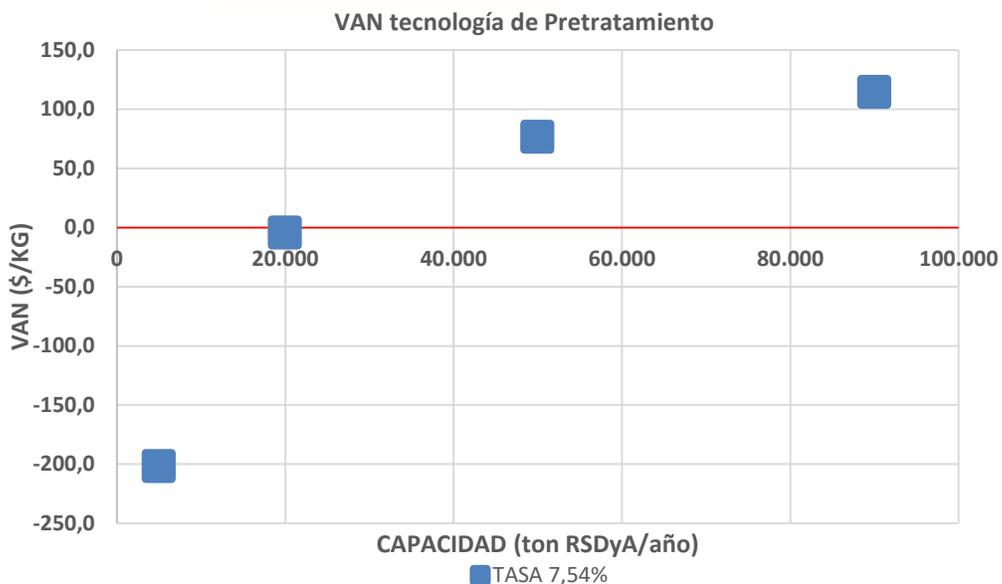


Figura 14-9. VAN de plantas de Pretratamiento Macrozona Sur
Fuente: Elaboración propia.

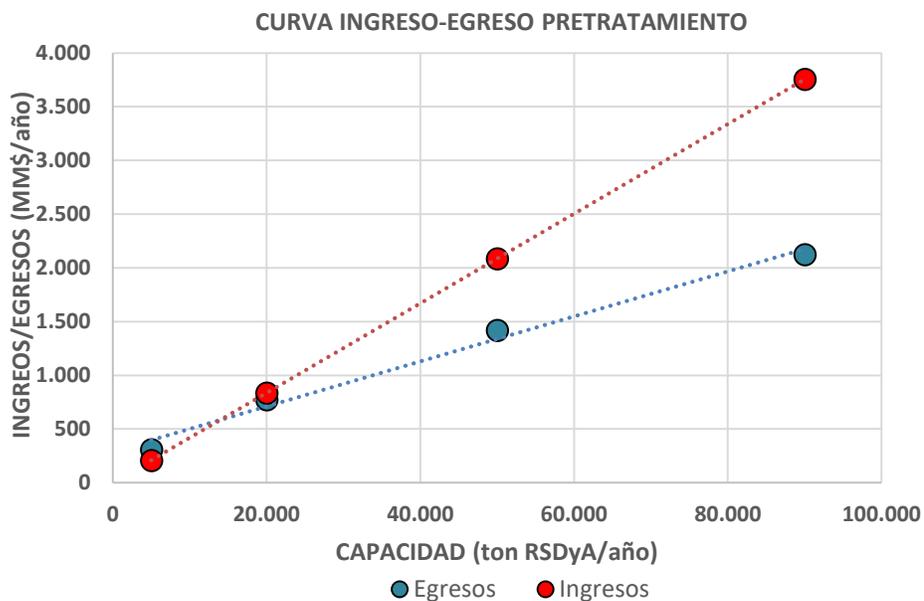


Figura 14-10. Punto de Equilibrio Macrozona Sur
Fuente: Elaboración propia.

Para la Macrozona Sur, tal como se aprecia en la Figura 14-9, el punto de paso de VAN negativo a VAN positivo es levemente superior al de las otras Macrozonas, pues el Ingreso por disposición determinado para la región que representa la Macrozona (Los Lagos), es levemente inferior al de las otras regiones que representan a la Macrozona. El punto de paso de VAN negativo a VAN positivo se puede apreciar al analizar la tasa de descuento y la TIR, el cual corresponde a un tamaño de planta que trata más de 20.000 ton/año.

Tabla 14-9. TIR para las diferentes capacidades de pretratamiento de residuos, Macrozona Sur.

Capacidad De Tratamiento de residuos ton/año	TIR %
5.000	---
20.000	7,06
50.000	16,69
90.000	22,4

Fuente: Elaboración propia.

Esta tecnología se puede aplicar en la mayoría de las regiones, pues disponen de más de 20.000 ton/año de residuos que pueden ser reciclados. En la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y la Región de Magallanes y la Antártica, poseen una disponibilidad de residuos cercana a las 20.000 ton/año, por lo que, en estos casos, de ser implementadas en estas regiones y bajo las condiciones establecidas, se debe considerar no solo que se deberá incrementar el cobro por tratamiento, sino que debe considerar el trabajo de varias comunas en conjunto. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

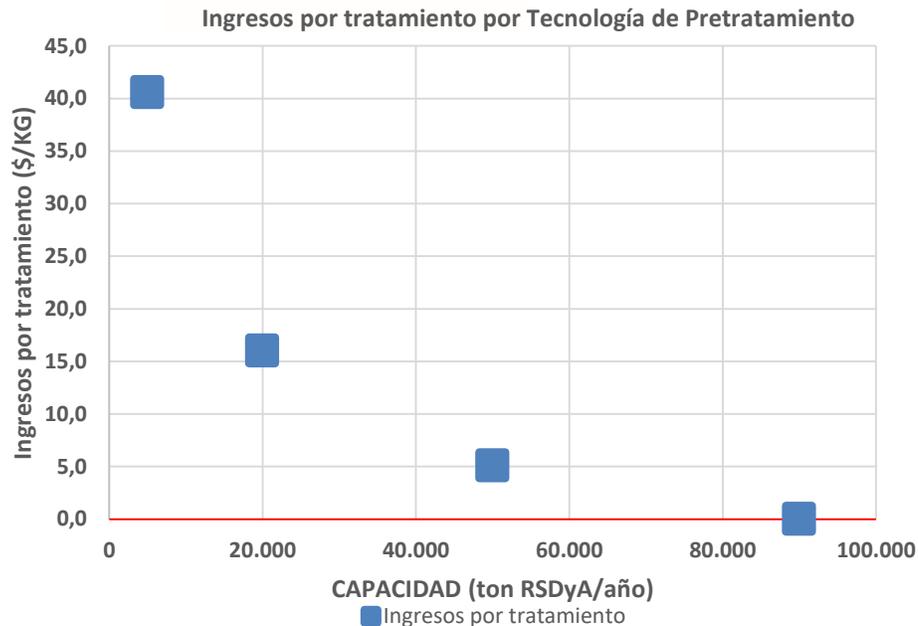


Figura 14-11. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de pretratamiento, Macrozona Sur.

Fuente: Elaboración propia que permite entregar los ingresos que hacen el VAN = 0.

Los Ingresos por tratamiento que se presentan en la Figura 14-11, son similares a los obtenidos en la Macrozona Norte, disminuyendo a medida que incrementa la capacidad de la planta, obedeciendo el comportamiento de economía de escala.

Región del Biobío: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Concepción. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 23.031 ton/año de material que puede ser reciclado y el costo de disposición es de 10.800 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, no se puede ofrecer una alternativa que tiene un cobro de disposición inferior al actual.

Región del Ñuble: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Chillán. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 15.907 ton/año de residuos que pueden ser reciclados y un costo de disposición de 8.300 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos y obtener un VAN positivo, se requiere pagar entre 20 a 25 \$/kg. Una alternativa, es un trabajo intercomunal, para disponer de mayor cantidad de residuos y disminuir el cobro por disposición que se puede ofrecer. Alternativamente, el estado puede subsidiar la diferencia entre el cobro actual y el cobro que puede ofrecer la planta de pretratamiento.

Región de la Araucanía: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Temuco. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 16.800 ton/año y un costo de disposición de 12.000 \$/ton. Actualmente, para la disponibilidad de residuos, no se puede obtener un cobro de tratamiento inferior, por lo que se puede disminuir el valor con trabajos intercomunales y se puede fomentar el uso de la tecnología, mediante la aplicación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro por tratamiento y cobro por disposición.

Región de Los Ríos: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Valdivia. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 28.989 ton/año y un costo de disposición de 5.500 \$/ton. De acuerdo a la disponibilidad de residuos total, no se puede ofrecer una alternativa de tratamiento con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajos intercomunales e implementar un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de Los Lagos: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Osorno. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 27.594 ton/año y un costo de disposición de 3.126 \$/ton. De acuerdo a la disponibilidad total, no se puede ofrecer una alternativa de tratamiento con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Coyhaique, con disponibilidad de 7.344 ton/año de residuos que pueden ser reciclados y un cobro de 13.195 \$/ton. Aun cuando se dispusiera de todo el material de la región para ser pretratado, el cobro no sería inferior al actual. La diferencia entre el cobro actual y el cobro por la tecnología de pretratamiento puede ser cubierto por un subsidio del estado.

Región de Magallanes y la Antártica: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Punta Arenas, con disponibilidad de 22.774 ton/año de residuos que pueden ser reciclados y un cobro de 13.317 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, se puede ofrecer una alternativa con un cobro levemente superior al actual.

En algunas regiones se puede realizar trabajo intercomunal, para disminuir el cobro de disposición de los residuos.

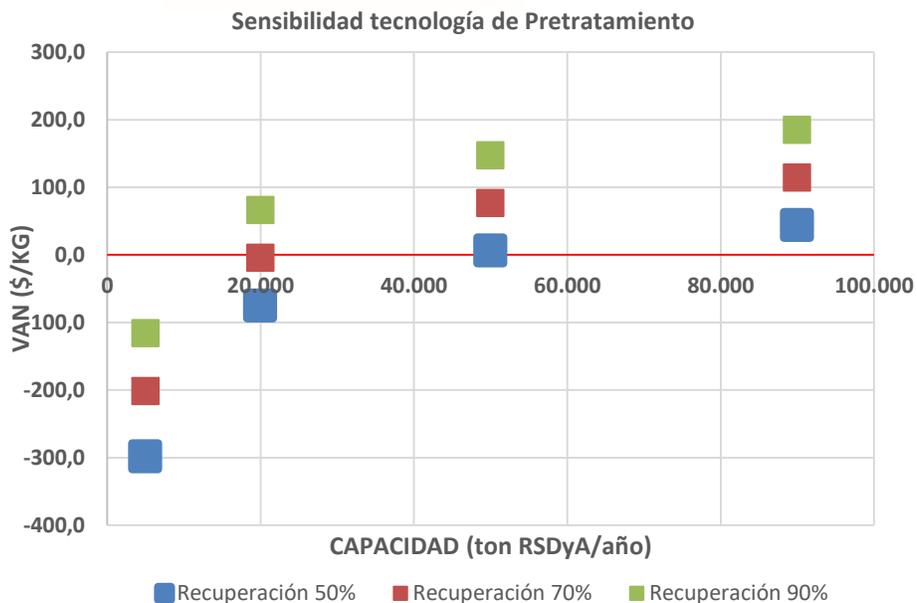


Figura 14-12. Sensibilidad de las plantas de pretratamiento de la Macrozona Sur. Recuperación del 50, 70 y 90%, de los residuos que ingresan a la planta.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14-12 se puede apreciar la variación del VAN para las diferentes tasas de recuperación. La sensibilidad de este parámetro tiene un comportamiento similar a los identificados en las otras Macrozonas.

14.2 Tecnología de Compostaje

El análisis que se expone en esta sección considera que esta tecnología puede ser empleada para tratar más del 40% de los residuos que se generan en las regiones, correspondiente a la materia orgánica. Los diferentes tamaños de plantas que se presentan en esta sección fueron diseñados para obtener el CAPEX y OPEX correspondiente.

Cabe destacar en el análisis de esta tecnología, que debido a los tiempos de residencia de las pilas (2-3 meses de fermentación y maduración), a medida que se incrementa el tamaño de la planta, incrementa en mayor medida el requerimiento de terreno para poder operar.

Para esta tecnología se analizaron 5 casos, con plantas que poseen una capacidad de tratamiento de 5.000 a 50.000 ton Org/año. En la Tabla 14-10 se presentan los diferentes requerimientos de superficie para los tamaños de las plantas diseñadas.

Tabla 14-10. Terreno requerido para las diferentes plantas diseñadas.

Capacidad de tratamiento (ton Org/año)	Superficie de terreno requerida (m ²)
5.000	36.413
15.000	91.480
20.000	119.368
30.000	171.957
50.000	282.445

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de los ingresos asociados por la venta de compost, se consideró los valores presentados en la publicación de Díaz, L et al. 2007. De acuerdo a ello, se determinó un valor de venta de 8 USD/m³, con un valor de cambio de dólar de 662 (SII, 2019). Para el análisis de Sensibilidad, se consideró la variación del precio de venta del compost, con un valor inferior de 5 USD/m³ y un valor superior de 10 USD/m³.

En el análisis económico que se ha elaborado, se consideran aspectos que dependen del territorio, entre ellos se encuentran los siguientes:

- La disponibilidad de materia orgánica por territorio.
- La distribución territorial, con grandes y pequeños generadores, permite que se consideren soluciones locales, y mancomunadas.
- La exigencia económica de esta planta requiere de grandes superficies de terreno. Si se desea realizar el diseño de plantas de mayor tamaño, se recomienda considerar su ubicación en terrenos rurales, para disminuir los costos de inversión asociados a la adquisición de la superficie requerida.

14.2.1 Macrozona Norte

De acuerdo con el método propuesto para el análisis económico, se procede de la siguiente forma:

A. Identificar Tamaños y Costos de Planta de Compostaje

Se procede como se muestra en la Tabla 14-11 elaborada con datos disponibles de la Región de Tarapacá. En ella se procede a identificar los tamaños de planta diseñados para la tecnología de Compostaje. En la gráfica correspondiente se considera que los residuos son previamente segregados, entregando los valores de CAPEX y OPEX respectivos, que se indican en términos unitarios y totales.

Tabla 14-11. Identificación de Capacidad de Plantas de Tratamiento por Compostaje.

Tecnología	Capacidad de Tratamiento de residuos ton Org/año	Valores unitarios		Valores totales		
		CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX de inversiones depreciables
		M\$/ton Org/año	M\$/ton/año	M\$	M\$/año	M\$
Compostaje	5.000	146,547	17,85	732.735	89.250	\$ 312.824
	15.000	114,223	13,232	1.713.347	198.480	\$ 724.808
	20.000	109,68	11,598	2.193.600	231.960	\$ 923.498
	30.000	102,147	9,78	3.064.410	293.400	\$1.276.971
	50.000	94,954	7,684	4.747.700	384.200	\$1.925.190

Fuente: Elaboración propia.

B. Identificación del Costo Unitario en el PEq

Se procede a definir la vida útil, establecido en esta evaluación en 20 años para el paquete de cada tecnología y asimismo se considera una tasa de descuento para poder anualizar el CAPEX (7,54%), lo que se expresa en M\$/año. En la evaluación para determinar el punto de equilibrio, se considera la suma del valor de CAPEX anualizado con el OPEX.

Tabla 14-12. Estimación del Egreso Anual de la tecnología de Compostaje de los residuos.

Capacidad De Tratamiento de residuos ton Org/año	Vida útil años	Tasa %	Valores anualizados		Egreso anual MM\$/año	Costo total punto equilibrio ORG \$CLP/kg
			CAPEX	OPEX		
			M\$/año	M\$/año		
5.000	20	7,54	72.094	89.250	161,3444	\$32
15.000	20	7,54	168.578	198.480	367,0576	\$24
20.000	20	7,54	215.830	231.960	447,79	\$22
30.000	20	7,54	301.510	293.400	594,9097	\$20
50.000	20	7,54	467.130	384.200	851,3299	\$17

Fuente: Elaboración propia.

C. Valor Actual Neto (VAN)

Para estimar ingresos, se calcula la venta del compost maduro, tomando en consideración la densidad del compost final es 0,65 ton/m³ y el precio de venta es 8 USD/m³ (Roman, P. et al. 2013; Diaz, L et al. 2007). De esta forma se logra obtener un ingreso bruto por concepto de venta del compost. El análisis de sensibilidad de esta tecnología considera posteriormente, la variación del precio de venta del compost (5, 8, 10 USD/m³).

Tabla 14-13. Estimación del Margen bruto de la planta de compostaje de residuos.

Capacidad De Tratamiento de residuos	Ingresos venta compost	Ingresos por tratamiento	Ingresos adicionales	Ingreso anual	Ingreso anual	Egreso anual	Margen bruto
ton Org/año	\$/kg de org tratado	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	mm\$/año	\$/kg RSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kg RSDyA
5.000	\$8,15	\$12,2	\$4,4	\$123,74	\$24,75	\$17,85	\$6,90
15.000	\$8,15	\$12,2	\$4,4	\$371,22	\$24,75	\$13,23	\$11,52
20.000	\$8,15	\$12,2	\$4,4	\$494,95	\$24,75	\$11,60	\$13,15
30.000	\$8,15	\$12,2	\$4,4	\$742,43	\$24,75	\$9,78	\$14,97
50.000	\$8,15	\$12,2	\$4,4	\$1.237,38	\$24,75	\$7,68	\$17,06

Fuente: Diseño propio.

Tabla 14-14. Estimación del VAN de la planta de compostaje de residuos.

Dep	EBIT	Impuesto	UTIL DESP IMP	FCL ANUAL	VP DEL FCL ANUAL	VP CAPEX	VAN
\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA
3,1	\$3,77	\$1	\$2,75	\$5,88	\$59,76	\$146,55	-\$87
2,4	\$9,10	\$2,46	\$6,64	\$9,06	\$92,07	\$114,22	-\$22
2,3	\$10,84	\$2,93	\$7,91	\$10,22	\$103,90	\$109,68	-\$5,78
2,1	\$12,84	\$3,47	\$9,37	\$11,50	\$116,89	\$102,15	\$14,74
1,9	\$15,14	\$4,09	\$11,05	\$12,98	\$131,89	\$94,95	\$36,93

Fuente: Elaboración propia.

D. Resultados del Análisis Económico

El análisis del caso base de la tecnología de Compostaje, se considera la venta del compost a un valor de 8 USD/m³, el punto de equilibrio, la tasa de descuento que hace el VAN igual 0 en las diferentes capacidades de la planta y los Ingresos por tratamiento de residuos por cada tamaño que hacen el VAN igual a 0.

El procedimiento de cálculo empleado se puede sensibilizar respecto a parámetros que resultan críticos en la rentabilidad económica del tratamiento. Para esta tecnología, se definió que se va a variar el precio de venta del compost (5, 8, 10 USD/m³).

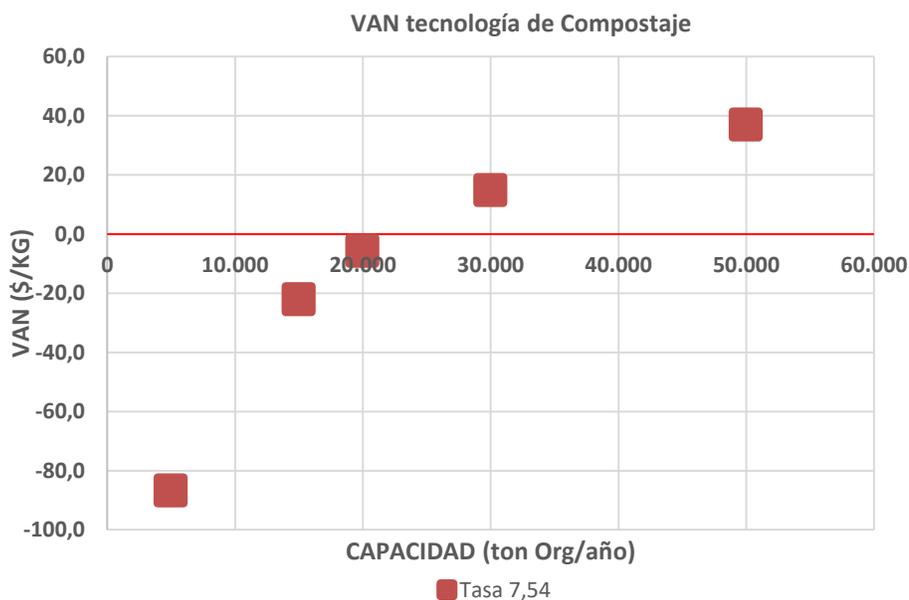


Figura 14-13. VAN de plantas de Compostaje Macrozona Norte
Fuente: Elaboración propia.

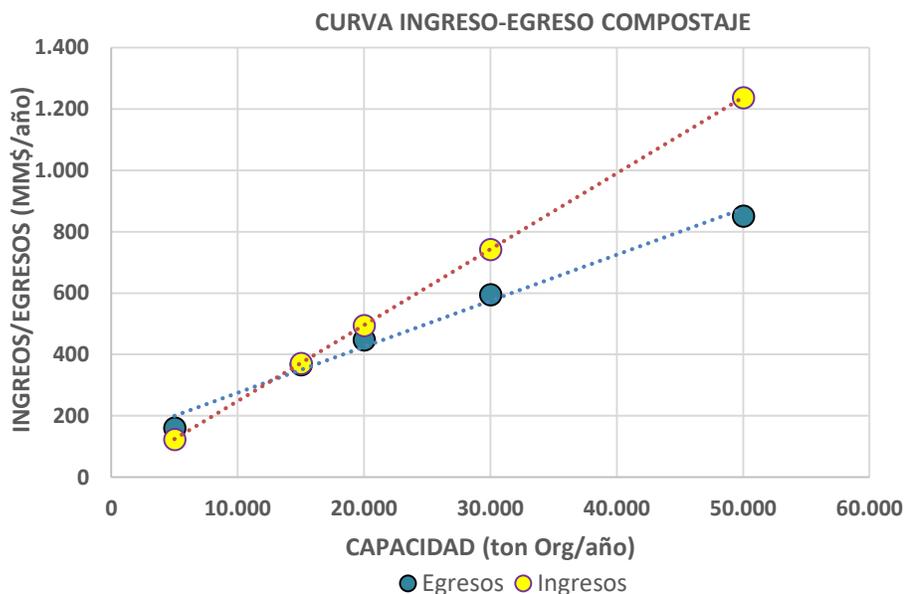


Figura 14-14. Punto de Equilibrio Macrozona Norte
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14-13, se puede observar que para planta de Compostaje que posee una capacidad sobre 20.000 ton/año de materia orgánica, se pueden obtener VAN positivos. Para una planta que posee una capacidad de tratamiento entre 20.000 a 30.000 toneladas al año, se tiene una TIR mayor a la tasa de descuento aplicada para esta tecnología (7,54%).

Tabla 14-15. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por compostaje, Macrozona Norte.

Capacidad De Tratamiento de residuos ton Org/año	TIR %
5.000	-2,01
15.000	4,86
20.000	6,84
30.000	9,39
50.000	12,33

Fuente: Elaboración propia.

Todas las regiones que componen a la Macrozona Norte poseen una generación de materia orgánica superior a las 20.000 ton/año, por lo que técnicamente se puede aplicar en diferentes regiones. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

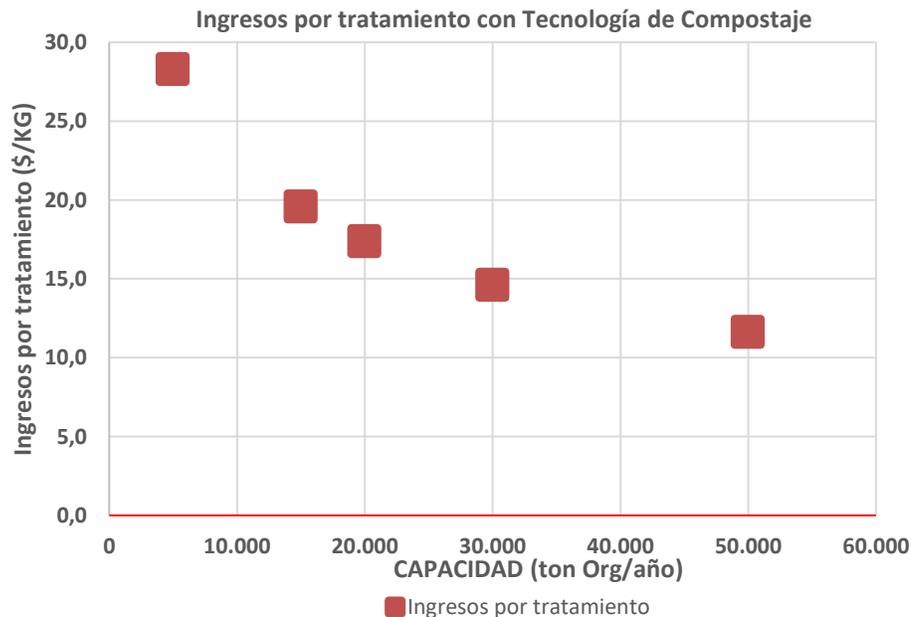


Figura 14-15. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de compostaje, Macrozona Norte.

Fuente: Elaboración propia que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Como se puede apreciar en la Figura 14-15, a medida que incrementa la capacidad de la planta, disminuye el cobro que se tiene que hacer. Para los tamaños de planta diseñados, no hay un punto de corte en el eje X en el cual los ingresos por los subproductos permitan sustentar a la tecnología, pero si se observa la economía de escala.

Región de Arica y Parinacota: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Arica. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 72.602 ton/año de residuos orgánicos. Para una planta de compostaje con una disponibilidad de 50.0000 ton org/año, se debe realizar un cobro de al menos 11 \$/kg, si se incrementa la capacidad, se puede ofrecer una alternativa con un cobro levemente superior al actual. En caso de implementar una planta con capacidad de 50.000 ton org/año, la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento se puede pagar mediante un subsidio igual o mayor a 8,8 \$/kg.

Región de Tarapacá: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Iquique. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 59.976 ton Org/año de residuos que puede ser tratado por compostaje. Para la disponibilidad de residuos que hay en la comuna, se puede ofrecer una alternativa de tratamiento que tendrá un cobro menor al actual, cuando se tratan más de 20.000 ton Org/año.

Región de Antofagasta: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Antofagasta. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 65.315 ton Org/año de residuos que puede ser tratado por compostaje. La solución de compostaje no puede ofrecer un cobro menor al actual, por lo que se recomienda trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de residuos y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de Atacama: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Copiapó, con una generación de 25.487 ton Org/año de residuos que puede ser tratado por compostaje. Cuando se emplean plantas con capacidad superior a 15.000 ton Org/año, se puede ofrecer un cobro de disposición inferior al actual.

Región de Coquimbo: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Coquimbo, con una generación de residuos de 34.623 ton Org/año de material que puede ser tratado por compostaje. Aun si se trata toda la disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer un cobro inferior al actual. Se recomiendan trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Alternativamente, se puede realizar trabajos intercomunales, para disminuir el cobro por tratamiento e incrementar la disponibilidad de residuos.

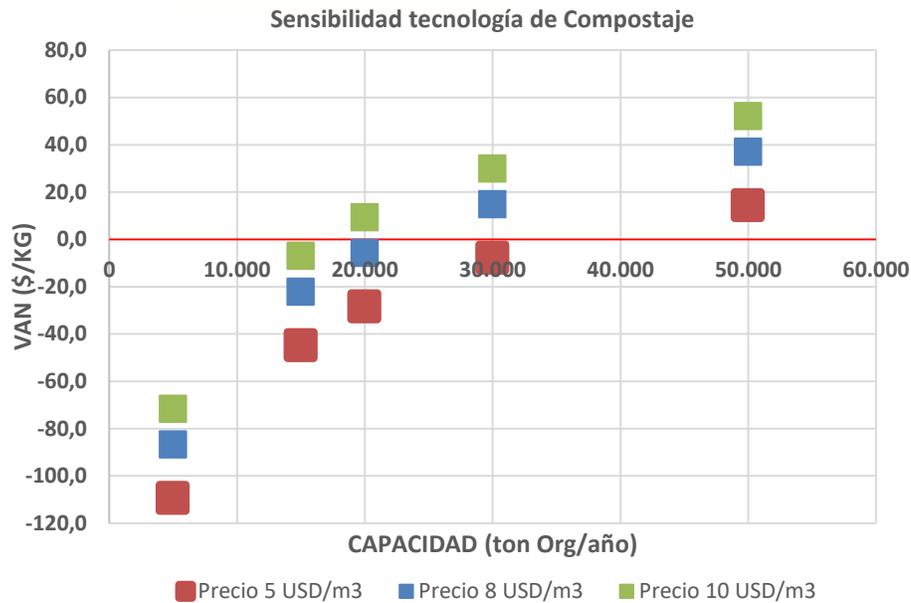


Figura 14-16. Sensibilidad de plantas de compostaje de la Macrozona Norte. Precio de venta de 5, 8 y 10 USD/m³.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14-16 se puede apreciar la variación del VAN para los diferentes precios de venta. Este parámetro tiene la capacidad de mover el punto de cambio de VAN negativo y positivo. Es importante, pues si no se asegura un precio de venta del compost a largo plazo, puede eliminarse la rentabilidad de esta tecnología y requerir un mayor cobro por la disposición de residuos.

14.2.2 Macrozona Centro

De forma similar al caso presentado para la Macrozona Norte, se elaboraron las curvas de Valor Actual Neto, punto de equilibrio, TIR e ingreso por tratamiento de la Macrozona Centro. Posteriormente se realizó una sensibilización del precio de venta del compost.

Las gráficas desarrolladas se presentan a continuación.

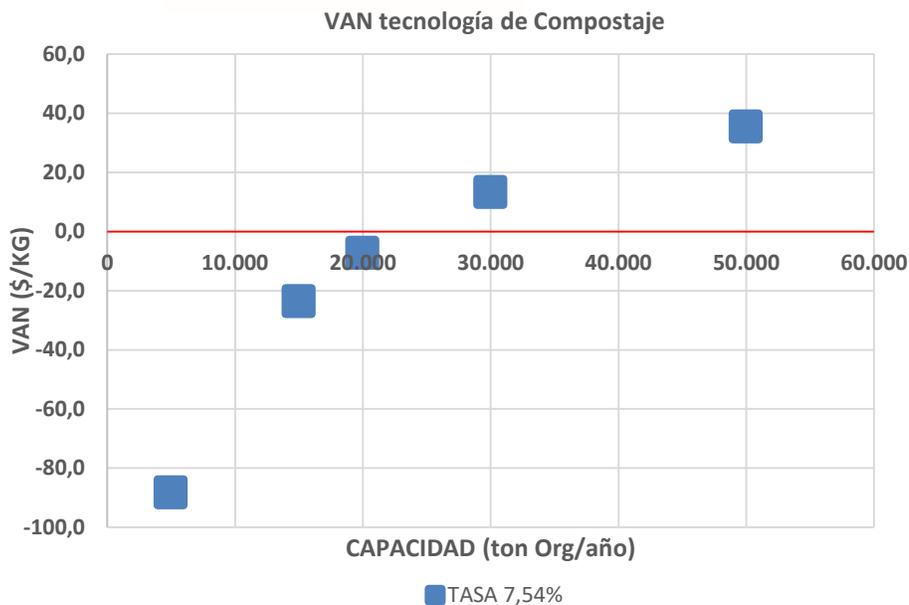


Figura 14-17. VAN de plantas de Compostaje Macrozona Centro
Fuente: Elaboración propia.

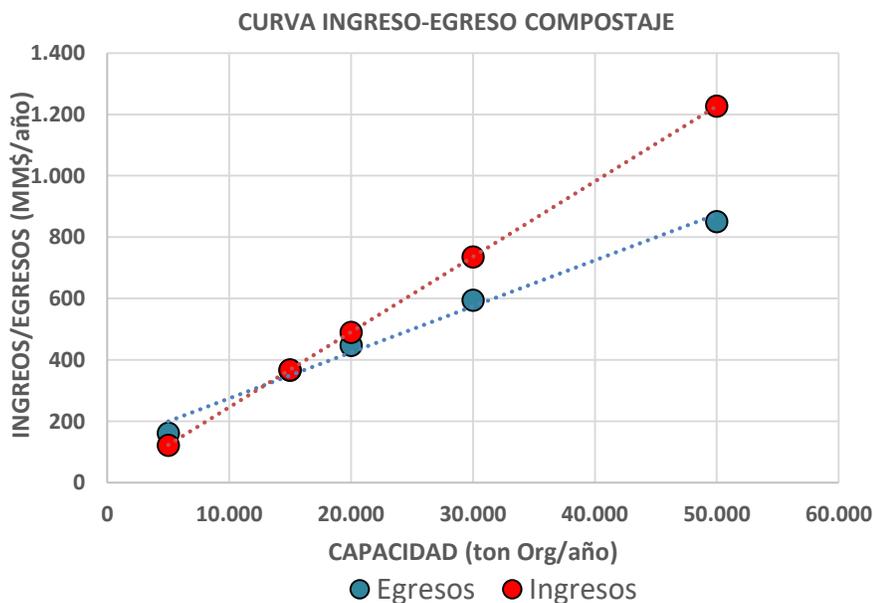


Figura 14-18. Punto de Equilibrio Macrozona Centro
Fuente: Elaboración propia.

Para la Macrozona Centro, tal como se presenta en la Figura 14-17, el punto de paso entre VAN negativo a VAN positivo se encuentra superior a una capacidad de tratamiento de 20.000 ton/año. Para una planta que

posee una capacidad de tratamiento entre 20.000 a 30.000 toneladas al año, se tiene una TIR mayor a la tasa de descuento aplicada para esta tecnología (7,54%).

Tabla 14-16. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por compostaje, Macrozona Centro.

Capacidad De Tratamiento de residuos ton Org/año	TIR %
5.000	-2,23
15.000	4,67
20.000	6,65
30.000	9,21
50.000	12,15

Fuente: Elaboración propia.

Esta tecnología se puede aplicar en todas las regiones que componen la Macrozona Centro, pues todas poseen una disponibilidad de residuos orgánicos superior a 20.000 ton/año. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

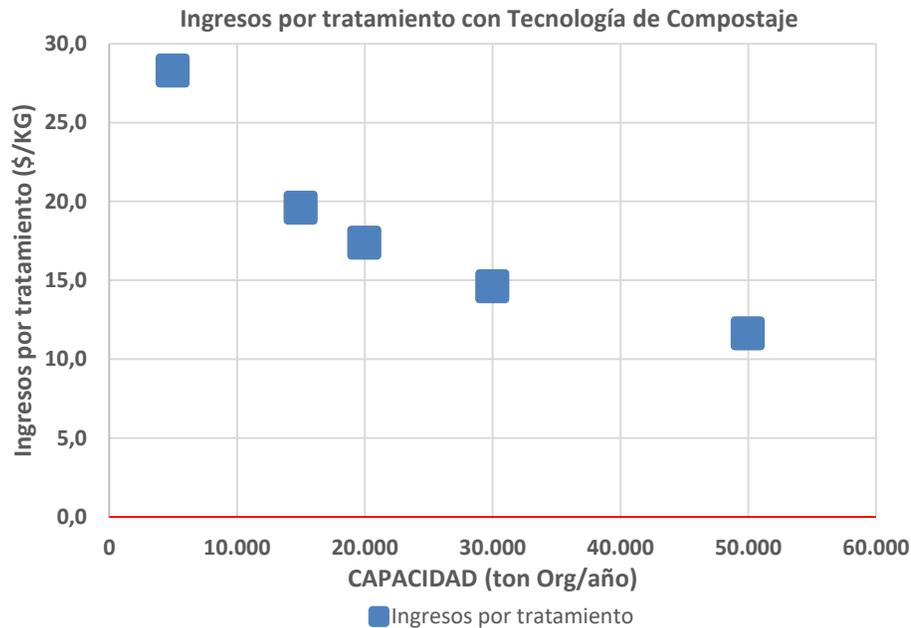


Figura 14-19. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de compostaje, Macrozona Centro.

Fuente: Elaboración propia que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Como se puede apreciar en la Figura 14-19, los Ingresos por tratamiento anualizados son similares a los obtenidos en la Macrozona Centro. A medida que va incrementando el tamaño de la planta, se puede visualizar la disminución del precio de venta del compost, debido a la economía de escala.

Región de Valparaíso: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Viña del Mar. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 105.996 ton/año de residuos orgánicos. Para la disponibilidad de materia orgánica, se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro inferior al actual cuando se emplea plantas con capacidad de tratamiento superior a 50.000 ton/año.

Región Metropolitana de Santiago: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Puente Alto. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 125.950 ton/año de residuos orgánicos. Para la disponibilidad de residuos y cobro actual, con una planta de compostaje con una capacidad de tratamiento superior a 50.000 ton/año, se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro inferior al actual.

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la comuna de Rancagua. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 47.463 ton/año de residuos orgánicos. Para la disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región del Maule: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la comuna de Talca. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 57.919 ton/año de residuos orgánicos. Para la disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer una alternativa de tratamiento que tenga un cobro inferior al actual. Se recomiendan trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Sin perjuicio de lo anteriormente presentado, se puede considerar trabajos intercomunales y disminuir el cobro por tratamiento de los residuos.

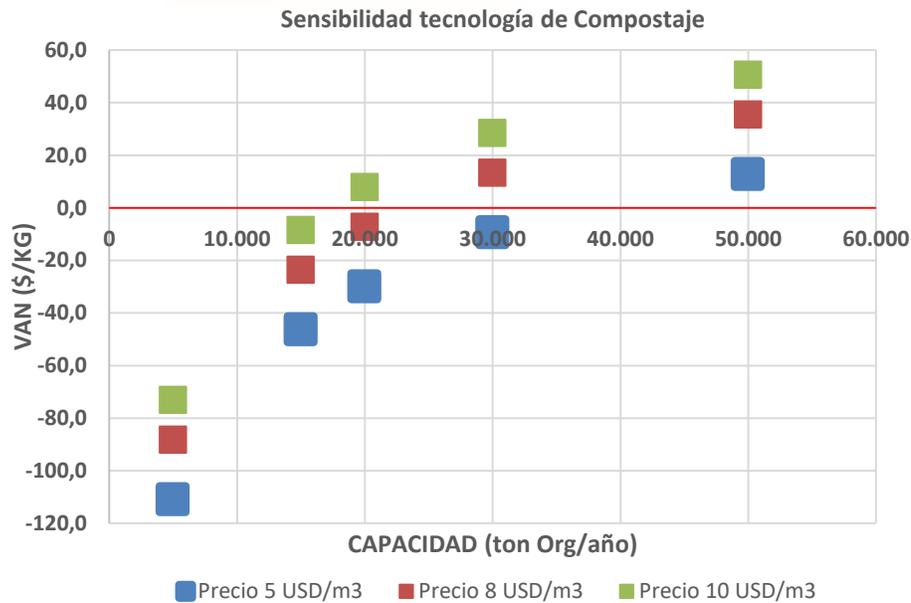


Figura 14-20. Sensibilidad de las plantas de compostaje de la Macrozona Centro. Precio venta compost 5, 8 y 10 USD/m³.

Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento del VAN que se puede apreciar en la Figura 14-20 es similar al de la Macrozona Norte, con un leve desfase del paso de VAN negativo a VAN positivo entre las 20.000 a 30.000 ton Org/año. Se puede apreciar la importancia del precio de venta que se pueda obtener para el compost.

14.2.3 Macrozona Sur

De forma similar al caso presentado para la Macrozona Norte, se elaboraron las curvas de Valor Actual Neto, punto de equilibrio, TIR e Ingresos por tratamiento de la Macrozona Sur. Posteriormente, se realizó una sensibilización de los precios de venta del compost.

Las gráficas desarrolladas se presentan a continuación.

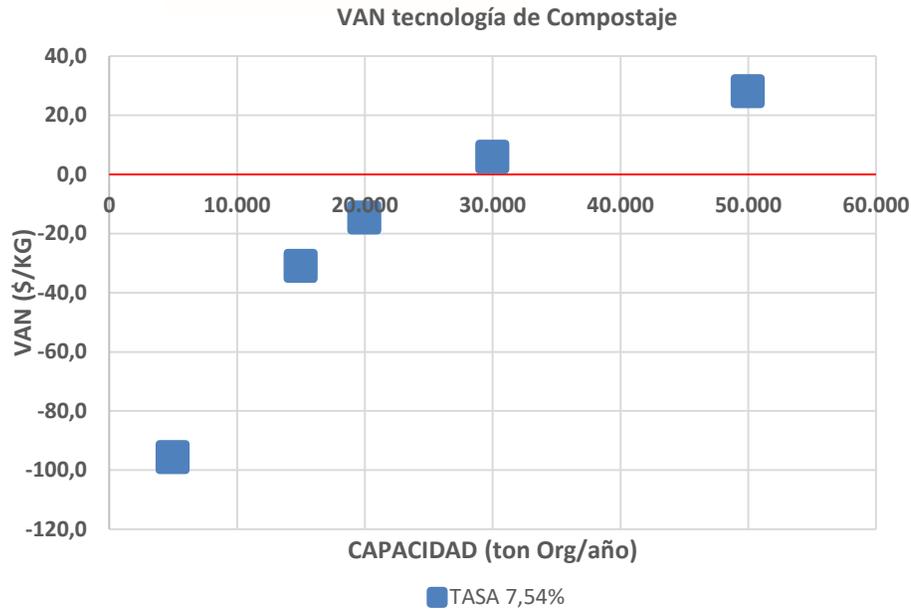


Figura 14-21. VAN de plantas de Compostaje Macrozona Sur
Fuente: Elaboración propia.

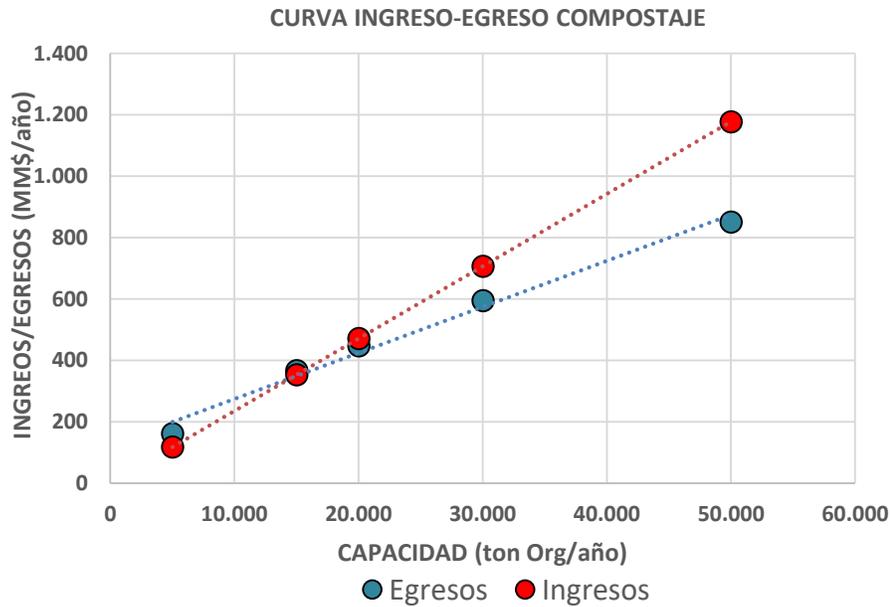


Figura 14-22. Punto de Equilibrio Macrozona Sur
Fuente: Elaboración propia.

Para la Macrozona Sur, tal como se aprecia en la Figura 14-21, el punto de paso de VAN negativo a VAN positivo se encuentra levemente superior al de las otras Macrozonas, más cercano a una capacidad de

tratamiento de 30.000 ton/año. Para una planta que posee una capacidad de tratamiento cercana a las 30.000 ton Org/año, se tiene una TIR mayor a la tasa de descuento aplicada para esta tecnología (7,54%).

Tabla 14-17. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por compostaje, Macrozona Sur.

Capacidad De Tratamiento de residuos ton Org/año	TIR %
5.000	-3,39
15.000	3,7
20.000	5,72
30.000	8,28
50.000	11,23

Fuente: Elaboración propia.

Esta tecnología puede ser aplicada en la mayoría de las regiones, pues disponen de más de 30.000 ton Org/año que pueden ser tratados por compostaje. En la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y la Región de Magallanes y la Antártica, poseen una disponibilidad inferior a las 30.000 ton Org/año, por lo que, en estos casos, se puede implementar la tecnología a menores escalas y tomando en consideración, cobros superiores a lo establecido en el análisis del VAN. Se deberá considerar el trabajo de varias comunas en conjunto. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

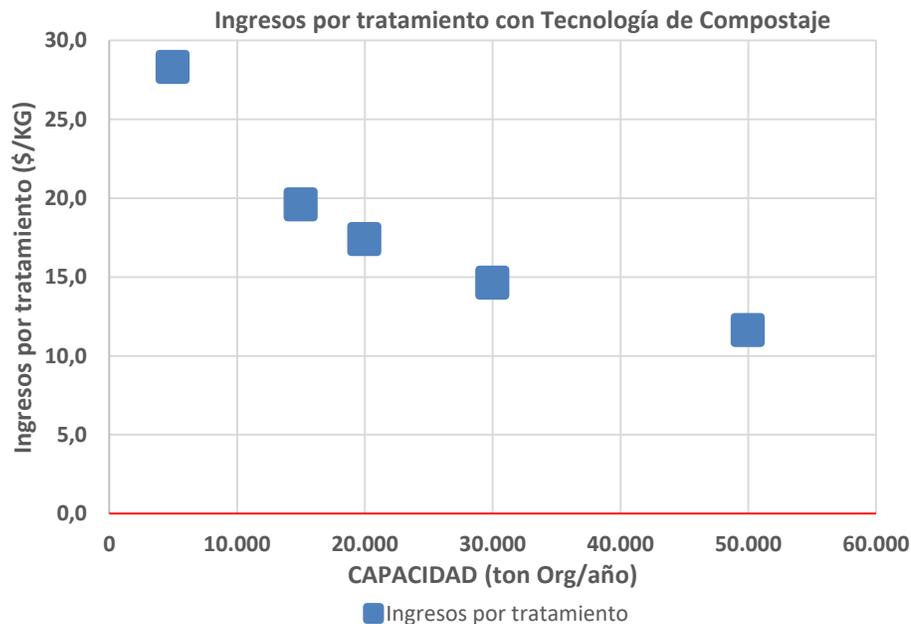


Figura 14-23. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de compostaje, Macrozona Sur.

Fuente: Elaboración propia que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Los Ingresos por tratamiento que se presentan en la Figura 14-23, son similares a los obtenidos en las otras Macrozonas, disminuyendo a medida que incrementa la capacidad de la planta, obedeciendo el comportamiento de economía de escala.

Región del Biobío: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Concepción. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 50.860 ton/año de residuos orgánicos. Para la disponibilidad total de residuos, se puede ofrecer una alternativa de disposición con un cobro levemente superior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región del Ñuble: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Chillán. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 44.107 ton/año de residuos orgánicos. Para la disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomienda trabajo intercomunal y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de la Araucanía: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Temuco. De acuerdo a datos del "Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere.", posee una disponibilidad de 85.200 ton/año de residuos orgánicos. Actualmente, para la disponibilidad de residuos, se puede ofrecer un cobro inferior a los 12.000 \$/ton, con una planta que tenga una capacidad igual o superior a 50.000 ton Org/año.

Región de Los Ríos: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Valdivia. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 52.887 ton/año de residuos orgánicos. De acuerdo a la disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomiendan trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio mayor o igual a 6,1 \$/kg.

Región de Los Lagos: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Osorno. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 58.372 ton/año de residuos orgánicos. De acuerdo a la disponibilidad, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio igual o mayor a 8,5 \$/kg.

Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Coyhaique, con disponibilidad de 14.144 ton/año de residuos orgánicos. Para la disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de Magallanes y la Antártica: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Punta Arenas, con disponibilidad de 15.942 ton/año de residuos orgánicos. Para la disponibilidad residuos, no se puede ofrecer una solución con un cobro inferior. Se recomienda la implementación de un subsidio igual o mayor a 6,3 \$/kg.

En algunas regiones se puede realizar trabajo intercomunal, para disminuir el cobro por tratamiento de los residuos.

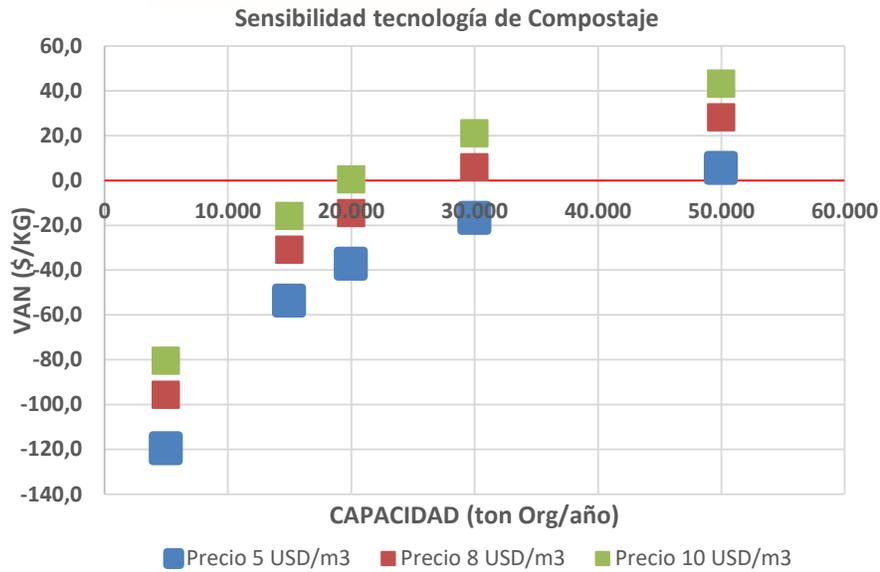


Figura 14-24. Sensibilidad de plantas de compostaje de la Macrozona Sur. Precio de venta del compost de 5, 8 y 10 USD/m³. Fuente: **Elaboración propia.**

En la Figura 14-24 se puede apreciar la variación del VAN para los diferentes precios de venta. Se puede observar un comportamiento similar a los identificados en las otras Macrozonas, con un leve descenso en el VAN.

14.3 Tecnología de Digestión Anaeróbica

El análisis que se expone en esta sección considera que esta tecnología es una alternativa con un amplio rango de capacidades de planta, que se puede emplear para tratar la materia orgánica. Los diferentes tamaños de planta, CAPEX y OPEX que se presentan en esta sección, fueron obtenidos de diferentes fuentes bibliográficas. Cabe señalar que, al ser fuentes de información bibliográfica, para determinar aquellos ítems que no son depreciables, se empleó información obtenida de Peters and Timmerhaus, 2003 y Stantec, 2011, que consideran que un 2,1% de las inversiones corresponden a terreno y un 5% a mejoramiento de suelo.

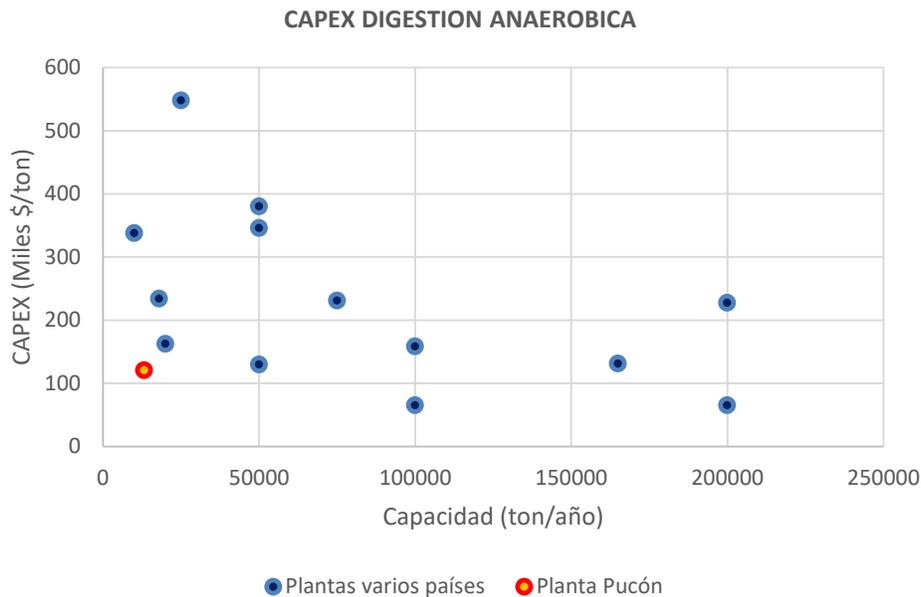


Figura 14-25. CAPEX de la tecnología de Digestión Anaeróbica.
Fuente: Elaboración propia basada en Arcadis, 2009 y NBC, 2016.

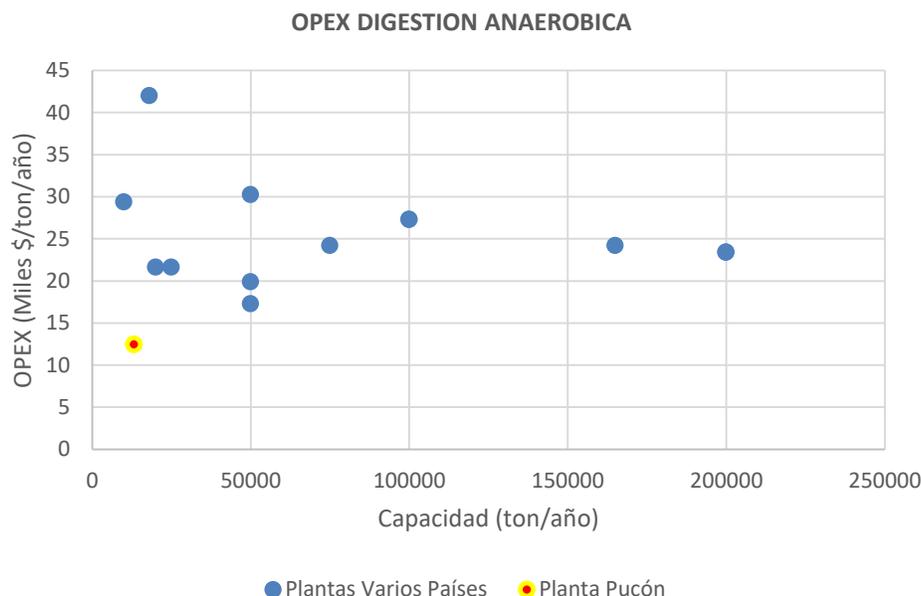


Figura 14-26. OPEX de la tecnología de Digestión Anaerobica.
Fuente: Elaboración propia basada en Arcadis, 2009 y NBC, 2016.

Los digestores requieren importantes cantidades de agua, pues operan con un 80% de su volumen en ambiente acuoso. Esta variable puede significar una limitación en zonas áridas, sin embargo, existe a nivel comercial la correspondiente tecnología de recuperación de alta eficiencia de la fracción líquida, permitiendo recircular al proceso una fracción de la corriente. Es por ello por lo que la tecnología es válida en distintos climas, incluso con residuos de baja humedad. Por otra parte, en Chile la humedad de los RSDyA es relativamente alta frente a lo que se observa en Estados Unidos, donde en promedio se encuentra un 30%.

Otro aspecto que merece atención es el digestato, material que debe ser dispuesto en lo posible en usos valorizables, como la producción agrícola, pero no siempre es posible. Estas tecnologías se encuentran desarrolladas y no se estima que sean un cuello de botella significativo para definir las inversiones.

En definitiva, toda tecnología nueva presenta desafíos que hay que superar, pero no se observa que sean obstáculos insalvables, como lo demuestra la existencia de numerosas plantas de Digestión Anaeróbica en países con climas muy variados y en tamaños en un amplio rango de operación.

En el análisis económico que se ha elaborado, se consideraron aspectos que dependen del territorio, entre ellos se encuentran los siguientes:

- La cantidad, composición y humedad de los RSDyA, pues determinan propiedades como el poder calorífico y la digestibilidad.
- La distribución territorial, con grandes y pequeños centros generadores lo que se aborda con un rango amplio dentro de los límites tecnológicos existentes en plantas comerciales.

- La exigencia económica de nuevas plantas, que en general se plantea como una restricción que obliga a considerar posibles tarifas para cubrir los tratamientos con sistemas más avanzados que los actualmente en uso en el país.

14.3.1 Macrozona Norte

De acuerdo con el método propuesto para el análisis económico, se procede de la siguiente forma:

A. Identificar Tamaños y Costos de Plantas de Digestión Anaeróbica

Se procede como se muestra en la Tabla 14-18 elaborada con datos disponibles de la Región de Tarapacá. En ella se identifican tamaños comerciales de plantas de digestión anaeróbica (DA), considerando las gráficas previamente presentadas. En las respectivas gráficas, el tamaño está definido en función de toneladas anuales de residuos, sin embargo, una vez sometidos a segregación y pretratamiento, el tamaño de la planta lo determina su carga orgánica que alimenta los tratamientos. Los valores de CAPEX y OPEX respectivos se indican en términos unitarios y totales.

Tabla 14-18. Identificación de Capacidad de Plantas de Tratamiento por Digestión Anaeróbica

Tecnología	Disponibilidad de RSDyA	Carga Orgánica	Capacidad de Planta	Valores unitarios		Valores totales		
	ton RSDyA/año	%	ton Org/año	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX de inversión depreciable
				M\$/ton Org/año	M\$/ton/año	M\$	M\$/año	M\$
Digestión Anaerobia	20.408	49	10.000	\$500	\$45	\$5.000.000	\$450.000	\$4.645.000
	51.020	49	25.000	\$300	\$30	\$7.500.000	\$750.000	\$6.967.500
	102.041	49	50.000	\$200	\$25	\$10.000.000	\$1.250.000	\$9.290.000
	153.061	49	75.000	\$150	\$24	\$11.250.000	\$1.800.000	\$10.451.250
	204.082	49	100.000	\$150	\$24	\$15.000.000	\$2.400.000	\$13.935.000
	255.102	49	125.000	\$135	\$24	\$16.875.000	\$3.000.000	\$15.676.875
	306.122	49	150.000	\$131	\$23	\$19.650.000	\$3.450.000	\$18.254.850

Fuente: Diseño Propio.

B. Identificación del Costo Unitario en el PEq

Se procede a definir la vida útil, establecido en esta evaluación en 20 años para el paquete de cada tecnología y asimismo se considera una tasa de descuento para poder anualizar el CAPEX (8,6%), lo que se expresa en M\$/año. En la evaluación para determinar el punto de equilibrio, se considera la suma del valor de CAPEX anualizado con el OPEX.

Tabla 14-19. Estimación del Egreso Anual de la tecnología de Digestión Anaerobia

Capacidad De Tratamiento de residuos	Vida útil	TASA	VALORES ANUALIZADOS		EGRESO ANUAL	COSTO TOTAL PUNTO EQUILIBRIO	
			CAPEX	OPEX		ORG	RSDyA
ton Org/año	años	%	M\$/año	M\$/año	MM\$/año	\$CLP/kg	\$CLP/kg
10.000	20	8,6	\$532.208	\$450.000	\$982	\$98	\$48
25.000	20	8,6	\$798.312	\$750.000	\$1.548	\$62	\$30
50.000	20	8,6	\$1.064.416	\$1.250.000	\$2.314	\$46	\$23
75.000	20	8,6	\$1.197.468	\$1.800.000	\$2.997	\$40	\$20
100.000	20	8,6	\$1.596.624	\$2.400.000	\$3.997	\$40	\$20
125.000	20	8,6	\$1.796.202	\$3.000.000	\$4.796	\$38	\$19
150.000	20	8,6	\$2.091.577	\$3.450.000	\$5.542	\$37	\$18

Fuente: Diseño Propio.

C. Valor Actual Neto (VAN)

Para estimar ingresos, se calcula la producción de energía eléctrica usando los factores de conversión que se informan en GTZ, 2007, bajo la consideración que esta energía se inyectará al sistema interconectado, recibiendo ingresos dados por el precio de nudo de la energía eléctrica, que se definió como 39,7 \$/kWh de acuerdo con información 2019 de la CNE (caso base). De esta forma se logra obtener un ingreso bruto por concepto de venta de energía. Los resultados muestran que la suma de Venta de Energía no es suficiente para hacer sustentable a la energía, por lo que se considera un ingreso igual al valor correspondiente al cobro por disposición que pagan los municipios (ingreso por tratamiento) y un ingreso adicional, que posee una magnitud que debe posteriormente reflejarse en una tarifa del servicio.

Tabla 14-20. Estimación de generación de energía

Capacidad De Tratamiento de residuos tonOrg/año	PRODUCCION ENERGIA			PRECIO NUDO	Ingresos
	m ³ Biogás/año	m ³ CH ₄ /año	Energía kWh	\$/kWh	\$/kg RSDyA
10.000	673.469	336.735	1.496.599	39,72	2,91
25.000	1.683.673	841.837	3.741.497	39,72	2,91
50.000	3.367.347	1.683.673	7.482.993	39,72	2,91
75.000	5.051.020	2.525.510	11.224.490	39,72	2,91
100.000	6.734.694	3.367.347	14.965.986	39,72	2,91
125.000	8.418.367	4.209.184	18.707.483	39,72	2,91
150.000	10.102.041	5.051.020	22.448.980	39,72	2,91

Fuente: Diseño Propio

Tabla 14-21. Estimación del Margen bruto de la planta de Digestión Anaerobia

Capacidad De Tratamiento de residuos tonOrg/año	Ingresos venta energía eléctrica \$/kg RSDyA tratado	Ingresos por tratamiento \$/kg RSDyA	Ingresos adicionales \$/kg RSDyA	Ingreso anual mm\$/año	Ingreso anual \$/kg RSDyA	Egreso anual \$/kgRSDyA	Margen bruto \$/kg RSDyA
10.000	\$2,91	\$12,2	\$21,0	\$737,00	\$36,11	\$22,05	\$14,06
25.000	\$2,91	\$12,2	\$21,0	\$1.842,49	\$36,11	\$14,70	\$21,41
50.000	\$2,91	\$12,2	\$21,0	\$3.684,98	\$36,11	\$12,25	\$23,86
75.000	\$2,91	\$12,2	\$21,0	\$5.527,47	\$36,11	\$11,76	\$24,35
100.000	\$2,91	\$12,2	\$21,0	\$7.369,96	\$36,11	\$11,76	\$24,35
125.000	\$2,91	\$12,2	\$21,0	\$9.212,45	\$36,11	\$11,76	\$24,35
150.000	\$2,91	\$12,2	\$21,0	\$11.054,94	\$36,11	\$11,27	\$24,84

Fuente: Diseño propio.

Tabla 14-22. Estimación del VAN de la planta de Digestión Anaerobia

Dep	EBIT	Impuesto	UTIL DESP IMP	FCL ANUAL	VP DEL FCL ANUAL	VP CAPEX	VAN
\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA
11,38	\$2,68	\$0,72	\$1,96	\$13,34	\$125,31	\$245,00	\$-119,69
6,83	\$14,58	\$3,94	\$10,65	\$17,47	\$164,17	\$147,00	\$17,17
4,55	\$19,31	\$5,21	\$14,10	\$18,65	\$175,20	\$98,00	\$77,20
3,41	\$20,94	\$5,65	\$15,29	\$18,70	\$175,68	\$73,50	\$102,18
3,41	\$20,94	\$5,65	\$15,29	\$18,70	\$175,68	\$73,50	\$102,18
3,07	\$21,28	\$5,75	\$15,53	\$18,61	\$174,81	\$66,15	\$108,66
2,98	\$21,86	\$5,90	\$15,96	\$18,94	\$177,94	\$64,19	\$113,75

Fuente: Diseño propio.

D. Resultados del Análisis Económico

El análisis del caso base de la tecnología de Digestión Anaerobia considera el precio de venta en nudo de 39,7 \$/kWh, el punto de equilibrio, la tasa de descuento que hace el VAN igual a 0 en las diferentes capacidades de la planta y los Ingresos por tratamiento de residuos por cada tamaño que hacen el VAN igual a 0.

El procedimiento empleado se puede sensibilizar con respecto a parámetros que resultan ser críticos, en este caso, se analiza el precio de venta de la energía (40, 60 y 90 USD/MWh).

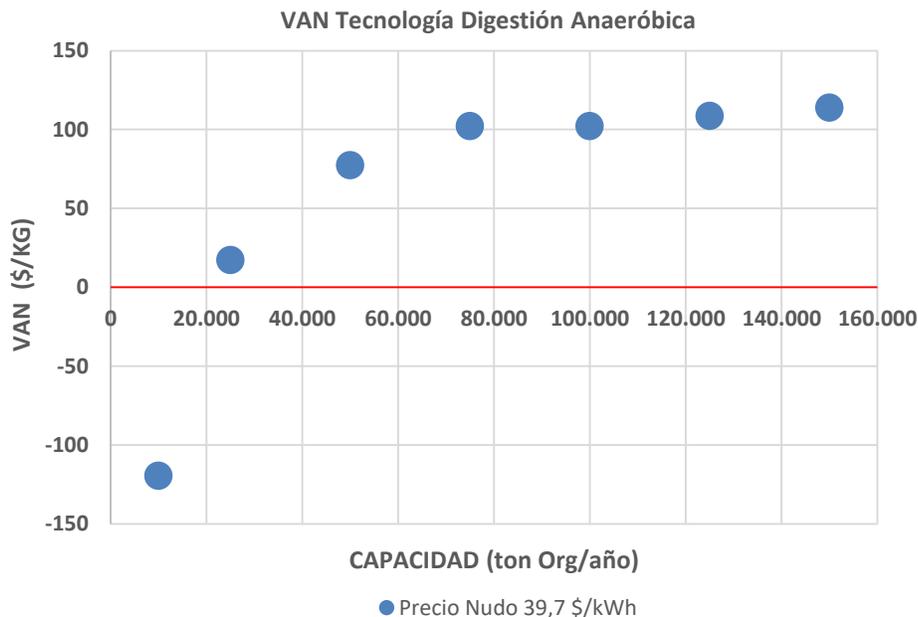


Figura 14-27. VAN de plantas de Digestión Anaerobia Macrozona Norte.

Fuente: Diseño Propio

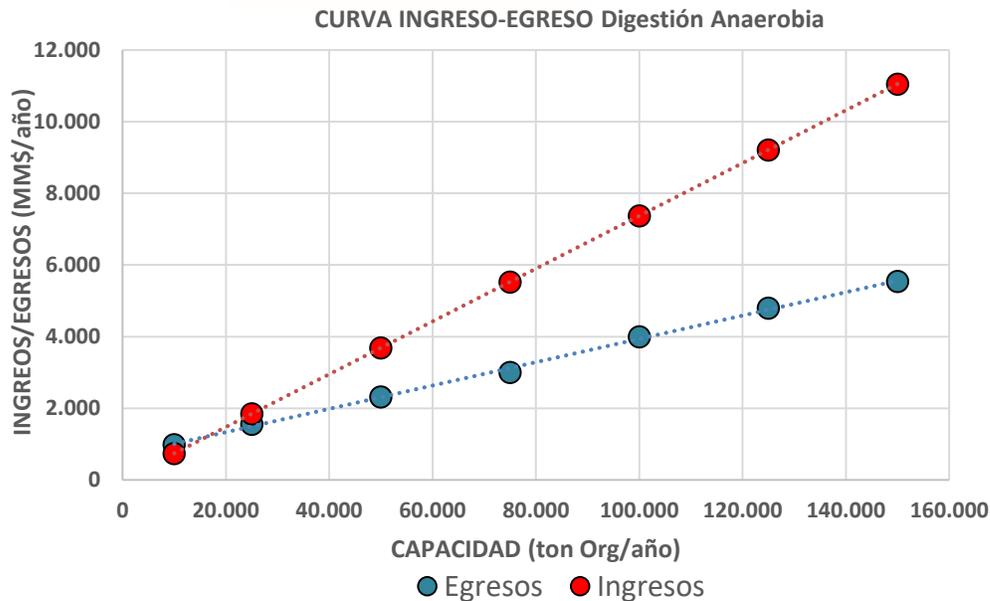


Figura 14-28. Punto de Equilibrio Macrozona Norte

Fuente: Diseño propio.

En la Figura 14-27, se puede apreciar que para una planta de Digestión Anaerobia que posee una capacidad de tratamiento de materia orgánica cercana a 25.000 ton/año, se puede obtener un VAN positivo. Para una planta con capacidad cercana a las 25.000 ton/año de materia orgánica, se tiene una TIR mayor a la tasa de descuento aplicada para esta tecnología (8,6%).

Tabla 14-23. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Digestión Anaerobia, Macrozona norte.

Capacidad De Tratamiento de residuos	TIR
ton Org/año	%
10.000	0,82
25.000	10,18
50.000	18,38
75.000	25,16
100.000	25,16
125.000	27,92
150.000	29,33

Fuente: diseño propio.

Todas las regiones que componen a la Macrozona Norte poseen una generación de materia orgánica superior a las 25.000 ton/año, por lo que técnicamente se puede aplicar en diferentes regiones, teniendo la precaución que en caso de emplearse esta tecnología para generación de energía en una zona saturada de emisiones de

material particulado, se debe realizar las compensaciones correspondientes. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

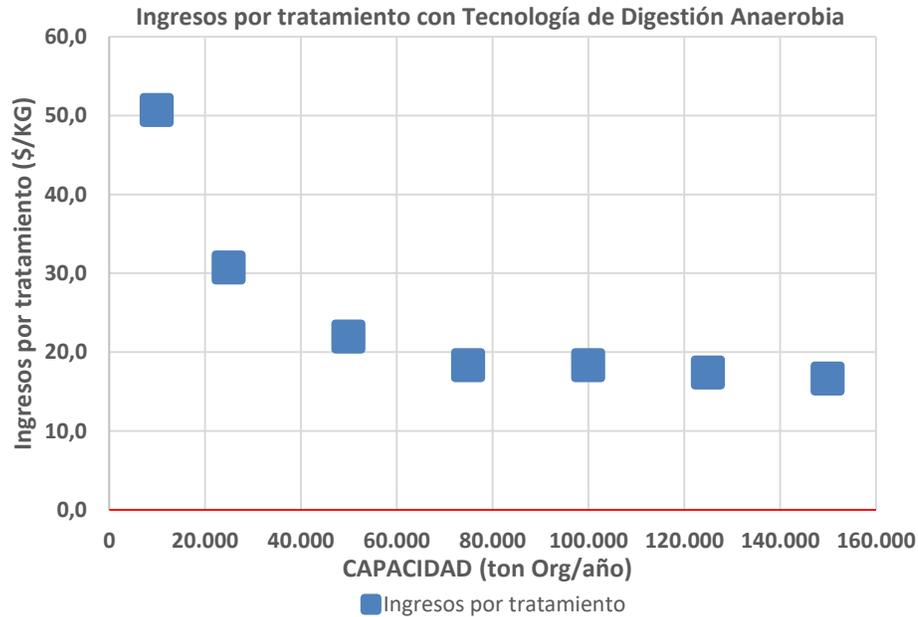


Figura 14-29. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de Digestión Anaerobia, Macrozona Norte.
Fuente: Diseño propio que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Como se puede apreciar en la Figura 14-29, a medida que incrementa la capacidad de planta, disminuye el cobro que se tiene que hacer por el uso de la tecnología, obedeciendo un comportamiento de economía de escala.

Región de Arica y Parinacota: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Arica. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 72.602 ton/año de residuos orgánicos y el cobro de disposición es de 2.830 \$/ton de RSDyA. Se puede trabajar entre comunas para disminuir el cobro, pero no logrará ser menor al cobro actual.

Si solo se trabaja en la Comuna de Arica, el cobro es cercano a 18,3 \$/kg. La diferencia entre el cobro actual por disposición y el cobro por tratamiento se puede cubrir por un subsidio del estado mayor o igual a 15,5 \$/kg.

Región de Tarapacá: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Iquique. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 59.976 ton Org/año de residuos orgánicos y el cobro de disposición es de 18.295 \$/ton de RSDyA. Para la disponibilidad total de residuos, no se puede ofrecer un cobro por disposición inferior al actual. Se puede trabajar con otras comunas para disponer de un mayor volumen de materia orgánica y ofrecer un precio menor.

En caso de que solo se implemente en la Comuna de Iquique, el cobro es cercano a 21,9 \$/kg. La diferencia entre el cobro actual por disposición y el cobro por tratamiento se puede cubrir por un subsidio del estado mayor o igual a 3,6 \$/kg.

Región de Antofagasta: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Antofagasta. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 65.315 ton Org/año de residuos orgánicos y un cobro por disposición de 7.273 \$/ton. No se puede ofrecer un servicio con un cobro inferior al actual, pero con trabajos intercomunales se puede disponer de un mayor volumen de residuos que permita disminuir el cobro. Adicionalmente, se puede fomentar el uso de la tecnología con la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento.

Región de Atacama: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Copiapó, con una generación de 25.487 ton Org/año de residuos y que tienen un cobro de disposición de 19.560 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos en la Comuna, se puede ofrecer un cobro de tratamiento semejante a 30,7 \$/kg. Para disminuir el cobro de disposición, se puede considerar el trabajo intercomunal.

Si la alternativa solo se implementa en Copiapó, la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento puede ser cubierto por un subsidio del estado mayor o igual a 11,1 \$/kg.

Región de Coquimbo: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Coquimbo, con una generación de residuos de 34.623 ton Org/año y que tiene un cobro de disposición de 10.000 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos orgánicos, no se puede ofrecer un cobro inferior al que actualmente tiene. Para fomentar el uso de la tecnología, la diferencia entre el cobro de disposición y el cobro por tratamiento puede ser cubierto por un subsidio de parte del estado.

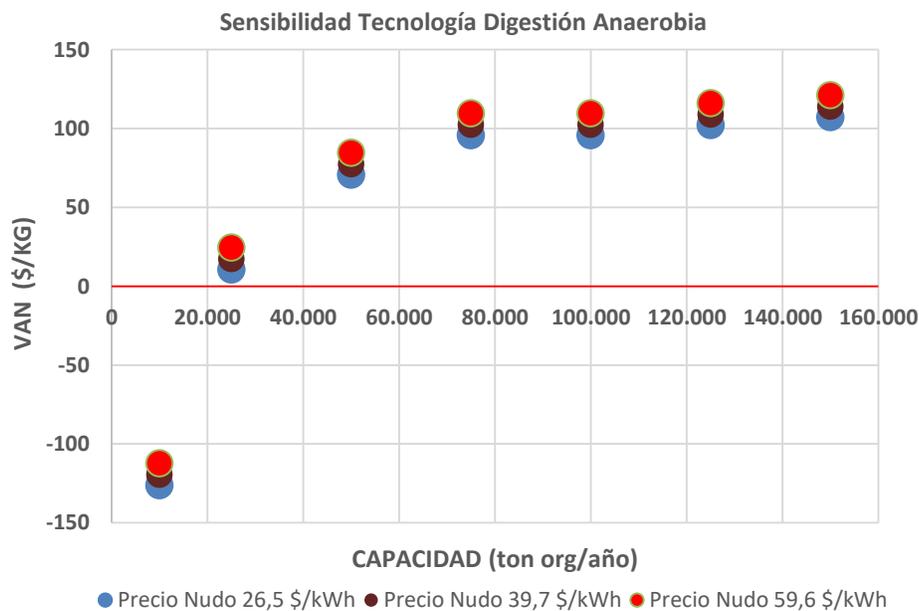


Figura 14-30. Sensibilidad de plantas de Digestión Anaerobia de la Macrozona Norte. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh.

Fuente: Diseño propio.

En la Figura 14-30 se puede apreciar la variación del VAN para los diferentes precios de venta en nudo. Como se puede apreciar de la gráfica, para esta tecnología no se observa un gran efecto por la variación de precios.

14.3.2 Macrozona Centro

De forma similar al caso presentado para la Macrozona Norte, se elaboraron las curvas de Valor Actual Neto, punto de equilibrio, TIR e ingreso por tratamiento que hacen el VAN igual a 0 en la Macrozona Centro. Posteriormente se realizó una sensibilización del precio venta en nudo.

Las gráficas respectivas se muestran a continuación.

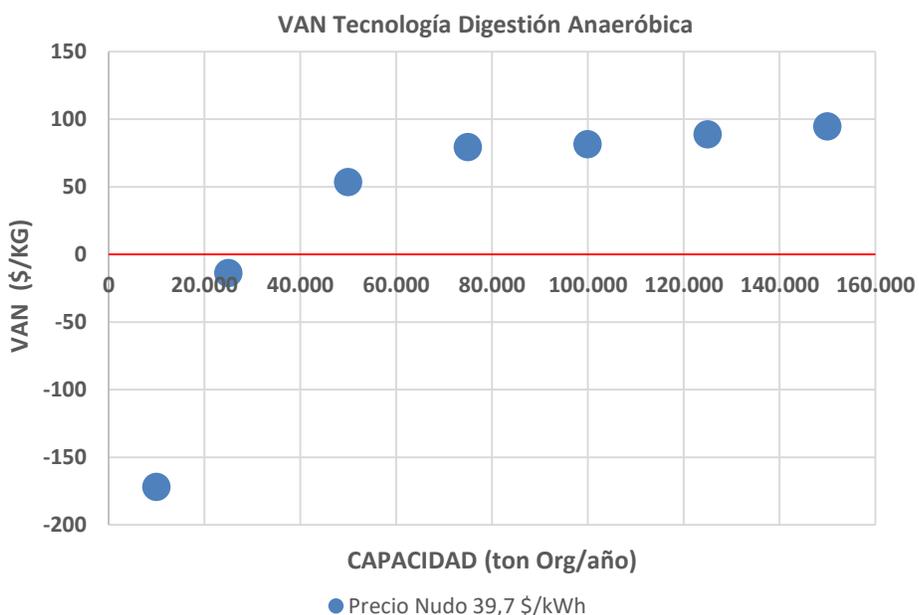


Figura 14-31. VAN de plantas de Digestión Anaerobia Macrozona Centro

Fuente: Diseño propio

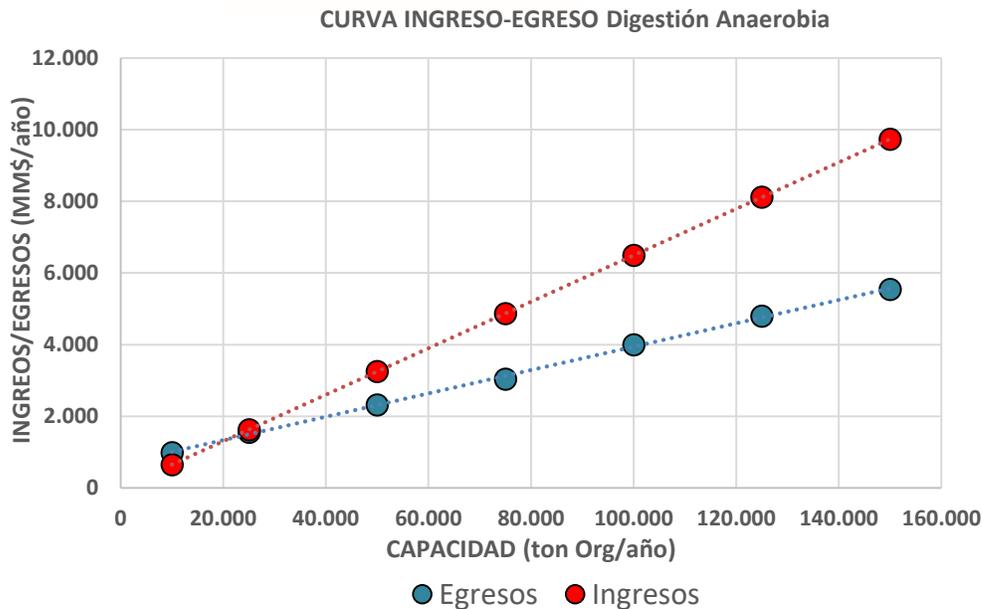


Figura 14-32. Punto de Equilibrio Macrozona Centro

Fuente: Diseño propio.

Para la Macrozona Centro, tal como se presenta en la Figura 14-31, el punto de paso entre VAN negativo a VAN positivo se encuentra superior a una capacidad de tratamiento de 25.000 ton Org/año. Para una planta con capacidad de tratamiento superior a 25.000 ton/año, se obtiene una TIR mayor a la tasa de descuento aplicada para esta tecnología (8,6%).

Tabla 14-24. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Digestión Anaerobia, Macrozona Centro.

Capacidad De Tratamiento de residuos ton Org/año	TIR %
10.000	-2,07
25.000	7,43
50.000	14,83
75.000	20,09
100.000	20,68
125.000	23,02
150.000	24,3

Fuente: diseño propio.

Esta tecnología se puede aplicar en todas las regiones que componen la Macrozona Centro, pues todas poseen una disponibilidad de residuos superior a 25.000 ton Org/año. Cabe notar que su implementación puede estar limitada con respecto a las zonas saturadas de emisión de material particulado. En caso de implementar en esa

localidad, se requiere realizar las compensaciones correspondientes. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

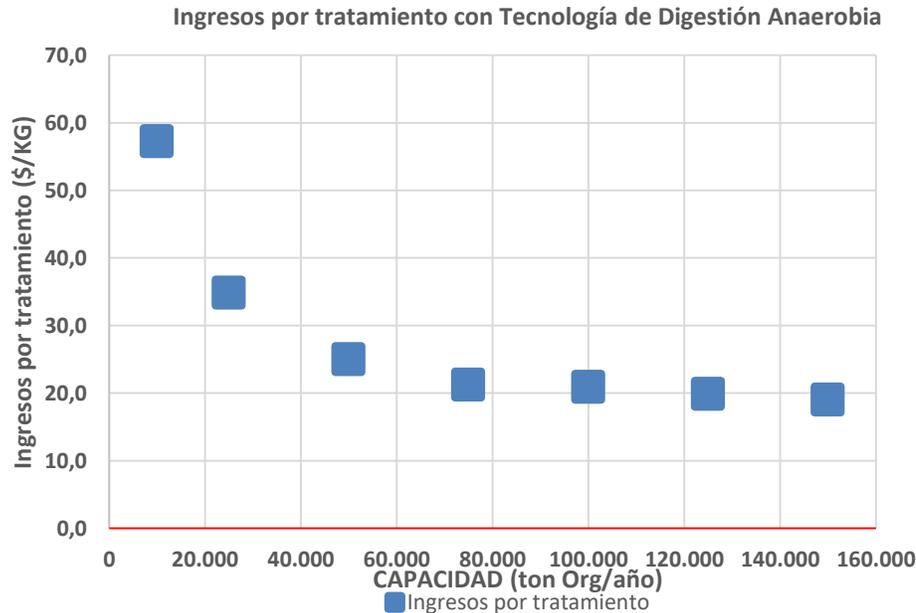


Figura 14-33. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de Digestión Anaerobia, Macrozona Centro.
Fuente: Diseño propio que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Como se puede apreciar en la Figura 14-33, los Ingresos por tratamiento anualizados se pueden disminuir, a medida que incrementa la capacidad de la planta. Debido a un incremento en la composición de materia orgánica, se puede apreciar un aumento del cobro que se requiere realizar, en comparación con la Macrozona Norte.

Región de Valparaíso: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Viña del Mar, pero de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona se encuentra saturada en MP_{2,5} y MP₁₀. De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes, de acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 105.996 ton/año de residuos orgánicos y el cobro de disposición de 7.000 \$/ton. Para la disponibilidad de residuos en esa comuna, no se puede entregar una solución con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal y la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro de disposición y el cobro por tratamiento.

Otra alternativa es considerar la segunda Comuna con mayor generación, correspondiente a Valparaíso. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 95.746 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 6.000 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos orgánicos, se puede entregar una alternativa que tenga un cobro cercano a 21,2 \$/kg, que no es inferior al actual. Se puede considerar el trabajo intercomunal entre las comunas de Valparaíso y Viña del Mar para disminuir el cobro.

En caso de solo implementar la solución en la Comuna de Valparaíso, la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento se puede cubrir por un subsidio del estado mayor o igual a 15,2 \$/kg.

Región Metropolitana de Santiago: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Puente Alto, pero de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona se encuentra saturada en MP_{2,5} y MP₁₀. De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes, de acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 125.950 ton/año de residuos orgánicos y el cobro de disposición es de 10.475 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, se puede ofrecer un servicio con un cobro superior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal y la implementación de un subsidio.

Otra alternativa es considerar la Comuna de Maipú, pues de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona no se encuentra saturada en MP₁₀ y MP_{2,5}. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 102.222 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 8.930 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro cercano a 20,9 \$/kg.

En caso de considerar la implementación por separado en la Comuna de Puente Alto y Maipú, la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento puede ser cubierta por un subsidio del estado, que puede ser mayor o igual a 9,33 \$/kg y mayor o igual a 11,97 \$/kg, respectivamente.

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Rancagua, pero de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona se encuentra saturada en MP_{2,5} y MP₁₀. De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes, de acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 47.463 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 7.737 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, no se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro inferior al actual (el cobro es cercano a 25 \$/kg). Se puede considerar trabajos intercomunales, pero no se podrá ofrecer un precio inferior al cobro de disposición en la Comuna.

Otra alternativa es considerar la Comuna de Pichilemu. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 12.054 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de 7.267 \$/ton. De implementarse la solución, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual.

En caso de considerar la implementación por separado en la Comuna de Rancagua y Pichilemu, la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento puede ser cubierta por un subsidio del estado, que puede ser mayor o igual a 17,3 \$/kg y mayor o igual a 49,93 \$/kg, respectivamente.

Región del Maule: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la comuna de Talca. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 57.919 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 5.400 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, no se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro inferior. Alternativamente, se puede trabajar entre comunas para bajar el precio.

La diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento puede ser cubierto por un subsidio del estado de mayor o igual a 19,6 \$/kg.

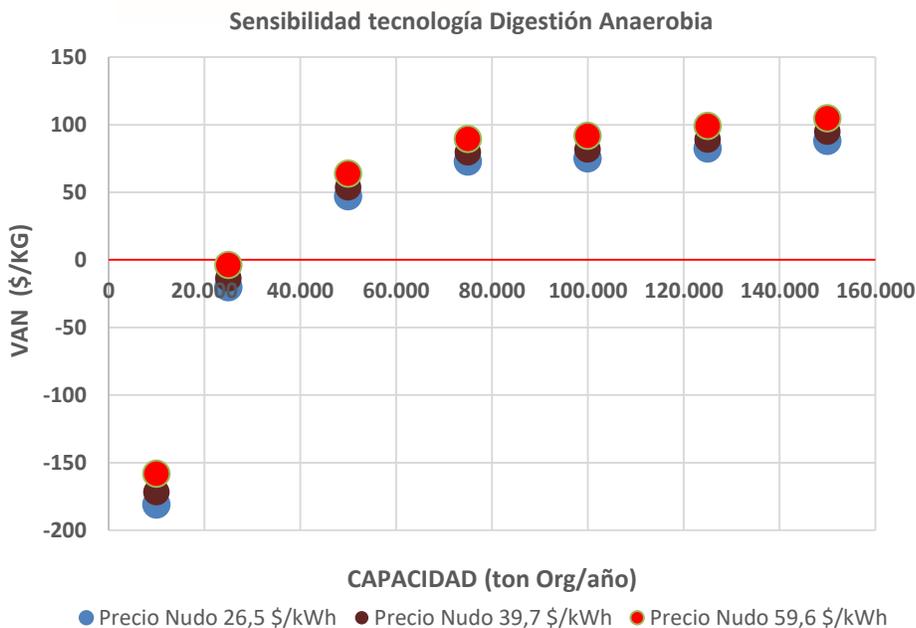


Figura 14-34. Sensibilidad de las plantas de Digestión Anaerobia de la Macrozona Centro. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh.

Fuente: diseño propio.

En la Figura 14-34 se puede apreciar la variación del VAN para los diferentes precios de venta en nudo. Como se puede apreciar de la gráfica, para esta tecnología no se observa un gran efecto por variación de precios.

14.3.3 Macrozona Sur

De forma similar al caso presentado para la Macrozona Norte, se elaboraron las curvas de Valor Actual Neto, punto de equilibrio, TIR e Ingresos por tratamiento que hacen el VAN igual a 0 en la Macrozona Sur. Posteriormente, se realizó una sensibilización de los precios de venta de energía.

Las gráficas desarrolladas se presentan a continuación.

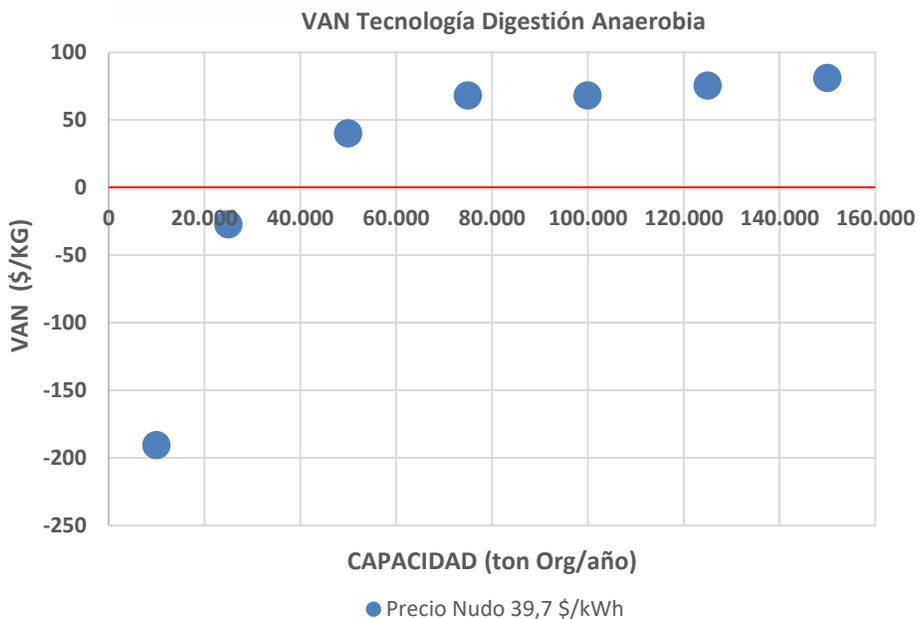


Figura 14-35. VAN de plantas de Digestión Anaerobia Macrozona Sur
Fuente: Diseño propio

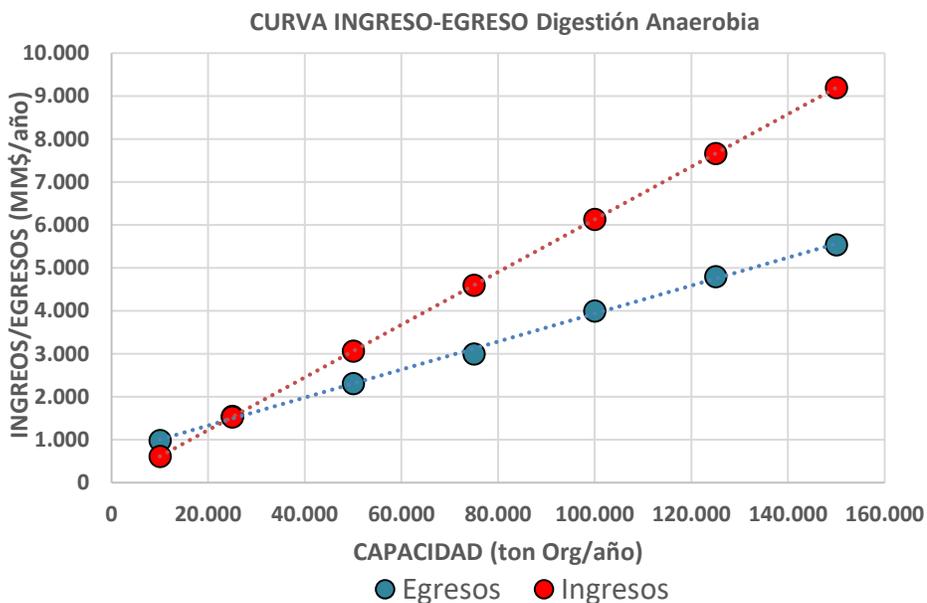


Figura 14-36. Punto de Equilibrio Macrozona Sur
Fuente: Diseño propio.

Para la Macrozona Sur, tal como se aprecia en la Figura 14-35, el punto de paso de VAN negativo a VAN positivo se encuentra superior a las 25.000 ton/año, tal como se observó en la Macrozona Centro. Para una

planta con capacidad de tratamiento superior a 25.000 ton/año, se obtiene una TIR mayor a la tasa de descuento aplicada para esta tecnología (8,6%).

Tabla 14-25. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Digestión Anaerobia, Macrozona Sur.

Capacidad De Tratamiento de residuos	TIR
ton Org/año	%
10.000	-3,77
25.000	6,21
50.000	13,31
75.000	18,78
100.000	18,78
125.000	20,94
150.000	22,18

Fuente: diseño propio.

Esta tecnología se puede aplicar en la mayoría de las regiones, pues disponen más de 25.000 ton Org/año, que pueden ser tratados por Digestión Anaerobia. En la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y la Región de Magallanes y la Antártica, poseen una disponibilidad inferior al punto de quiebre para obtener VAN positivo en las condiciones establecidas, por lo que se puede implementar la tecnología a menor escala, tomando en consideración cobros superiores a lo establecido en el análisis del VAN. Cabe notar que su implementación puede estar limitada con respecto a las zonas saturadas de emisión de material particulado. En caso de implementar en esa localidad, se deberá realizar las compensaciones correspondientes. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

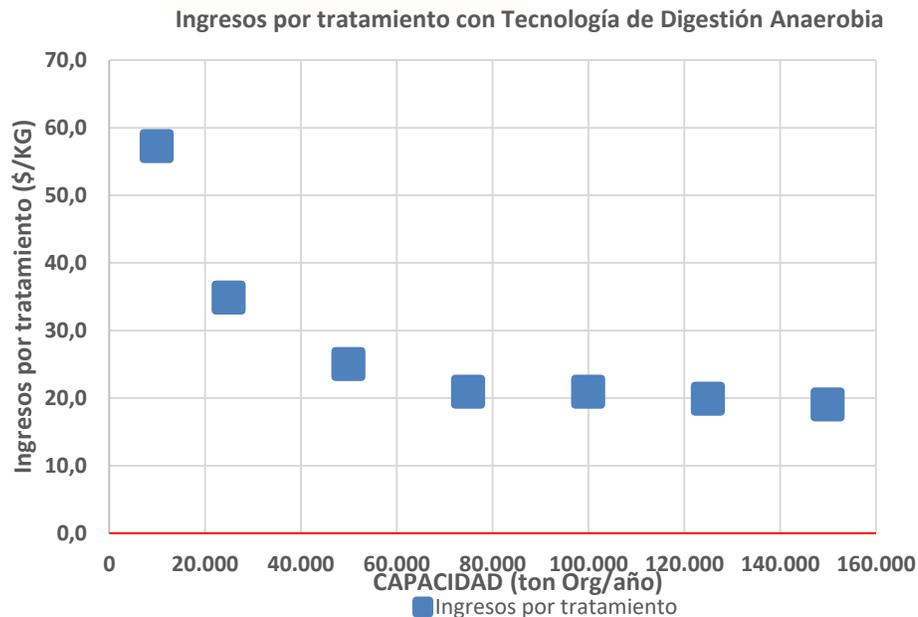


Figura 14-37. Ingresos por tratamiento anualizados para la tecnología de Digestión Anaerobia, Macrozona Sur.
Fuente: Diseño propio que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Los ingresos por tratamiento que se presentan en la Figura 14-37, son similares a los obtenidos en la Macrozona Centro, disminuyendo a medida que incrementa la capacidad de la planta, obedeciendo el comportamiento de economía de escala.

Las regiones que conforman esta Macrozona poseen suficientes residuos como para promover un proyecto de digestión anaeróbica. En todos los casos se deberá prestar atención a las normativas ambientales que limiten emisiones, como es el caso de Chillán que tiene su *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, zona se encuentra saturada en MP_{2,5} y MP₁₀.

Región del Biobío: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Concepción. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere –SGS SIGA, posee una disponibilidad de 50.860 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 10.800 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, no se puede ofrecer una alternativa de tratamiento con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal y la implementación de un subsidio para fomentar el uso de la tecnología.

Región del Ñuble: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Chillán, pero de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona se encuentra saturada en MP_{2,5} y MP₁₀. De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes, de acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere –SGS SIGA, posee una disponibilidad de 44.107 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 8.300 \$/ton. Se puede considerar trabajo entre comunas, para bajar el cobro a uno inferior.

Otra alternativa es considerar la segunda Comuna con mayor generación, correspondiente a San Carlos. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere –SGS SIGA, posee una disponibilidad de 10.395 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 14.684 \$/ton. Con la disponibilidad actual de residuos, se puede realizar un cobro cercano a 57,2 \$/kg. Se debe considerar un trabajo intercomunal para disminuir el cobro.

En caso de considerar la implementación de la tecnología en la Comuna de Chillán y Comuna de San Carlos, la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento puede ser cubierto por un subsidio del estado, que puede ser mayor a 16,7 y mayor o igual a 42,5 \$/kg, respectivamente.

Por su parte en la Región de la Araucanía, el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Temuco. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere –SGS SIGA, poseen una disponibilidad de 85.200 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 12.000 \$/ton. Actualmente, para la disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer un cobro de disposición inferior. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio, para fomentar el uso de la tecnología.

La diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento se puede cubrir por un subsidio del estado, que puede ser igual o mayor a 8,9 \$/kg.

Región de Los Ríos: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Valdivia, pero de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona se encuentra saturada en MP_{2,5} y MP₁₀. De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes, de acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 52.887 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 5.500 \$/ton. De acuerdo a la disponibilidad total de residuos, se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro cercano a 25 \$/kg, superior al actual. Se puede considerar un trabajo intercomunal para disminuir el cobro.

Otra alternativa es considerar la segunda Comuna que corresponde a Unión. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., poseen una disponibilidad de 4.702 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de 3.500 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, se puede ofrecer una alternativa con un cobro cercano a 57,2 \$/kg. Se puede considerar trabajo intercomunal para disminuir el cobro.

Si se implementa la tecnología en la Comuna de Valdivia y Comuna Unión, la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento puede ser cubierto por un subsidio del estado, que puede ser mayor o igual a 19,5 \$/kg y mayor o igual a 53,7 \$/kg.

Región de Los Lagos: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Osorno, pero de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona se encuentra saturada en MP_{2,5} y MP₁₀. De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes, de acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 58.372 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de disposición de 3.126 \$/ton. De acuerdo a la disponibilidad total de residuos, se puede implementar una alternativa que ofrece un cobro cercano a 25 \$/kg. Se puede considerar trabajos intercomunales para disminuir al cobro.

Otra alternativa es considerar la segunda Comuna con mayor generación, correspondiente a Puerto Montt. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 43.832 ton/año de

residuos orgánicos y un cobro de disposición de 6.666 \$/ton. De acuerdo a la disponibilidad total, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual.

Si se implementa la tecnología en la Comuna de Osorno y en la Comuna de Puerto Montt, la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento puede ser cubierto por un subsidio del estado, que puede ser mayor o igual a 21,9 \$/kg y de 18,3 \$/kg respectivamente.

Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Coyhaique, pero de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona se encuentra saturada en MP₁₀. De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes, De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes, de acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 14.144 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de 13.195 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, el cobro de disposición no puede ser inferior al actual.

Otra alternativa es considerar la segunda Comuna con mayor generación, correspondiente a Aysén. De acuerdo a datos del Diagnóstico y Catastro RS 2017, Subdere., posee una disponibilidad de 7.020 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de 7.930 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, no se puede ofrecer un cobro inferior al actual, aun si se realizan trabajos intercomunales.

Si se implementa la tecnología en la Comuna de Coyhaique y Comuna de Aysén, la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento puede ser cubierto por un subsidio del estado, que puede ser mayor o igual a 44 \$/kg y mayor o igual a 49,27 \$/kg.

Región de Magallanes y la Antártica: el mayor generador en la región corresponde a la Comuna de Punta Arenas, con disponibilidad de 15.942 ton/año de residuos orgánicos y un cobro de 13.317 \$/ton. Para la disponibilidad total de residuos, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. La diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento puede ser cubierta por un subsidio del estado que puede ser mayor o igual a 43,88 \$/kg.

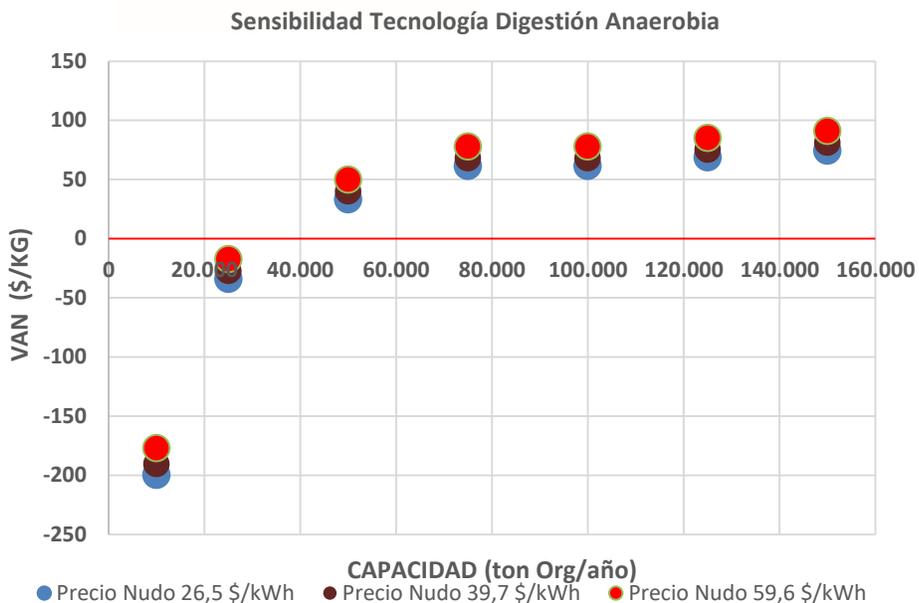


Figura 14-38. Sensibilidad de las plantas de Digestión Anaerobia de la Macrozona Sur. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh.

Fuente: diseño propio.

En la Figura 14-38 se puede apreciar la variación del VAN para los diferentes precios de venta en nudo. Como se puede apreciar de la gráfica, para esta tecnología no se observa un gran efecto por variación de precios.

14.4 Tecnologías de Procesos Térmicos

Para realizar este análisis, se ha considerado que la única tecnología posible de ser desarrollada es la de incineración en parrilla, criterio que fue asumido por el estudio elaborado para la RM de Waste to Energy. Esto se debe a varias razones, una de ellas es que la Gasificación y aún más la Pirólisis, poseen un campo de aplicación enfocado a la industria forestal y química, aun cuando hay casos de plantas de tratamiento de RSDyA. Se reserva la consideración de uso de estas tecnologías tras mayores estudios de aplicación a nivel nacional, tal es el caso del proyecto FIC-R 2017 GasBas actualmente en ejecución (BIP-40004872).

En una primera aproximación a tecnologías térmicas, cabe concentrarse en la incineración de la cual se dispone de amplia información de plantas existentes a nivel mundial. Los diferentes tamaños de planta, CAPEX y OPEX que se presentan en esta sección, fueron obtenidos de diferentes fuentes bibliográficas. Cabe señalar que, al ser fuentes de información bibliográfica, para determinar aquellos ítems que no son depreciables, se empleó información obtenida de Peters and Timmerhaus, 2003 y Stantec, 2011, que consideran que un 2,1% de las inversiones corresponden a terreno y un 5% a mejoramiento de suelo.

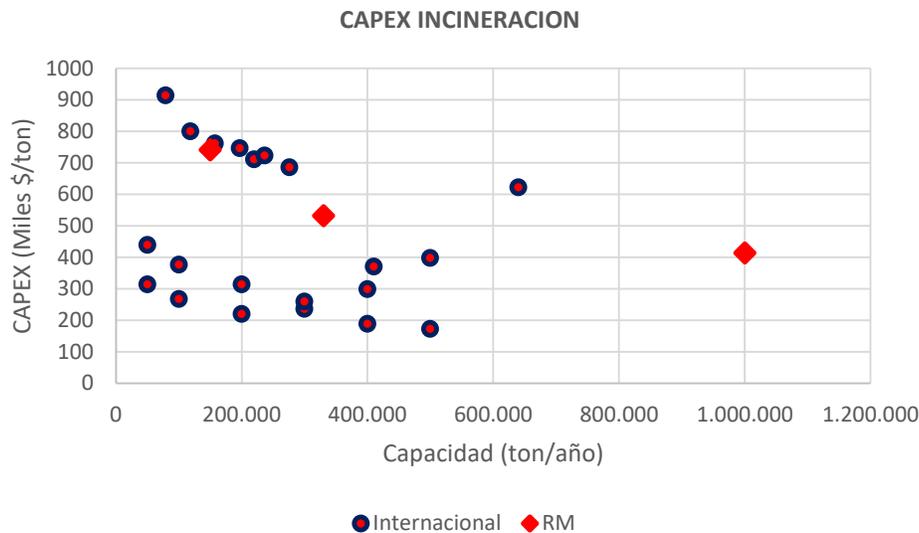


Figura 14-39. CAPEX de la tecnología de Incineración. Ecuación: $CAPEX = -206,3 \cdot \ln(\text{Capacidad}) + 3220,8$.
Fuente: Elaboración propia basada en WSP, 2013; SLR, 2008; Stantec, 2011; Ministerio de Energía y Gobierno Regional Metropolitano, 2018.

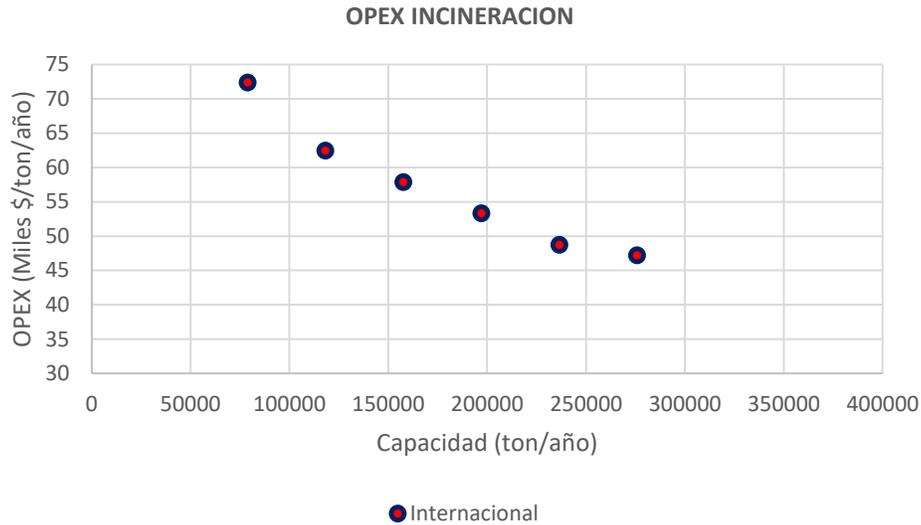


Figura 14-40. OPEX de la tecnología de Incineración. Ecuación: $OPEX = -20,18 \cdot \ln(\text{Capacidad}) + 298,96$.
Fuente: Elaboración propia basada en WSP, 2013; SLR, 2008; Stantec, 2011; Ministerio de Energía y Gobierno Regional Metropolitano, 2018.

De acuerdo con el triángulo de Tanner, es posible localizar los puntos que corresponden a la humedad y carga orgánica de los residuos en cada región y revisar si están en zona factible de implementación. Para una estimación más precisa del PCI se utiliza la siguiente expresión propuesta por Themelis et al (2013):

$$PCI \text{ (MJ/kg)} = 18,5(\% \text{orgánicos} + \% \text{papel y cartón} + \% \text{plásticos}) - 2,6\% \text{Humedad} - 0,6\% \text{Vidrio} - 0,5\% \text{Metal}$$

Al aplicar a las regiones estudiadas, se obtiene la siguiente Tabla 14-26:

Tabla 14-26.: PCI de Procesos Térmicos por Región representante de Macrozona.

Región	Porcentaje RSDyA combustible	Humedad %	PCI MJ/kg húm
TARAPACA	79,4	35	13,8
VALPARAISO	87,3	51	14,8
LOS LAGOS	74,0	66	no factible
Factibilidad	>25	< 50	

Fuente: Diseño propio

En los valores asignados a Valparaíso, se corrigió la carga orgánica informada en el estudio SUBDERE de 70,2%, ya que no coincide con otras fuentes de información. Cabe destacar que se analizó las características técnicas de la región de Los Lagos (carga orgánica y humedad), y se determinó que no es factible la implementación de la tecnología de incineración.

Sobre estos valores cabe mencionar que, para la RM, el estudio Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana, Ministerio de Energía – Elaborado por Poyry y EBP (2018), se utilizó 3,01 kWh/kg (10,94 MJ/kg) lo que es compatible con el diagrama de Tanner y la ecuación de Themilis (2013). En este estudio se estimó el PCI usando valores por categoría de residuo, y con la composición se calculó la media ponderada del PCI, con humedades en el rango 54% a 59%.

14.4.1 Macrozona Norte

A. Identificar Tamaños y Costos de Plantas de Incineración

Se estiman diferentes tamaños de plantas que se ajusten a la disponibilidad de RSDyA en la Macrozona, considerando la estimación de CAPEX y OPEX con las ecuaciones presentadas para sus gráficos correspondientes. En las respectivas gráficas, el tamaño está definido en función de toneladas anuales de residuos, sin embargo, una vez sometidos a segregación y pretratamiento, el tamaño de planta lo determina su carga orgánica que alimenta los tratamientos. Los valores CAPEX y OPEX respectivos se indican en términos unitarios y totales.

Tabla 14-27 . Identificación de Capacidad de Plantas de Tratamiento por Incineración

Tecnología				Valores unitarios		Valores totales		
	Disponibilidad de RSDyA	Carga	Capacidad Planta	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX de inversiones depreciables
	ton RSDyA/año	%	ton/año	M\$/ton/año	M\$/ton/año	M\$	M\$/año	M\$/año
Incineración	125.945	79,4	100.000	845,68	66,63	84.568.348	6.662.916	78.563.995
	188.917	79,4	150000	762,03	58,44	114.305.404	8.767.032	106.189.720
	251.889	79,4	200000	702,68	52,641	140.537.443	10.528.291	130.559.284
	314.861	79,4	250000	656,65	48,14	164.163.175	12.034.604	152.507.589
	377.834	79,4	300000	619,04	44,46	185.711.928	13.337.750	172.526.382
	440.806	79,4	350000	587,24	41,35	205.533.467	14.471.943	190.940.591

Fuente: Diseño propio

B. Identificación del Egreso Anual

Se procede a definir la vida útil, establecido en esta evaluación en 20 años para el paquete de cada tecnología y asimismo se considera una tasa de descuento para poder anualizar el CAPEX (8,6%), lo que se expresa en M\$/año. En la evaluación no se puede determinar el punto de equilibrio, pues no se igualan los ingresos y egresos.

Tabla 14-28. Estimación del Egreso Anual de la tecnología de Incineración

Capacidad De Tratamiento de residuos	Vida útil	Tasa	Valores anualizados		Egreso anual
			CAPEX	OPEX	
ton/año	años	%	M\$/año	M\$/año	MM\$/año
100.000	20	8,6	\$9.001.590	\$6.662.916	\$15.665
150.000	20	8,6	\$12.166.850	\$8.767.032	\$20.934
200.000	20	8,6	\$14.959.030	\$10.528.291	\$25.487
250.000	20	8,6	\$17.473.791	\$12.034.604	\$29.508
300.000	20	8,6	\$19.767.475	\$13.337.750	\$33.105
350.000	20	8,6	\$21.877.311	\$14.471.943	\$36.349

Fuente: Diseño Propio

C. Valor Actual Neto (VAN).

Se procede a estimar la energía posible de ser generada, para ello se usa una eficiencia del 30% (promedio del rango) que permite obtener la energía eléctrica que sería suministrada a la red del sistema interconectado a precio de nudo (caso base). Las Tabla 14-29, Tabla 14-30, Tabla 14-31 se resumen estos cálculos.

Tabla 14-29. Estimación de generación de energía

Capacidad De Tratamiento de residuos	Producción energía					Precio nudo
	MJ/kg	kWh/kg	kWh/año	Eficiencia	kWh/año	
ton/año						\$/kWh
100.000	13,8	3,8	482.787.573	30	144.836.272	59,58
150.000	13,8	3,8	724.181.360	30	217.254.408	59,58
200.000	13,8	3,8	965.575.147	30	289.672.544	59,58
250.000	13,8	3,8	1.206.968.934	30	362.090.680	59,58
300.000	13,8	3,8	1.448.362.720	30	434.508.816	59,58
350.000	13,8	3,8	1.689.756.507	30	506.926.952	59,58

Fuente: Diseño Propio

Tabla 14-30. Estimación del Margen bruto de la planta de Incineración

Capacidad De Tratamiento de residuos	Ingresos venta energía eléctrica	Ingresos por tratamiento	Ingresos adicionales	Ingreso anual	Ingreso anual	Egreso anual	Margen bruto
ton/año	\$/kg	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	mm\$/año	\$/kg RSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kg RSDyA
100.000	\$68,5	\$12,2	\$21,0	\$12.811	\$101,7	\$52,9	\$48,8
150.000	\$68,5	\$12,2	\$21,0	\$19.216	\$101,7	\$46,4	\$55,3
200.000	\$68,5	\$12,2	\$21,0	\$25.621	\$101,7	\$41,8	\$59,9
250.000	\$68,5	\$12,2	\$21,0	\$32.027	\$101,7	\$38,2	\$63,5
300.000	\$68,5	\$12,2	\$21,0	\$38.432	\$101,7	\$35,3	\$66,4
350.000	\$68,5	\$12,2	\$21,0	\$44.837	\$101,7	\$32,8	\$68,9

Fuente: Diseño Propio

Tabla 14-31. Estimación del VAN de la planta de Incineración

Dep	EBIT	Impuesto	UTIL DESP IMP	FCL ANUAL	VP DEL FCL ANUAL	VP CAPEX	VAN
\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA	\$/kgRSDyA
31,2	\$17,6	\$4,8	\$12,9	\$44,1	\$414	\$671	\$-258
28,1	\$27,2	\$7,3	\$19,9	\$48,0	\$451	\$605	\$-154
25,9	\$34,0	\$9,2	\$24,8	\$50,7	\$477	\$558	\$-81
24,2	\$39,3	\$10,6	\$28,7	\$52,9	\$497	\$521	\$-24
22,8	\$43,6	\$11,8	\$31,8	\$54,6	\$513	\$492	\$22
21,7	\$47,2	\$12,8	\$34,5	\$56,1	\$527	\$466	\$61

Fuente: Diseño Propio

D. Resultados del Análisis Económico

El análisis del caso base de la tecnología de Incineración considera el precio de venta en nudo de 59,6 \$/kWh atendiendo a que menores precios hacen infactible el proyecto, salvo que exista un aporte adicional al tratamiento que es relativamente alto, tal como se analiza a continuación para las regiones de la Macrozona Norte.

Considerando el precio de energía de 59,6 \$/kWh se obtiene la gráfica siguiente que muestra que el VAN positivo se alcanza para tamaños sobre 260.000 ton/año, lo que obliga a definir ingresos adicionales si se desea

instalar estas tecnologías en la Macrozona Norte, ya que la disponibilidad de residuos está abajo del tamaño mínimo rentable.

El procedimiento empleado para sensibilizar con respecto a parámetros críticos considera el precio de venta de la energía eléctrica (40, 60 y 90 USD/MWh) y el análisis del ingreso por tratamiento de la tecnología de incineración que hace el VAN igual a 0, para la variación de precios de venta de energía y diferentes tamaños de planta

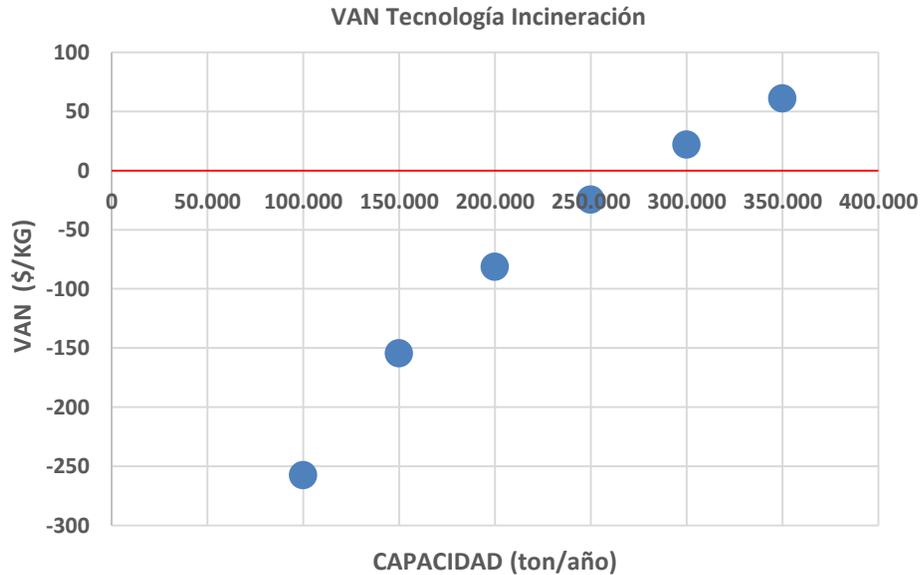


Figura 14-41. VN de plantas de Incineración Macrozona Norte.

Fuente: Diseño Propio

Tabla 14-32. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Incineración, Macrozona Norte.

Capacidad De Tratamiento de residuos	TIR
ton/año	%
100.000	2,65
150.000	4,77
200.000	6,44
250.000	7,85
300.000	9,11
350.000	10,27

Fuente: diseño propio.

El VAN positivo y la TIR respectiva a cada tamaño de planta se logra solo con un precio de la energía eléctrica de 59,6 \$/kWh. Con otros precios menores, el VAN para estas capacidades de planta resulta negativo como se aprecia en la Figura 14-42 siguiente.

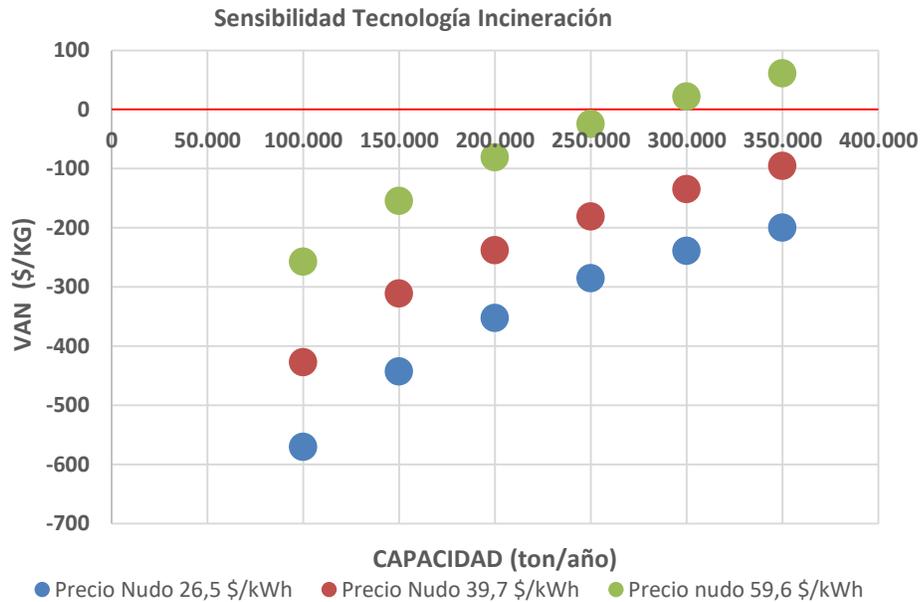


Figura 14-42. Sensibilidad de plantas de Incineración de la Macrozona Norte. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh.
Fuente: diseño propio.

Como se puede apreciar de la Figura 15-42, bajo las condiciones establecidas, solo en el mayor precio de nudo se pueden obtener escenarios positivos para el uso de la tecnología de Incineración. Por ello, se analizó el comportamiento del cobro que se debe realizar en caso de que haya variaciones de precio. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

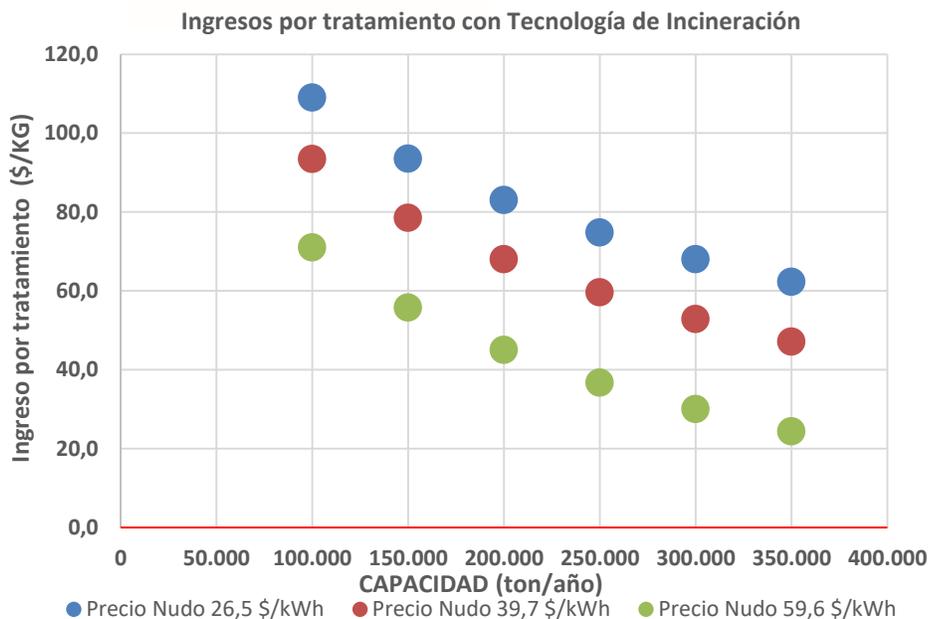


Figura 14-43. Ingresos por tratamiento de residuos por Incineración, a diferentes precios nudo (26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh).
Fuente: Diseño propio que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Para lograr rentabilidad positiva se requiere tener cobros mayores a los previamente establecidos y considerar que en las localidades que se implemente, no deben encontrarse saturadas en material particulado, siempre considerando un precio de nudo de 59,6 \$/kWh, se tendrían las siguientes situaciones por región:

Región de Arica y Parinacota: una planta de incineración tendría una capacidad cercana a 100.000 ton/año, sin embargo, su implementación requiere de un ingreso adicional a la venta de energía eléctrica del orden de 71 \$/kg, una cantidad relativamente alta.

Región de Tarapacá: similar a Arica y Parinacota con una planta de incineración que tendría una capacidad cercana a 100.000 ton/año, sin embargo, su implementación requiere de un ingreso adicional a la venta de energía eléctrica del orden de 71 \$/kg, una cantidad relativamente alta.

Región de Antofagasta: una planta de incineración tendría una capacidad cercana a 180.000 ton/año, sin embargo, su implementación requiere de un ingreso adicional a la venta de energía eléctrica del orden de 50 \$/kg.

Región de Atacama: la disponibilidad de residuos está en un nivel más bajo que lo recomendado para esta tecnología.

Región de Coquimbo: como la región que genera más residuos en la Macrozona Norte podría alcanzar a una planta de 250.000 ton/año, con mayor economía de escala, lo que requiere un aporte adicional vía tarifas de 36,7 \$/kWh.

14.4.2 Macrozona Centro

Tal como se procedió en la Macrozona Norte, se analizó el caso base de la tecnología de Incineración, el cual considera el precio de venta en nudo de 59,6 \$/kWh y la TIR. El procedimiento empleado para sensibilizar con respecto a parámetros críticos considera el precio de venta (40, 60 y 90 USD/MWh) y el análisis del ingreso por tratamiento de la tecnología de incineración que hace el VAN igual a 0, para la variación de precios de venta de energía y diferentes tamaños de planta.

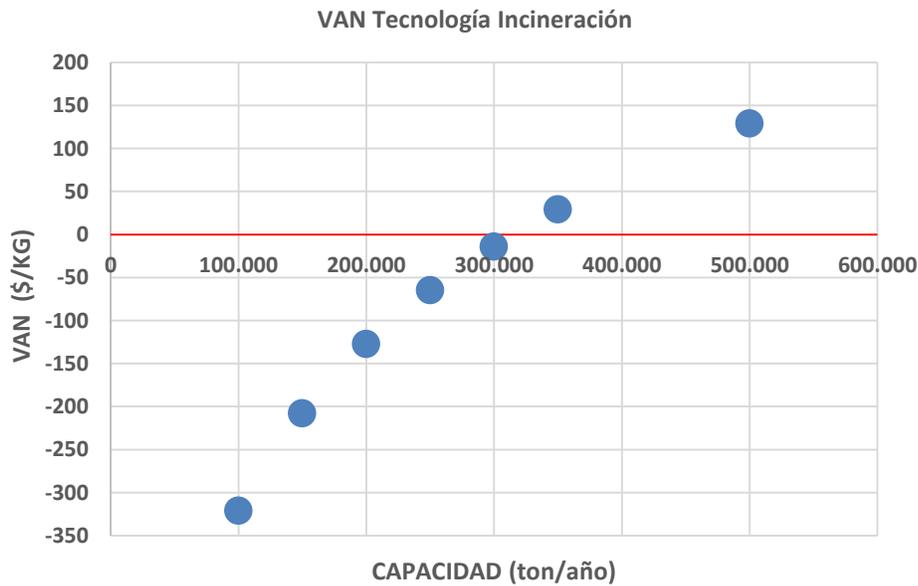


Figura 14-44. VAN de plantas de Incineración Macrozona Centro.

Fuente: diseño propio.

Tabla 14-33. TIR para las diferentes capacidades de tratamiento de residuos por Incineración, Macrozona Centro.

Capacidad De Tratamiento de residuos	TIR
ton/año	%
100.000	1,2
150.000	3,26
200.000	4,8
250.000	6,3
300.000	7,5
350.000	8,6
500.000	11,6

Fuente: diseño propio.

Como se puede apreciar para las condiciones establecidas en la gráfica del VAN y los datos de la TIR, no se obtiene un VAN positivo en el rango analizado y los valores de VAN son algo menores que los de la Macrozona Norte para capacidades similares. La principal diferencia que explica esta situación, es que la mayor humedad de los residuos.

Para poder analizar el comportamiento de la tecnología de Incineración en la Macrozona Centro, se analiza la sensibilidad a la variación de precios de venta de energía.

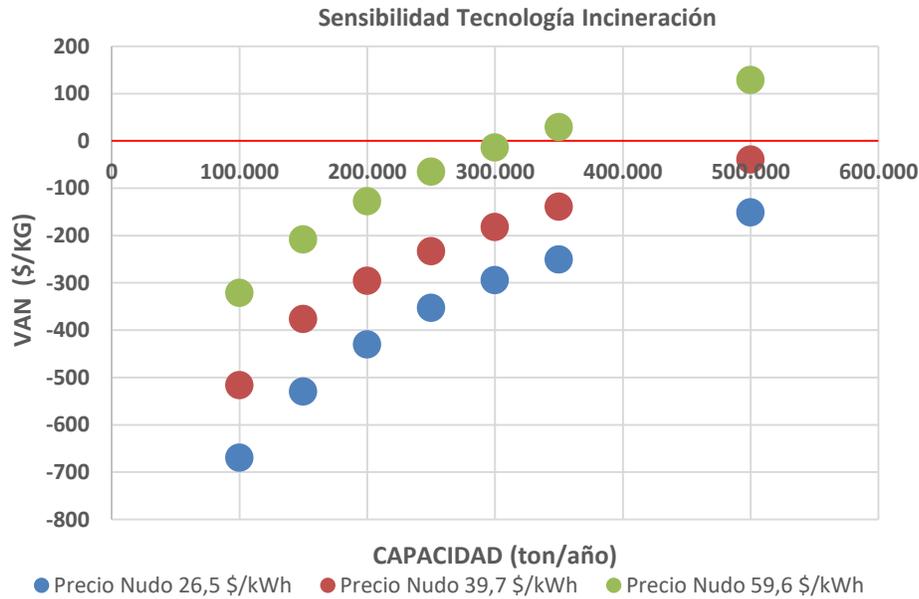


Figura 14-45. Sensibilidad de plantas de Incineración de la Macrozona Centro. Precio nudo de 26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh

Fuente: diseño propio.

Como se puede apreciar de la Figura 15-45, bajo las condiciones establecidas, hay una gran variación del VAN entre los diferentes precio de venta en nudo, y el VAN llega a pasar de negativo a positivo solo al mayor precio de venta en nudo, a diferencia de la Macrozona Norte. A continuación, se procedió a analizar el comportamiento del cobro que se debe realizar, en caso de que haya variaciones de precio en nudo. A continuación, se presenta un análisis del cobro por tratamiento que permite hacer el VAN igual a 0.

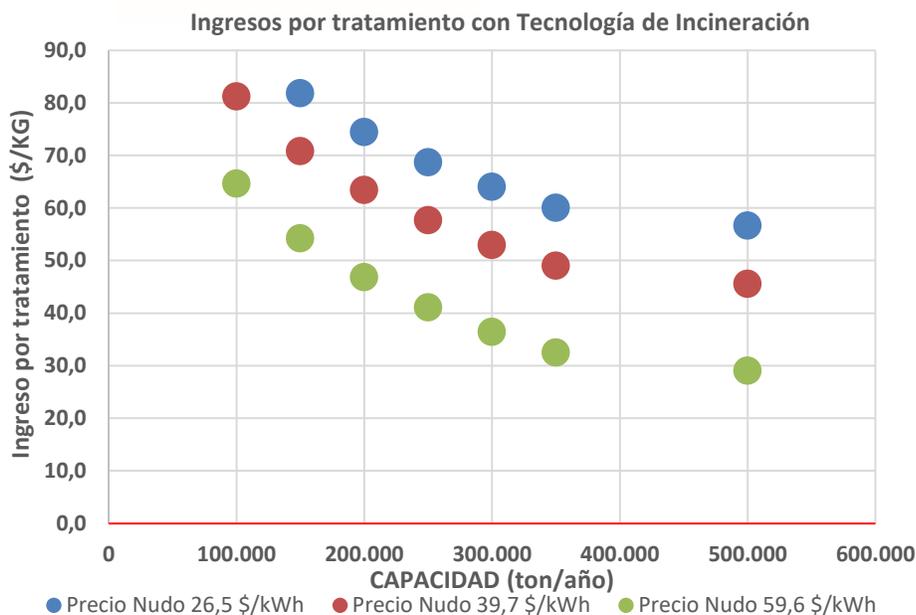


Figura 14-46. Ingresos por tratamiento de residuos por Incineración, a diferentes precios nudo (26,5, 39,7 y 59,6 \$/kWh)
Fuente: Diseño propio que permite entregar los ingresos que hacen el VAN igual a 0.

Como se puede apreciar de la gráfica, la viabilidad está condicionada por el precio de venta. Para poder ser sustentable en la Macrozona Centro, se requiere que el precio de la energía eléctrica sea del orden de 59,6 \$/kWh, la variable más crítica para la factibilidad.

Se debe tener consideración en la implementación de esta tecnología que hay comunas que se han identificado como saturadas en MP. En caso de implementar la tecnología en esa localidad, se requiere considerar las compensaciones pertinentes.

Región de Valparaíso: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la Comuna de Viña del Mar, pero de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona se encuentra saturada en MP_{2,5} y MP₁₀. De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes, de acuerdo la incineración es factible a precios que no pueden ser inferiores a 54,2 \$/kg. Las comunas de Valparaíso y Viña del Mar son las más atractivas para desarrollar esta tecnología.

Región Metropolitana de Santiago: por la alta generación de RSDyA, es la región que potencialmente puede implementar grandes proyectos, lográndose la economía de escala que la incineración requiere. El tamaño de una planta sobre 300.000 ton/año es factible técnica y económicamente. En todo caso la planta debe incluir las medidas de control ambiental de emisiones, atendiendo a la localización de la planta.

Región del Libertador General Bernardo O’Higgins: el mayor generador de residuos en la región corresponde a la comuna de Rancagua, pero de acuerdo al *Plan de Descontaminación Atmosférica – Estrategia 2014 al 2018* del Ministerio de Medio Ambiente, esta zona se encuentra saturada en MP_{2,5} y MP₁₀. De implementarse en esta comuna y realizar las compensaciones correspondientes. Es posible definir plantas

sobre 100.000 ton/año, tamaño que se estima técnica y económicamente factible, pero con bastante menos economía de escala que las plantas grandes.

Región del Maule tiene suficiente generación de residuos en la ciudad de Talca, pero al igual que O'Higgins el tamaño de planta sería cercanos a 100.000 ton/año, que es el nivel inferior de las instalaciones comerciales, con escasa economía de escala.

Si bien se considera que la mayor humedad de los RSDyA es un factor que afecta negativamente la generación de energía eléctrica a partir de la incineración, debe considerarse que cada región requiere estudios específicos, donde cabe tomar en cuenta la disponibilidad de residuos, la facilidad de terreno para la localización y en especial los costos asociados de transporte. Posiblemente en la Región de Concepción por su mayor población sea factible la incineración, con valores muy cercanos al caso de Valparaíso y/o O'Higgins.

Otro factor que permite mejorar la rentabilidad de la incineración es incluir la cogeneración de energía térmica y eléctrica. En el análisis que se ha realizado se ha considerado como ingreso directo la energía eléctrica, sin embargo, se ha agregado un ingreso adicional que se relaciona con estas otras opciones, incluyendo servicios complementarios. La evaluación de un proyecto de incineración requiere que la localización este bien definida atendiendo al hecho que la energía térmica debe ser vendida en su entorno inmediato, situación que no puede ser prevista sin esta información.

15 FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Los principales fondos públicos nacionales disponibles corresponden a los detallados en la Ley de Presupuestos desarrollada por el DIPRES. En la partida del Ministerio del Interior y Seguridad Pública – Gobiernos Regionales, Subtítulo 9, Aporte Fiscal, se identifica al Fondo Nacional de Desarrollo Regional, el cual es el principal instrumento mediante el cual los gobiernos regionales pueden transferir recursos fiscales. El segundo fondo público de mayor importancia proviene del Ministerio de Medio Ambiente, del Fondo para el reciclaje.

Los fondos nacionales están distribuidos en el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), el fondo Programa de Mejoramiento de Barrios (PMB) de la Subsecretaría de Desarrollo Regional, el Fondo para el Reciclaje que pertenece al Ministerio de Medio Ambiente y el Programa Chile-Canadá. Adicionalmente, se incluye el Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS).

Los fondos internacionales disponibles corresponden a los del *International Finance Corporation* (IFC) y el Banco Interamericano del Desarrollo (BID). También se pueden destacar fondos verdes como los disponibles en la *Private Financing Advisory Network*.

15.1 Fondo Nacional de Desarrollo Regional

Los informes anuales de Finanzas Públicas del Proyecto de Ley de Presupuestos del Sector Público que desarrolla el DIPRES, presenta el presupuesto asignado del FNDR a los Gobiernos Regionales. De acuerdo a la Ley de Presupuestos 2019, en su partida del Ministerio del Interior y Seguridad Pública – Gobiernos Regionales, Subtítulo 9, Aporte Fiscal se identifica que el 90% de los fondos disponibles en el FNDR, se pueden emplear en Programas de Inversión Regional y el 10% restante, que se encuentra disponible en la Provisión Fondo Nacional de Desarrollo Regional, se emplea para eficiencia y emergencia.

El Programa de Inversión Regional posee una disponibilidad de 470 mil millones de pesos y un fondo para eficiencia y emergencia de 52 mil millones de pesos.

Para solicitar los fondos, se requiere la formulación de proyectos, que involucra la evaluación por el Sistema Nacional de Inversiones (SNI) y seguimiento por parte de diferentes organizaciones gubernamentales, dentro de las cuales se puede destacar: el seguimiento por parte de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, y las evaluaciones realizadas por el Seremi de Desarrollo Social y el Seremi de Medio Ambiente.

De acuerdo a la Glosa 8 de la Ley de Presupuestos 2019 desarrollada por el DIPRES, la cartera de proyectos financiada con cargo a los programas de inversión de los Gobiernos Regionales debe ser publicada mensualmente, informando semestralmente a una comisión mixta y en la plataforma de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, sobre los avances de ejecución del proyecto.

A continuación, se presentan las Tabla 15-1 y Tabla 15-2 resumen, con el presupuesto destinado a Programas de Inversión Regional, de acuerdo a lo descrito previamente.

Tabla 15-1. Tabla resumen de fondos provenientes del FNDR, destinados para los Programas de Inversión Regional parte 1.

		AyP	TPCA	ANTOF	ATCMA	COQ	VALPO	RM
Presupuesto Destinado (Millones de pesos)		\$14.549	\$17.181	\$22.738	\$18.902	\$28.435	\$34.076	\$55.648
Subtotal 1 (Millones de pesos)								\$191.529

Fuente: Proyecto de Ley de Presupuestos Año 2019, DIPRES. Partida del Ministerio del Interior y Seguridad Pública – Gobiernos Regionales, Subtítulo 9. El nombre de las regiones esta abreviado de acuerdo a la abreviatura legal establecida en la Circular 61/2018 del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

Tabla 15-2. Tabla resumen de fondos provenientes del FNDR, destinados para los Programas de Inversión Regional parte 2.

	LGBO	MAULE	BBIO	ARAUC	LAGOS	AYSEN	MAG	RIOS	NUBLE
Presupuesto Destinado (Millones de pesos)	\$29.784	\$41.786	\$34.372	\$48.428	\$35.811	\$20.542	\$22.385	\$21.821	\$23.621
Subtotal 2 (Millones de pesos)									\$278.55

Fuente: Proyecto de Ley de Presupuestos Año 2019, DIPRES. Partida del Ministerio del Interior y Seguridad Pública – Gobiernos Regionales, Subtítulo 9. El nombre de las regiones esta abreviado de acuerdo a la abreviatura legal establecida en la Circular 61/2018 del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

15.2 Programa de Mejoramiento de Barrios

El Ministerio del Interior y Seguridad Pública, ha incrementado el presupuesto que ha sido destinado para su operación y la de los diferentes programas que lo conforman (ver Figura 15-1).

Presupuesto del Ministerio del Interior y Seguridad Pública

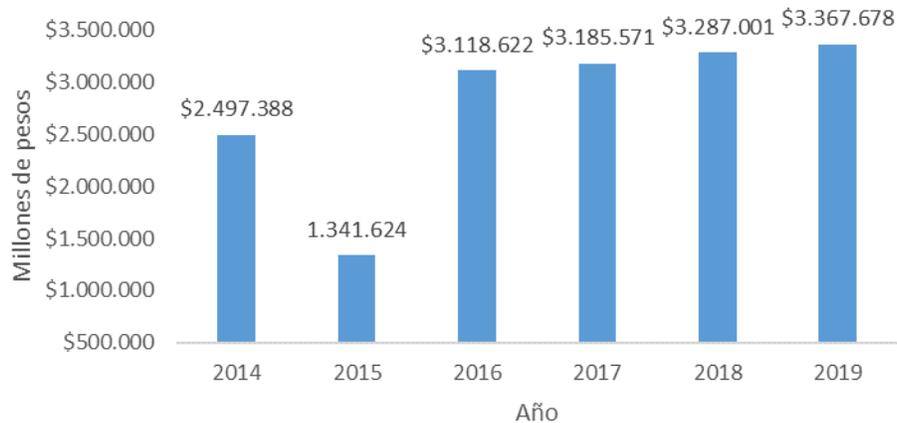


Figura 15-1. Presupuesto anual del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.
Fuente: Informe de Finanzas Públicas del Proyecto de Ley de Presupuestos, años 2014 al 2019.

La Subsecretaría de Desarrollo Regional pertenece al Ministerio del Interior y Seguridad Pública, y en el año 2019 le fue destinado un presupuesto anual de \$79,290 mil millones de pesos, para el trabajo con los municipios en diferentes iniciativas.

El programa es administrado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo en la división de Municipalidades y los Gobiernos Regionales. Se opera bajo la modalidad de transferencia de capital y a través del FNDR.

Del presupuesto disponible de la Subdere, destinado para el trabajo con Municipios, se destinó 27,03 mil millones de pesos para el Programa de Mejoramiento de Barrios. El programa abarca proyectos en Municipios de acuerdo a las necesidades, con el objetivo de financiar obras de inversión para ampliar la cobertura de agua potable, alcantarillado y/o infraestructura sanitaria para la población, incluyendo a los residuos sólidos. Los criterios de evaluación de proyectos se encuentran establecidos en la Resolución Exento N°: 5973/2019.

La distribución del programa se separa en dos líneas, correspondientes a PMB común y PMB IRAL o tradicional. El 50% de los recursos disponibles para proyectos nuevos, debe ser distribuido a regiones de acuerdo a: población regional, índice de pobreza, índice de saneamiento de agua potable y alcantarillado, y por la tipología de obras disponibles en la plataforma de Subdere.

Los Consejos Regionales deben resolver la distribución de recursos en las comunas en base a la propuesta realizada por el intendente, a través de un Consejo Regional. El acuerdo debe ser enviado a la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, y debe incluir la identificación de las comunas definidas y el monto de los recursos solicitados.

15.3 Fondo para el Reciclaje

El fondo para el reciclaje es un instrumento del Ministerio del Medio Ambiente, que nace como mecanismo para apoyar a la Ley REP y promover hábitos sustentables en el manejo de los residuos. Como tal, este fondo inicio su llamado el año 2018, continuando el año 2019 con un incremento de los fondos disponibles. Este fondo está destinado para poder ser usado por Municipalidades y Asociaciones de Municipalidades.

Las principales líneas para los fondos son: *sensibilización ciudadana para prevenir la generación de residuos y fomentar la separación en origen, reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización* y la línea *promoción del conocimiento técnico municipal y de recicladores de base para prevenir la generación de residuos y fomentar la separación en origen, recolección selectiva, reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización*.

De acuerdo a la convocatoria 2019, se establecieron estas prioridades y fondos:

- **Pilotear modelos de recolección selectiva y/o transporte de residuos domiciliarios y asimilables a domiciliarios para envases y embalajes:** permite el financiamiento de proyectos desde 135.000.000 pesos a 162.000.000 pesos. El 10% restante debe ser cofinanciado por la Municipalidad o Asociación de Municipalidades.
- **Certificación de competencias de los Recicladores de Base:** permite el financiamiento de proyectos de hasta 10.000.000 pesos. El 10% restante debe ser cofinanciado por la Municipalidad o Asociación de Municipalidades.

15.4 Programa Chile-Canadá

Mediante el acuerdo de París (COP 21), se acordó combatir el cambio climático, acelerando e intensificando medidas que permita las acciones e inversiones requeridas para obtener emisiones de carbono bajas.

Como tal, el programa Chile Canadá tiene una duración de 4 años (2017 al 2021), en el cual se destina un fondo de 7 millones de dólares canadienses, para impulsar medidas de inversión en tecnologías de tratamiento de residuos y asistencias técnicas, para promover la implementación de tecnologías innovadoras y la reducción del metano que proviene de los rellenos sanitarios.

Bajo este programa, se promueve principalmente las tecnologías de tratamiento de residuos, mediante el compostaje y la digestión anaerobia, con la posibilidad de trabajar en la captura de gas provenientes de rellenos sanitarios.

15.5 Programa Nacional de Residuos Sólidos - PNRS

El PNRS es un programa de inversión pública que le pertenece a la Unidad Nacional de Residuos Sólidos (UNRS) de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, cuyo propósito es mejorar las condiciones de salubridad y calidad ambiental de los centros urbanos y rurales del país, mediante la implementación de sistemas integrales y sustentables en el manejo eficiente de los residuos sólidos domiciliarios.

El programa trabaja con la *Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables* del Ministerio de Desarrollo social y la Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales.

En la Ley de Presupuestos 2019, Glosa 8, partida 5, programa 5 de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, Transferencias a Gobiernos Regionales, se identifica que los fondos disponibles para el PNRS corresponden a 4,931 mil millones de pesos.

De acuerdo a la Provisión de Programas de Residuos Sólidos, se identifica la siguiente distribución para Regiones, de acuerdo a la Ley de Presupuestos 2019:

Tabla 15-3. Presupuesto identificado para programas de inversión de los Gobiernos Regionales, según Glosa 8

	Gobierno Regional		
	Atacama	Araucanía	Ñuble
Presupuesto a ser aplicado de acuerdo a la glosa 8, del programa 5 de la Subdere - PNRS (millones de pesos).	\$300	\$522	\$241

Fuente: Ley de Presupuestos 2019.

Debido al costo de obras para el tratamiento y disposición de residuos, las soluciones propuestas deben considerar asociatividad entre Municipios y ajustarse a la singularidad de cada territorio. Las inversiones, adquisiciones y servicios se deben enmarcar respecto a: Apoyo a la gestión local, prevención y valorización de residuos, transporte y disposición de residuos sólidos domiciliarios y asimilables, y administración y supervisión.

15.6 Fondo Verde para el clima

Es parte de un mecanismo financiero de las Naciones Unidas dirigido hacia el cambio climático, financiando proyectos y programas de mitigación y/o adaptación, que provienen del sector público o privado. Este fondo tiene como meta movilizar 100 mil millones de dólares al año 2020 (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

El fondo prioriza 8 áreas de intervención, de las cuales, *la generación y acceso a la energía baja en emisiones* es la que más se puede ajustar a este tipo de tecnologías.

El fondo pone a disposición de los países, una variedad de instrumentos financieros, los que pueden ser implementados a través de agencias acreditadas, en modalidad de donaciones, préstamos, garantías financieras y participación de capital. Dentro de las principales fuentes, se puede mencionar a los recursos provenientes del Fondo de Inversión del Clima (GCF), de las Naciones Unidas.

Actualmente se está desarrollando una “Plataforma Chilena de Inversión verde” con PYMES. El programa de la plataforma considera contar con instrumentos de financiamiento verdes (incentivos financieros y no financieros), y asistencias técnicas para acelerar la generación de los proyectos de PYMES, por parte de la Agencia de Sustentabilidad de Cambio climático. Actualmente, se consideran dos nichos del tratamiento de los residuos orgánicos, los cuales corresponden a la industria de crianza de cerdos y de la fruta procesada (Innovación, 2019).

15.7 Créditos de la International Finance Corporation (IFC)

La IFC es una institución respaldada por el Banco Mundial. Se encarga de apoyar al sector privado en mercados emergentes, en sectores identificados como prioridades. En su informe *Climate Investment Opportunities in Emerging Markets* (2016), los potenciales identificados para América Latina y el Caribe, identifica el potencial de inversión para energías renovables (eólica, solar, biomasa, geotérmica e hidroeléctricas), eficiencia energética industrial, construcción, transporte y gestión de residuos. En la gestión de residuos, el potencial de inversión identificado corresponde a 26 mil millones de dólares.

La modalidad de operación de esta entidad, es a partir de préstamos, préstamos sindicados, capital accionario, financiamiento estructurado, financiamiento en moneda nacional y financiamiento para el comercio, que se entrega para que las empresas crezcan, gestionen los riesgos asociados a sus proyectos y amplíen su acceso a los mercados de capitales nacionales e internacionales (IFC en América Latina y el Caribe, 2018).

Este tipo de fondos se puede considerar dentro de las opciones con las cuales se pueden financiar proyectos de tratamiento de residuos, operando con una alianza del sector privado y público, en el cual el sector privado solicita los fondos y el sector público apoya en la gestión y solicitud de fondos.

15.8 Banco Interamericano del Desarrollo (BID)

El Banco Interamericano del Desarrollo apoya a diferentes sectores identificados como prioridades para mejorar la calidad de vida en América Latina y el Caribe, englobando la mejora de salud, educación y la infraestructura a través del apoyo financiero y técnico de los países.

Dentro de las diferentes categorías apoyadas por el BID, se identifica que los proyectos de tratamiento de residuos se encuentran dentro del Sector Desarrollo Urbano y Vivienda. De acuerdo al portafolio activo del sector, a la fecha, hay un monto aprobado de 90 millones de dólares para proyectos de Desarrollo y vivienda urbanos en Chile.

El Banco Interamericano de Desarrollo cuenta con tres categorías de financiamiento para el sector público, acorde a los objetivos de desarrollo, elegibilidad y requisitos de desembolso de los préstamos. Dentro de las categorías de préstamo se puede identificar: préstamos de inversión, préstamos de apoyo a reformas de política y préstamos de financiamiento especial para el desarrollo.

15.9 Private Financing Advisory Network (PFAN)

PFAN corresponde a una red que se conforma de la alianza entre el sector público y el sector privado, puesto en marcha por la *Climate Technology Initiative* y la *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).

Esta red identifica y nutre proyectos categorizados en energía renovable e innovación, acercando inversores, con emprendedores en energías limpias y desarrolladores de proyectos. PFAN moviliza al sector privado, para analizar modelos de negocios y seleccionar proyectos que son económicamente viables, al igual que ambiental y socialmente beneficiosos.

Estos fondos permiten el apoyo en análisis de factibilidad económica, estructura de proyectos, inversiones y financiamiento, preparando los modelos de negocios y la introducción a inversores, para proyectos que incluyen energía solar y eólica, biomasa y plantas de energía de biogás, e hidroeléctricas.

El actual apoyo de este fondo está dirigido a Asia y África, con 1,46 mil millones de dólares levantados a la fecha para este tipo de proyectos. PFAN está expandiendo su modelo para por trabajar con Latinoamérica y el Caribe.

Este tipo de fondos se puede considerar dentro de las opciones con las cuales se pueden financiar proyectos de tratamiento de residuos, operando con una alianza del sector privado y público, en el cual el sector privado solicita los fondos y el sector público apoya en la gestión y solicitud de fondos.

15.10 Análisis viabilidad fuentes de financiamiento

La disponibilidad de recursos nacionales del sector público proviene principalmente del FNDR. El análisis de la viabilidad financiera de la implementación de las tecnologías se realiza a partir de la disponibilidad de recursos provenientes del Programa de Inversión Regional de la Ley de Presupuestos 2019, el cual corresponde a un 90% del FNDR.

Cabe destacar que esta no es la única alternativa de obtener financiamiento para la inversión de los proyectos, y que se puede solicitar fondos internacionales, de entidades como la *International Finance Corporation* y del *Banco Interamericano del Desarrollo*.

A continuación, se divide el análisis de viabilidad de fuentes de financiamiento por cada tecnología que fue evaluada económicamente.

15.10.1 Análisis viabilidad financiera de la tecnología de Pretratamiento

Las leyes de presupuestos varían anualmente, y se ajustan de acuerdo a las necesidades que se identifiquen en cada periodo. De acuerdo a la disponibilidad de recursos del Programa de Inversión Regional, se podrá optar por la instalación de plantas de pretratamiento.

Al analizar el presupuesto de los Programas de Inversión Regional, es factible que se pueda solicitar fondos para implementar una planta de pretratamiento con capacidad superior a 90.000 ton/año y/o varias plantas de menor tamaño.

a) Macrozona Norte

Región de Arica y Parinacota: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 43.389 ton/año de residuos generados en la región y que posee un potencial de ser reciclado. En la Comuna de Arica se puede tratar toda la disponibilidad de residuos con potencial de ser reciclados y ofrecer un cobro levemente superior al cobro actual.

Región de Tarapacá: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 60.522 ton/año de residuos generados en la región y que poseen un potencial de ser reciclado. En la Comuna de Iquique se puede ofrecer una alternativa que puede tratar toda la disponibilidad de residuos con potencial de ser reciclados y se puede ofrecer una alternativa de tratamiento que tendrá un cobro menor al actual, con plantas que tengan capacidad de tratamiento cercana a las 20.000 ton/año.

Región de Antofagasta: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 80.302 ton/año de residuos generados en la región y que poseen un potencial de ser reciclados. En la Comuna de Antofagasta se puede ofrecer soluciones que puedan tratar toda la disponibilidad de residuos con potencial de ser reciclados y ofrecer un cobro inferior al actual.

Región de Atacama: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 33.666 ton/año de residuos generados en la región y que poseen potencial de ser reciclados. En la Comuna de Copiapó se puede tratar toda la disponibilidad de residuos con potencial de ser reciclados y ofrecer una solución con un cobro inferior al actual.

Región de Coquimbo: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 107.468 ton/año de residuos generados en la región y que poseen potencial de ser reciclados. En la Comuna de Coquimbo se puede tratar toda la disponibilidad de residuos con potencial de ser reciclados y ofrecer una solución con un cobro inferior al actual.

b) Macrozona Centro

Región de Valparaíso: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 173.577 ton/año de residuos generados en la región y que poseen potencial de ser reciclados. En la Comuna de Viña del Mar se puede tratar toda la disponibilidad de residuos con potencial de ser reciclados y se puede ofrecer un cobro levemente superior al actual.

Región Metropolitana de Santiago: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar el 74% de los residuos generados en la región y que poseen potencial de ser reciclados (634.615 ton/año). En la Comuna de Puente Alto se puede tratar toda la disponibilidad de residuos con potencial de ser reciclados y ofrecer un cobro que es hasta 2 veces menor al actual.

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 121.088 ton/año de residuos generados en la región y que poseen potencial de ser reciclados. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Rancagua, se puede ofrecer un servicio con un cobro levemente superior al actual.

Región del Maule: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 132.896 ton/año de residuos generados en la región y que poseen un potencial de ser reciclados. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Talca, no se puede ofrecer un servicio con un cobro inferior al actual, por lo que se recomienda trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de material reciclable y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

c) Macrozona Sur

Región del Biobío: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 126.202 ton/año de residuos generados en la región y que poseen un potencial de ser reciclados. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Concepción, no se puede ofrecer un servicio con un cobro inferior al actual, por lo que se recomienda trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de material reciclable y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región del Ñuble: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 30.818 ton/año de residuos generados en la región y que poseen un potencial de ser reciclados. En la Comuna de Chillan se requiere pagar para tratar los residuos, entre 20 a 25 \$/kg. Se puede emplear un subsidio de parte del estado para cubrir la diferencia de cobros y fomentar el uso de la tecnología de pretratamiento. Otra alternativa es considerar un trabajo intercomunal que permita incrementar la disponibilidad de residuos.

Región de la Araucanía: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 56.368 ton/año de residuos generados en la región y que poseen un potencial de ser reciclados. No se puede ofrecer un cobro inferior al actual en la Comuna de Temuco, por lo que se recomienda fomentar el uso de la tecnología mediante el empleo de un subsidio que permita bajar el precio y considerar un trabajo intercomunal que permita incrementar la disponibilidad de residuos.

Región de Los Ríos: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 46.846 ton/año de residuos generados en la región y que poseen un potencial de ser reciclados. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Valdivia y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomienda la implementación de un subsidio para fomentar el uso de la tecnología y trabajar intercomunally para incrementar la disponibilidad de residuos.

Región de Los Lagos: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 86.600 ton/año de residuos generados en la región y que poseen un potencial de ser reciclados. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Osorno y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 15.229 ton/año de residuos generados en la región y que poseen un potencial de ser reciclados. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Coyhaique y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro inferior. La diferencia entre el cobro actual y el cobro por la tecnología de pretratamiento puede ser cubierto por un subsidio del estado.

Región de Magallanes y la Antártica: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 22.774 ton/año de residuos generados en la región y que poseen potencial de ser reciclados. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Punta Arenas y cobro de disposición actual, se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro levemente inferior al actual.

15.10.2 Análisis viabilidad financiera de la tecnología de Compostaje

Las leyes de presupuestos varían anualmente, y se ajustan de acuerdo a las necesidades que se identifiquen en cada periodo. De acuerdo a la disponibilidad de recursos del Programa de Inversión Regional, se podrá optar por la instalación de plantas de compostaje.

Al analizar el presupuesto de los Programas de Inversión Regional, es factible que se pueda solicitar fondos para implementar plantas con capacidad superior a 50.000 ton/año y/o varias plantas de menor tamaño.

a) Macrozona Norte

Región de Arica y Parinacota: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 74.065 ton/año de residuos orgánicos generados en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Arica y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer un cobro inferior al actual. Se puede emplear un subsidio para cubrir la diferencia entre el cobro actual y el cobro de tratamiento.

Región de Tarapacá: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 82.320 ton/año de residuos orgánicos generados en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Iquique y cobro de disposición actual, se puede implementar una solución que pueda ofrecer un cobro inferior.

Región de Antofagasta: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 122.903 ton/año de residuos orgánicos generados en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Antofagasta y el cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomienda trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de residuos y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de Atacama: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 51.140 ton/año de residuos orgánicos generados en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Copiapó y cobro de disposición actual, se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior.

Región de Coquimbo: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 176.991 ton/año de residuos orgánicos generados en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Coquimbo y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomiendan trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

b) Macrozona Centro

Región de Valparaíso: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar un 59% de la fracción orgánica de residuos que se generan en la región (358.963 ton/año). Para la disponibilidad de residuos de la Comuna de Viña del Mar y cobro de disposición actual, se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior.

Región Metropolitana de Santiago: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede un 33% de la fracción orgánica de residuos que se generan en la región (586.159 ton/año). Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Puente Alto y cobro de disposición, se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior.

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 173.365 ton/año de residuos orgánicos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Rancagua y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región del Maule: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 185.593 ton/año de residuos orgánicos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Talca y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa que tenga un cobro inferior. Se recomiendan trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

c) Macrozona Sur

Región del Biobío: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 322.087 ton/año de residuos orgánicos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos de la Comuna de Concepción y cobro de disposición actual, se puede ofrecer una alternativa con un cobro levemente superior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región del Ñuble: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 96.533 ton/año de residuos orgánicos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos de la Comuna de Chillán y cobro de disposición, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomienda trabajo intercomunal y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de la Araucanía: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 225.334 ton/año de residuos orgánicos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Temuco y cobro de disposición, se puede ofrecer una alternativa de tratamiento para sus residuos que tenga un cobro inferior al actual.

Región de Los Ríos: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 86.364 ton/año de residuos orgánicos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Valdivia y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de Los Lagos: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 183.195 ton/año de residuos orgánicos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Osorno y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa con un

cobro inferior. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 26.965 ton/año de residuos orgánicos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Coyhaique y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que fomente el uso de la tecnología.

Región de Magallanes y la Antártica: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 15.942 ton/año de residuos orgánicos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos en la Comuna de Punta Arenas y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer un cobro inferior. Se recomienda la implementación de un subsidio para fomentar el uso de la tecnología.

15.10.3 Análisis viabilidad financiera de la tecnología de Digestión Anaerobia

Las leyes de presupuestos varían anualmente, y se ajustan de acuerdo a las necesidades que se identifiquen en cada periodo. De acuerdo a la disponibilidad de recursos del Programa de Inversión Regional, se podrá optar por la instalación de plantas de digestión anaerobia.

Al analizar el presupuesto de los Programas de Inversión Regional, es factible solicitar fondos para plantas con capacidad de tratamiento igual o superior a 75.000 ton org/año y/o varias plantas de menor tamaño.

a) Macrozona Norte

Región de Arica y Parinacota: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 74.065 ton org/año que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos y cobro actual en la Comuna de Arica, no se puede ofrecer un cobro inferior al actual, por lo que se recomienda emplear un subsidio mayor o igual a 15,5 \$/kg, para hacer más atractivo el uso de la tecnología en comparación con la disposición de residuos.

Región de Tarapacá: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 82.320 ton org/año que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos y cobro actual de la Comuna de Iquique, no se puede ofrecer un cobro por tratamiento inferior. Se puede considerar un trabajo intercomunal para aumentar el volumen de materia orgánica disponible y cubrir mediante un subsidio la diferencia restante entre el cobro por disposición y cobro por tratamiento.

Región de Antofagasta: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 122.903 ton org/año que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos y cobro de disposición actual, en la Comuna de Antofagasta no se puede ofrecer un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento.

Región de Atacama: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 51.140 ton org/año que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos y cobro

actual, en la Comuna de Copiapó no se puede ofrecer un cobro inferior. Se recomienda trabajos intercomunales y la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro por disposición y cobro por tratamiento.

Región de Coquimbo: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 176.991 ton org/año que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos y rango de cobro de disposición establecido en la Comuna de Coquimbo, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se recomienda realizar un trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de residuos e implementar un subsidio para el uso de la tecnología, que permita cubrir la diferencia entre el cobro de disposición actual y el cobro de tratamiento.

b) Macrozona Centro

Región de Valparaíso: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar un 42,9% de los residuos orgánicos que se generan en la región (260.152 ton org/año).

Si se pueden realizar las compensaciones de emisiones de material particulado en la Comuna de Viña del Mar, para la disponibilidad de residuos y cobro actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de residuos y la implementación de un subsidio que permita cubrir la diferencia entre el cobro actual y cobro por tratamiento.

En caso de considerar una alternativa de implementación, se puede implementar una planta en la Comuna de Valparaíso. Para la disponibilidad de residuos y rango de cobro de disposición, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Si solo se implementa la tecnología en esta comuna, se recomienda aplicar un subsidio mayor o igual a 15,2 \$/kg para fomentar el uso de la digestión anaerobia. Complementariamente, se puede trabajar entre las comunas de Valparaíso y Viña del Mar, para incrementar la disponibilidad de residuos y disminuir el cobro por tratamiento que se puede ofrecer.

Región Metropolitana de Santiago: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar un 24,2% de los residuos orgánicos que se generan en la región (424.809 ton org/año).

Si se puede realizar las compensaciones correspondientes para las emisiones de material particulado en la Comuna de Puente Alto, para la disponibilidad de residuos y cobro de disposición, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se recomienda en esta situación el trabajo intercomunal, para incrementar la disponibilidad de residuos y la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento.

En caso de considerar alternativa de implementación, se puede implementar una planta en la comuna de Maipú. Para la disponibilidad de residuos y cobro de disposición actual, no se puede entregar una alternativa con un cobro inferior al actual. Se puede considerar trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de residuos y/o emplear un subsidio mayor o igual a 11,97 \$/kg.

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar los 173.365 ton org/año que se generan en la región.

Si se puede realizar las compensaciones correspondientes de emisión de material particulado en la Comuna de Rancagua, para la disponibilidad de residuos y cobro actual, se puede ofrecer una alternativa con un cobro cercano a 25 \$/kg, cobro que es superior al actual. Para hacer atractivo su uso, se recomienda trabajo intercomunal para disponer de más residuos orgánicos y la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro por disposición y cobro por tratamiento.

En caso de considerar alternativa de implementación, se puede implementar la tecnología de digestión anaerobia en la Comuna de Pichilemu. Para la disponibilidad de residuos y cobro actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se puede implementar un subsidio mayor o igual a 49,93 \$/kg y considerar trabajos intercomunales para incrementar la disponibilidad de residuos.

Región del Maule: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar los 185.593 ton org/año de residuos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos y cobro actual, en la Comuna de Talca no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de residuos y la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro por disposición y el cobro por tratamiento.

c) Macrozona Sur

Región del Biobío: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar hasta un 81% de los residuos orgánicos generados en la región (262.366 ton org/año). Para la disponibilidad de residuos y cobro actual en la Comuna de Concepción, no se puede ofrecer una alternativa de tratamiento con un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de residuos y la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento.

Región del Ñuble: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar los 96.533 ton org/año que se generan en la región.

Si se compensa las emisiones de material particulado, para la disponibilidad de residuos y cobro actual en la Comuna de Chillán, no se puede ofrecer un cobro inferior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal y la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro actual y el cobro por tratamiento.

En caso de considerar una alternativa de implementación, se puede implementar la digestión anaerobia en la comuna de San Carlos. Para la disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer un cobro inferior al actual. Se recomienda entregar un subsidio mayor o igual a 42,5 \$/kg para fomentar el uso de la tecnología y trabajo intercomunal.

Región de la Araucanía: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 225.334 ton org/año de residuos que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos y cobro de disposición en la Comuna de Temuco, no se puede ofrecer una alternativa de tratamiento que tenga un cobro menor. Se recomienda un trabajo intercomunal y la implementación de un subsidio que permita cubrir la diferencia entre el cobro por disposición y cobro por tratamiento.

Región de Los Ríos: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 86.364 ton org/año que se generan en la región.

Si se puede compensar las emisiones de material particulado, de acuerdo a la disponibilidad de residuos y cobro en la Comuna de Valdivia, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro por tratamiento inferior al actual. Se recomienda trabajo intercomunal para incrementar la disponibilidad de residuos y/o aplicar un subsidio para poder cubrir la diferencia entre el cobro por disposición y cobro por tratamiento.

En caso de considerar una alternativa de implementación, se puede implementar la digestión anaerobia en la comuna de Unión. Para la disponibilidad de residuos y cobro por disposición, se requiere implementar un subsidio mayor o igual a 53,7 \$/kg para fomentar el uso de la tecnología.

Región de Los Lagos: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 183.195 ton org/año de residuos que se generan en la región.

Si se puede compensar la emisión de material particulado en la Comuna de Osorno, para el cobro por disposición y disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se recomienda fomentar el uso de la tecnología con la aplicación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro por tratamiento y cobro por disposición, y un trabajo intercomunal que permita incrementar la disponibilidad de residuos.

En caso de considerar una alternativa de implementación, se puede implementar la digestión anaerobia en la Comuna de Puerto Montt. Para la disponibilidad de residuos y cobro actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se recomienda la implementación de un subsidio que cubra la diferencia entre el cobro actual y cobro por tratamiento y trabajo intercomunal.

Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 26.965 ton org/año que se generan en la región.

Si se puede compensar las emisiones de material particulado en la comuna de Coyhaique, para la disponibilidad de residuos y cobro de disposición actual, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se requiere implementar un subsidio para fomentar el uso de la tecnología.

En caso de considerar una alternativa de implementación, se puede implementar la digestión anaerobia en la Comuna de Aysén. Para la disponibilidad de residuos, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Se requiere implementar un subsidio para fomentar el uso de la tecnología.

Región de Magallanes y la Antártica: de acuerdo a la disponibilidad de fondos provenientes de la Ley de Presupuestos 2019, se puede tratar las 15.942 ton org/año que se generan en la región. Para la disponibilidad de residuos y cobro de disposición en la Comuna de Punta Arenas, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior al actual. Se requiere implementar un subsidio mayor o igual a 43,88 \$/kg, para fomentar el uso de la tecnología.

15.10.4 Análisis viabilidad financiera de la tecnología de Incineración

La inversión requerida para la implementación de la tecnología de Incineración es mucho mayor que el de las otras tecnologías. De acuerdo a la disponibilidad de recursos del Programa de Inversión Regional y las Macrozonas que pueden implementar la tecnología bajo las condiciones definidas, solo la Región Metropolitana de Santiago tiene un presupuesto suficiente para implementar una planta de incineración con capacidad de tratamiento de 50.000 ton RSDyA/año (un 1,6% de los residuos generados en la región).

Si se puede compensar las emisiones de material particulado en la Comuna de Puente Alto, se puede tratar al menos el 22,6% de los residuos generados en la Comuna. Analizando al cobro por disposición y el cobro por tratamiento, no se puede ofrecer una alternativa con un cobro inferior. Para fomentar el uso de la tecnología, se recomienda la implementación de un subsidio mayor o igual a 86,01 \$/kg.

En caso de considerar una alternativa de implementación, se puede instalar una planta en la Comuna de Maipú. Mediante esta tecnología, se puede tratar el 27,8% de los residuos generados en la comuna. No se puede ofrecer un cobro inferior al actual, por lo que, para fomentar el uso de la tecnología, se requiere la implementación de un subsidio para cubrir la diferencia entre el cobro por disposición y cobro por tratamiento.

Si se puede asegurar montos similares para más de un periodo, las Regiones de Coquimbo y de Valparaíso pueden implementar plantas de incineración con una capacidad de tratamiento superior a 50.000 ton RSDyA/año.

En la región de Coquimbo, si se pueden considerar montos similares para más de un periodo, se puede tratar el 14,6% de los residuos generados en la región. De acuerdo al cobro por disposición en la Comuna de Coquimbo y el tamaño de planta que se puede obtener, no se puede ofrecer un cobro inferior al actual. Para fomentar el uso de la tecnología, se requiere subvencionar la diferencia entre el cobro por disposición y cobro por tratamiento.

En la Región de Valparaíso, si se puede considerar montos similares para más de un periodo, se puede tratar el 5,8% de los residuos generados en la región. Si se puede realizar la compensación de emisiones de material particulado correspondiente en la Comuna de Viña del Mar, no se puede ofrecer un cobro inferior al actual. Se requiere implementar un subsidio para cubrir la diferencia entre el cobro por disposición y el cobro por tratamiento.

Alternativamente se puede implementar la tecnología en la comuna de Valparaíso, pero tampoco se podrá ofrecer un cobro inferior al actual. Se requiere implementar un subsidio para fomentar el uso de la tecnología.

Debido a que la limitante principal para la implementación de la tecnología de incineración está relacionada con la disponibilidad de fondos, se recomienda solicitar fondos internacionales, como los provenientes del *International Finance Corporation* (IFC) y el Banco Interamericano del Desarrollo (BID).

16 INSTRUMENTOS DE APOYO

La sección de instrumentos de apoyo se divide en dos subsecciones, las cuales se enfocarán en las medidas de apoyo y recomendaciones.

La primera subsección se encarga de analizar las medidas de apoyo impulsadas internacionalmente, determinando las principales características que les ha permitido aplicar estas medidas.

Posteriormente, las recomendaciones de instrumentos de apoyo se realizarán tras el análisis de las medidas impulsadas por diferentes países, determinando de acuerdo a la realidad chilena, cuales medidas pueden ser aplicadas.

16.1 Medidas de apoyo impulsadas internacionalmente

Los costos asociados a políticas que no promueven la valorización de los residuos y bajos estándares en la gestión de los residuos puede generar efectos negativos en la sociedad. En ONU 2018, los principales efectos identificados fueron:

- Limitación de la disponibilidad de terreno para la construcción de rellenos sanitarios al considerar a los residuos como un pasivo en la gestión de los residuos.
- Limitación en el desarrollo de la economía.
- Efectos dañinos por operación de rellenos sanitarios que pueden conllevar a incendios, deslizamientos o contaminación hídrica.

Estas situaciones pueden conllevar a la necesidad del pago de indemnizaciones por los daños causados y la necesidad de emplear fondos para subsanar las emergencias ocasionadas por una operación deficiente.

La gestión de los residuos posee diferentes factores que pueden impulsar el uso de tecnologías de valorización. Como tal, el involucramiento de los gobiernos en las medidas que impulsen su uso es de vital importancia para implementar alternativas sostenibles que tengan un sustento económico, social y ambiental.

La corporación Ruta N (2016) identificó 3 factores que pueden promover en diferentes medidas, a la valorización de los residuos y el uso de las tecnologías de tratamiento de los residuos. A continuación, se identifican los principales factores económicos, político-sociales, y ambientales que fueron definidos:

- **Factores Económicos:**
 - Se requiere impulsar el valor agregado de los residuos.
 - Se requiere impulsar el reciclaje como una actividad económica que asegura la sustentabilidad y la disminución del uso de recursos vírgenes.
 - Emplear incentivos monetarios para tecnologías que tengan la capacidad de generar energía u otro tipo de subproducto, a partir de los residuos.
- **Político-Social:**
 - Incremento de la vida útil de rellenos sanitarios.

- Mejora de las condiciones sanitarias, asociadas al tratamiento de la materia orgánica que se encuentra disponible en los residuos.
- Normativas que impulsan el manejo integral de residuos.
- **Ambiental:**
 - Impulsar el conocimiento de la población de la capacidad de disminución de gases de efecto invernadero y el efecto que esta medida tiene en su quehacer diario.
 - Diversificación de fuentes de energía alternativa y renovable.
 - Requerimiento de mayor espacio para nuevos rellenos sanitarios y las limitaciones que actualmente posee esta tecnología al considerar a los residuos como un pasivo del proceso.

La adecuada gestión de los residuos debe ser considerada como prioridad de los gobiernos. Es por ello que diferentes países en el mundo han desarrollado medidas que se ajustan a su realidad, para poder hacer frente a la gestión de los residuos y desarrollar economías sustentables.

En la Tabla 16-1 se presenta las diferentes medidas asociadas a legislaciones aplicadas por países europeos y países asiáticos. La información fue proporcionada por Suez durante las entrevistas realizadas en la segunda etapa del proyecto, y la corporación Ruta N (2016).

Tabla 16-1. Legislaciones y medidas impulsadas por países europeos y asiáticos, para promover el uso de tecnologías de valorización de residuos.

País	Legislaciones y medidas impulsadas
Suecia	<ul style="list-style-type: none"> - Altas cuotas de descarga en rellenos sanitarios. - Políticas que impulsan el uso de tecnologías de valorización energética de los residuos, mediante impuestos de carbono, subsidios directos (créditos, tarifas y preferencia de préstamos), y el fomento del uso de estas tecnologías en la jerarquía del tratamiento de los residuos. - Compromisos del sector público, mediante regulaciones.
Dinamarca	<ul style="list-style-type: none"> - Autonomía de municipalidades en decisiones sobre recolección y reciclaje. Es una prioridad el reúso y reciclaje de los residuos para los ciudadanos. - Legislaciones que impulsan condiciones favorables para las tecnologías de valorización energética. - Regulaciones ambientales estrictas.
Alemania	<ul style="list-style-type: none"> - Solo se permite la disposición en rellenos sanitarios, para aquellos residuos que posean bajo poder calorífico, cenizas y escoria, y escombros de la industria de la construcción. - Se impulsan medidas que fomentan el reciclaje.
Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> - Se impulsa el uso de tecnologías de tratamiento de residuos, mediante el impulso de impuestos a rellenos sanitarios, y políticas que obligan al reciclaje de los residuos.
Australia	<ul style="list-style-type: none"> - Se emplean impuestos a rellenos sanitarios, impulsando medidas u políticas que obligan al reciclaje de los residuos. - Debido a las características del país, existe una necesidad de compost.
Japón	<ul style="list-style-type: none"> - No se permite el transporte de los residuos entre localidades. Esta situación impulso la creación de instalaciones pequeñas encargadas del tratamiento de los residuos.
China	<ul style="list-style-type: none"> - Se impulsó un subsidio de la electricidad generada por las tecnologías de tratamiento que permiten la valorización energética.

Fuente: Suez; corporación Ruta N (2016).

Estudios internacionales con respecto al comportamiento de los países y sus economías, ha entregado una visión sobre la operación de las plantas de tratamientos de los residuos. De acuerdo a datos presentados por Xin-gang, et al. (2015) y Hogg (2006), la subsistencia de las plantas de tratamiento de residuos en países de mayores ingresos está asociada a la venta de los productos obtenidos por el proceso (energía, fertilizante), pues las políticas impulsan a su uso. Al analizar la situación de los países de menores ingresos, se ha identificado que, para la subsistencia de las tecnologías, se enfoca sus modelos de negocios en la tasa de pago por la disposición.

Por ello, se ha identificado que cada país debe desarrollar alternativas que puedan promover el uso de las tecnologías, asociado a la realidad como país, políticas vigentes y propuestas de políticas.

Dentro de las diferentes políticas que han impulsado a nivel mundial el uso de las tecnologías de tratamiento de los residuos, prevalece el pago de tarifas para disponer residuos en rellenos sanitarios. Esta tarifa se aplica como impuesto, sobre el valor de precio de disposición en el sitio establecido, con un valor por tonelada de basura a disponer.

Se analizó información bibliográfica disponible de Europa sobre los impuestos que se aplican para la disposición de residuos en rellenos en rellenos sanitarios u otros sitios de disposición establecidos, y se resumió la información en la Tabla 16-2.

Tabla 16-2. Impuestos de disposición establecidos en Europa para la disposición de residuos en rellenos sanitarios.

País	Impuesto por disposición en relleno sanitario (\$CLP/ton)
Austria	El impuesto base es de \$64.989 (CLP/ton), y varía dependiendo de la composición de los residuos.
Bulgaria	Implemento una política de impuestos que incrementa su tasa con el tiempo. El año 2019 el impuesto para la disposición de residuos en rellenos corresponde a \$22.410 (CLP/ton), y se mantendrá desde el 2020 en adelante en \$37.350 (CLP/ton).
Dinamarca	Implementan un impuesto de disposición de \$47.284 (CLP/ton).
Eslovaquia	La tasa de impuesto establecida depende directamente de acuerdo al proceso de separación previa realizada a los residuos. El valor del impuesto varía entre \$3.719 (CLP/ton) a \$7.539 (CLP/ton).
Eslovenia	Se estableció una tasa de impuesto de \$8.217 (CLP/ton).
España	Posee impuestos diferenciados dependiendo de las regiones y las políticas establecidas en cada una. El impuesto establecido para la disposición en rellenos sanitarios varía entre \$5.229 (CLP/ton) a 35.183 (CLP/ton).
Finlandia	Implementan un impuesto de \$52.290 (CLP/ton).
Francia	Implementa impuestos diferenciados dependiendo del destino de los residuos. La disposición en rellenos sanitarios no autorizados significa un pago de impuesto de \$141.498 (CLP/ton). La disposición en rellenos sanitarios autorizados y que cumplan con la normativa ISO 14.001, pagan un impuesto de \$23.904 (CLP/ton). Disponer en rellenos sanitarios que poseen recuperación de energía (biogás), deben pagar un impuesto de \$17.181 (CLP/ton). Cuando se disponen en rellenos sanitarios que tratan la materia orgánica, mediante procesos aeróbicos (compostaje) y anaeróbicos (generación de biogás), se paga un impuesto de \$23.904 (CLP/ton).

País	Impuesto por disposición en relleno sanitario (\$CLP/ton)
Grecia	Se estableció la implementación de un impuesto de disposición en el año 2014, con un valor de \$26.145 (CLP/ton), incrementando anualmente en \$3.735 (CLP/ton). Durante el año 2017 se suspendió este impuesto.
Hungría	Posee una tasa de impuesto de disposición de \$14.454 (CLP/ton).
Irlanda	Posee una tasa de impuesto de disposición de \$56.025 (CLP/ton).
Italia	Posee diferentes tasas de disposición para rellenos sanitarios, dependiendo de la región en Italia, el destino y/o el tipo de pretratamiento. En el año 2017 los impuestos establecidos variaron entre \$3.901 (CLP/ton) a \$19.287 (CLP/ton).
Letonia	La implementación del impuesto que se aplica para la disposición en rellenos sanitarios se definió incrementalmente. En el año 2019 se estableció un impuesto de \$32.121 (CLP/ton) y en el año 2020 se definió un impuesto de \$37.350 (CLP/ton).
Lituania	La implementación del impuesto que se aplica para la disposición en rellenos sanitarios se definió incrementalmente. En el año 2019 se estableció un impuesto de \$16.222 (CLP/ton), y se estimó que incrementa en \$4.327 (CLP/ton) para el siguiente año.
Países bajos	La implementación del impuesto por la disposición en rellenos sanitarios se reajusta anualmente. El año 2017, el impuesto establecido corresponde a \$9.792 (CLP/ton).
Polonia	La implementación del impuesto que se aplica para la disposición en rellenos sanitarios se definió incrementalmente. En el año 2019 se estableció un impuesto de \$29.880 (CLP/ton) y se estimó que incrementa en \$17.928 (CLP/ton) para el siguiente año.
Portugal	La implementación del impuesto que se aplica para la disposición en rellenos sanitarios se definió incrementalmente. En el año 2019 se estableció un impuesto de \$7.395 (CLP/ton) y se estimó que incrementa en \$822 (CLP/ton) para el siguiente año.
Reino Unido	El Reino Unido posee principalmente dos tasas de impuestos. El año 2018, el valor estándar del impuesto corresponde a \$76.856 (CLP/ton), y la tasa inferior corresponde a \$2.419 (CLP/ton).
Región Flamenca de Bélgica	Emplean impuestos diferenciados para sus residuos. Si se dispone residuos que tienen potencial de ser empleados como combustible, requiere del pago de un impuesto de \$76.126 (CLP/ton). Para la disposición de residuos que no poseen la capacidad de ser empleados como combustibles, se establece el pago de un impuesto de \$42.206 (CLP/ton).
Región Valona de Bélgica	Emplean impuestos diferenciados para sus residuos. Se establece para los residuos en general, un impuesto de \$84.418 (CLP/ton). Para los residuos que no poseen la capacidad de ser empleados como combustibles, se establece un impuesto de \$4.433 (CLP/ton).
República checa	Posee un impuesto por disposición de residuos municipales de \$14.940 (CLP/ton).
Rumanía	La implementación del impuesto de disposición inicio en el año 2018. El impuesto aplicado ese año para la disposición de residuos corresponde a \$19.422 (CLP/ton).
Suecia	Se estableció un impuesto para la disposición de residuos de un valor de \$37.350 (CLP/ton).
Suiza	Emplean impuestos diferenciados de acuerdo al origen, destino y tipo de residuo. Para la disposición de residuos inertes, se establece un impuesto de \$3.211 (CLP/ton). Por su parte, para la disposición de residuos estabilizados, cenizas volantes y los desechos de construcción, se establece un impuesto de \$10.233 (CLP/ton). En caso de disponer sus residuos en otro país, se establece un impuesto de \$14.117 (CLP/ton).

Fuente: Confederation of European Waste To Energy Plants (2017). Para la conversión a CLP, se empleó un valor de 747 CLP es a 1 Euro, y de 864 CLP es a 1 Libra Esterlina.

Hay que destacar que las medidas previamente presentadas se ajustan a la realidad europea y asiática, y son alternativas que han tenido mayor o menor éxito para esos países. A continuación, se presentan recomendaciones de alternativas que pueden ser implementadas en Chile.

16.2 Recomendaciones de medidas de apoyo

Se va a presentar en esta sección, una visión preliminar de las medidas de apoyo que puede impulsar el gobierno para cambiar la visión de gestión de residuos hacia un enfoque de tratamiento valorizado, es decir, gestión de recursos. Los puntos que se presentan a continuación son recomendaciones de parte de la entidad experta.

- 1) El modelo actual de gestión de residuos genera pérdidas a las municipalidades, pues la recaudación que obtienen los Municipios es baja. Para hacer frente a esta medida, presentamos cinco alternativas que se pueden considerar para hacer frente a esta situación. Se destaca que estas alternativas no son excluyentes y pueden ser impulsadas complementariamente:
 - a. El valor de impuestos que se emplean en países europeos no se puede aplicar directamente en Chile, pues la situación actual los Municipios demuestra que se generan pérdidas por la gestión de los residuos. Como tal, se puede considerar el fortalecimiento de los beneficios que se pueden aplicar por el uso de tecnologías de tratamiento de los residuos.
 - i. Reducción de impuestos a las empresas del sector de tratamiento de los residuos.
 - ii. Establecimiento de porcentaje de residuos que debe ser procesado por tecnologías de tratamiento de residuos y a sitios de disposición final legalmente establecidos, sin limitar la posibilidad de que los Municipios puedan seleccionar la o las tecnologías que mejor se ajusten a sus necesidades y presupuesto.
 - b. En caso de que estas medidas requieran complementarse y se requiera emplear una recaudación monetaria, se recomienda una medida de recaudación asociada a los estratos económicos y que sea proporcional a la cantidad de basura que se dispone.
 - i. Mediante el cobro por nivel socioeconómico y/o proporcional a la generación, se busca impulsar la reducción de la generación de residuos, generando una recaudación monetaria que permita fomentar el reciclaje.
 - ii. Las comunas con menores fondos requerirán de un apoyo monetario por el sector público.
 - c. Alternativamente, se puede emplear un impuesto asociado a los productos que se disponen. Este cargo por eliminación anticipada se agrega en forma de un impuesto al precio de los productos priorizados para su disposición. Mediante esta recaudación, se podrá pagar parte de las tarifas asociadas al uso de las tecnologías de tratamiento de los residuos.
 - d. Otra medida de recaudación monetaria puede ser la aplicación de una tasa de impuesto a otros servicios, tales como el agua y/o electricidad, para poder obtener fondos para programas de inversión y tratamiento de residuos.
 - e. Se requiere involucrar a la población en el proceso de gestión de residuos, entregándoles conocimientos que permitan comprender la gestión de los residuos, como estas nuevas medidas generaran nuevos puestos de trabajo y que son requeridas, pues efectivamente los residuos no pueden seguir siendo considerados como un pasivo del proceso de gestión.
- 2) Se requiere continuidad en las temáticas de gestión de residuos y en el empleo de las tecnologías. Esta medida es fundamental para poder asegurar la continuidad de la ejecución de proyectos y el uso de tecnologías de tratamiento a pesar de cambios de cargos. Para asegurar la continuidad, se

- recomienda que se puedan establecer medidas que permitan que los presupuestos, tratos previos y visión de la gestión de residuos pueda mantenerse por periodos cortos, con la posibilidad de realizar modificaciones en caso de imprevistos.
- a. Al establecer estas medidas previamente, se podrá mantener una línea operativa de gestión de residuos. Las licitaciones requerirán considerar periodos más largos, tomando en cuenta el presupuesto y los imprevistos que pueden generarse.
 - b. Se requiere analizar la factibilidad de emplear esta alternativa, determinando el número mínimo y máximo de periodos que puede abarcar, considerando al menos 2 periodos lectivos de una Municipalidad.
- 3) Se requiere fortalecer el ambiente de reciclaje y reúso de los residuos como primera alternativa de tratamiento, considerando las otras alternativas como opciones secundarias de valorización de los residuos. Se destaca que el reciclaje no debe competir con el suministro de residuos en las otras tecnologías, sino que debe actuar como un sistema en conjunto, que permita recuperar y valorizar estos productos.
- a. Uno de los principales problemas del reciclaje, es que las empresas se encuentran concentradas en la zona central de Chile. Por ello, para impulsar el reciclaje, se requiere fomentar la creación de nuevas empresas distribuidas en todo el territorio de Chile, mediante la extensión de las normativas de reciclaje.
 - i. La Ley de Responsabilidad Extendida al Productor define los productos prioritarios. El anteproyecto aprobado y presentado en la Resolución exenta N° 544 (2019), del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, establece los porcentajes de envases y embalajes que deben ser valorizados mediante el reciclaje.
 - ii. Se debe identificar los ciclos de vida de reúso y reciclaje de los residuos.
- 4) Posterior al proceso de valorización por reciclaje, se debe considerar como prioridad el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos, pues corresponde a más del 40% de los residuos generados en Chile. Luego de esta etapa de valorización, se debe considerar la valorización de los residuos que posean un alto potencial calorífico. Si el residuo no puede ser valorizado por estas medidas, se debe considerar la disposición final en rellenos sanitarios.
- 5) En Chile, el valor en el mercado Spot fue de 41,26 a 34,61 USD/MWh en marzo 2019 (Coordinador Eléctrico Nacional, 2019). Este valor es casi tres veces inferior al valor que tenía el mercado Spot antes del ingreso de las tecnologías renovables. Para impulsar el uso de las tecnologías de tratamiento de los residuos que permiten generar energía y disminuir los costos de disposición, se puede considerar la aplicación de un subsidio, por cantidad de energía generada por los residuos. Este punto esta principalmente enfocado para la tecnología de Incineración.
- 6) Emplear máquinas expendedoras inversas. En la actualidad, las empresas de envases de botellas utilizan este modelo, en el cual se ingresan botellas reciclables, y el usuario obtiene una devolución monetaria. Se puede expandir esta medida para incluir otros tipos de envases y embalajes (vidrio y lata), considerando que son los principales residuos reciclables que se generan.
- 7) Evaluar el traspaso de responsabilidades de gestión de residuos a los Gobiernos Regionales, cuando se demuestre tras evaluaciones técnico-económicas, que las Municipalidades no pueden disminuir las brechas de déficit que han presentado en temáticas de gestión de residuos.

17 JORNADA DE DISCUSIÓN

La sección de jornada de discusión se divide en dos subsecciones, las cuales presentan la programación de la jornada y los principales alcances.

La primera subsección entrega el cronograma de la jornada, y los temas a ser presentados, mientras que la segunda subsección presenta el listado de profesionales asistentes y los principales alcances de cada uno.

17.1 Programación de la Jornada de Discusión

La jornada de discusión está dividida en 3 secciones, correspondientes a: instrumentos de apoyo por parte del estado, viabilidad de inversión pública y posibles fuentes de financiamiento.

Para la presentación y discusión de estas secciones, se desarrollaron diapositivas que contienen los principales datos recabados durante la Etapa 2 y 3 del proyecto.

La programación de la jornada de discusión se presenta a continuación en la Tabla 17-1

Tabla 17-1. Cronograma de la jornada de discusión.

Horario	Jornada de discusión
15:00	Inicio de la jornada de Discusión, con la presentación del proyecto “ <i>Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros</i> ” y las etapas que lo componen.
15:15	Antecedentes de generación y disposición de residuos.
15:20	Presentación de las alternativas tecnológicas de tratamiento de residuos.
15:40	Macrozonas de estudio y los aspectos territoriales.
16:00	Análisis de las tecnologías de tratamiento de residuos y casos estudio.
16:20	Presentación de diferentes fuentes de financiamiento nacional e internacional.
16:30	Recomendaciones de Políticas e instrumentos del Estado.
16:40	Dialogo con los participantes de la jornada.
17:00	Palabras de Cierre.

Fuente: Elaboración propia.

17.2 Principales alcances de la Jornada de Discusión

Para la jornada de discusión, asistieron diferentes entidades gubernamentales y una consultora que se encuentra actualmente desarrollando un proyecto para el Ministerio del Medio Ambiente. A continuación, en la Tabla 17-2, se presenta los profesionales asistentes a la jornada de discusión y las entidades a la cual representan.

Tabla 17-2. Listado de asistentes a la jornada de discusión.

Entidad o empresa	Profesional
Ministerio de Desarrollo Social	Orietta Valdés – Departamento de metodologías. Jaime Vergara – Analista de inversiones. Alejandro Le-Fort – Analista de inversiones.
Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	Manuel Muñoz - Unidad Nacional de Residuos Sólidos. Andrea Novoa - Unidad Nacional de Residuos Sólidos.
Ministerio de Medio Ambiente	Pablo Fernandois – Oficina de economía circular. Norma Plaza – Oficina de economía circular. Maritza Barrera – Departamento Información Ambiental.
Implementasur	Miguel Aylwin- Abogado. Martín Aylwin - Abogado. Andreas Elmenhorst - Consultor. Patricia Salvo - Consultor. Diego Fernández - Consultor.
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Rolando Chamy – Director de proyecto. Jorge Dumont – Ingeniero de equipo ejecutor. Sebastian Videla – Asesor especialista en gestión de proyectos.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede destacar los siguientes puntos de la jornada de discusión:

El Ministerio de Desarrollo Social está desarrollando la metodología de evaluación de proyectos para la gestión de residuos, para incluir las tecnologías de tratamientos alternativos a Rellenos Sanitarios. Actualmente se encuentran analizando temas normativos que permitan implementar la metodología y las barreras que deben superar estas tecnologías.

- El presente estudio permitirá analizar las factibilidades técnicas de las tecnologías, capacidad, limitaciones de localización y problemáticas que son capaces de solucionar las alternativas de tratamiento de residuos.
- La información de este estudio y otros permitirá desarrollar una guía en temas de estándar y diseño de las tecnologías de tratamiento de residuos.

La Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo está trabajando e impulsando variados proyectos de gestión de residuos, para aumentar la disposición final a Rellenos Sanitarios. De acuerdo a estimativas del personal, se determinó que, en un periodo de 5 a 6 años, se podrá obtener una disposición del 98% de los residuos en Rellenos Sanitarios.

- La información que se está desarrollando en el *Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros*, permitirá avanzar a la siguiente etapa que plantea la Subsecretaría, respectiva a la implementación de tecnologías de valorización y tratamiento de residuos.

El Ministerio del Medio Ambiente se encuentra trabajando en la planificación y definición de metas para el manejo de la fracción orgánica de los residuos.

- El equipo consultor de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso recomienda que se considere en la planificación y definición de metas para el manejo de la fracción orgánica, una pauta similar a la Ley REP.

La consultora Implementasur se encuentra ejecutando el proyecto *Asesoría sobre el Manejo de Residuos Orgánicos Generados a Nivel Municipal en Chile* para el Ministerio de Medio Ambiente. El proyecto consiste en un diagnóstico de la gestión de residuos a nivel municipal en 20 comunas del país y 5 países.

- El trabajo que se está ejecutando permitirá identificar diferentes marcos regulatorios e incentivos asociados a la valorización de residuos.
- Uno de los resultados, es la entrega de una propuesta de estrategia a nivel nacional de valorización de residuos orgánicos para los generadores y domiciliarios. Para ello, se está analizando si en este estudio se pueden incluir a las industrias forestales.

Se puede destacar de la información presentada por la **Pontificia Universidad Católica de Valparaíso**:

- La implementación de las tecnologías alternativas de tratamiento de residuos no está enfocada en generar negocios, sino que, en obtener alternativas sustentables para tratar los residuos que permiten obtener beneficios sociales y ambientales.
- En general, todas las tecnologías generan rechazos en los procesos. Se requiere una separación en origen para disminuir tanto en inversión de equipos de separación, como en los costos asociados a la disposición de los residuos que son rechazados.
- Para poder ofrecer cobros de disposición de residuos similares o menores a los actualmente disponibles, se requieren trabajos intercomunales.
 - También se requiere de trabajos intercomunales para obtener un volumen de residuo que permita implementar algunas tecnologías.
 - La diferencia entre los ingresos por tratamiento y el cobro por disposición que se realiza actualmente para la disposición en Rellenos Sanitarios, puede ser cubierta mediante subsidios del estado, para fomentar el uso de la tecnología.
- De los diferentes fondos disponibles actualmente, la principal alternativa corresponde a los fondos provenientes de la Ley de Presupuestos.
 - Se debe analizar los créditos verdes que plantea la Corporación de Fomento de la Producción. Esta línea busca proveer financiamiento (crédito y leasing financiero) a empresas que deseen desarrollar proyectos de generación y almacenamiento ERNC, autoabastecimiento en base a ERNC, iniciativas de eficiencia energética (EE) y medidas de mejora medio ambiental. En esta línea, pueden ingresar proyectos correspondientes a tecnologías de tratamiento térmico y de Digestión Anaerobia.

- Se debe buscar alternativas de gestión de residuos que permitan realizar trabajos intercomunales por periodos más largos, por ello, el DFL 1/2019 es un avance, considerando que aplica a las zonas metropolitanas.
 - Sin perjuicio de lo anterior, se recomienda que no debiese ser a elección de las Municipalidades, sino que, de los Gobiernos Regionales, con estudio caso a caso de la capacidad de gestión de residuos.
 - Alternativamente, se podría considerar el juicio de otro organismo que pudiera operar como arbitrario en las decisiones asociadas a gestión de residuos.
- El equipo ejecutor destaca que se debe considerar dentro de las políticas de reciclaje, que los materiales que componen a los productos tienen un número de ciclos que permiten que se pueda recuperar el material.
- Se destaca el cobro anticipado del producto, asociado a su disposición y la necesidad de tener que subsidiar la inversión de las tecnologías de tratamiento de residuos.

18 JORNADA SEMINARIO TALLER

La sección de jornada del seminario taller se divide en dos subsecciones, las cuales presentan la programación de la jornada y los principales alcances.

La primera subsección entrega el cronograma de la jornada y los temas presentados, mientras que la segunda subsección presenta el listado de los profesionales invitados, con el porcentaje de asistencia, y los principales alcances en el Taller Coffee de Networking.

18.1 Programación de la Jornada del Seminario Taller

La jornada del seminario taller está dividida en 2 secciones, correspondientes a: presentación de resultados y taller coffee de networking.

Para la presentación y discusión de estas secciones, se desarrollaron diapositivas que contienen los principales datos recabados durante la Etapa 2 y 3 del proyecto.

La programación de la jornada del seminario taller se presenta a continuación en la Tabla 18-1:

Tabla 18-1. Cronograma del Seminario Taller

Horario	Jornada del seminario taller
15:00	Acreditación.
15:10	Palabras de Bienvenida.
15:20	Presentación de resultados del proyecto “ <i>Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros</i> ”.
15:45	Presentación principales conclusiones y recomendaciones del proyecto.
16:00	Taller Coffee Networking
17:30	Palabras de cierre.

Fuente: Elaboración propia.

18.2 Principales alcances de la Jornada del Seminario Taller

El seminario taller se realizó entre diferentes entidades públicas y privadas y el equipo de trabajo de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Del total de invitados propuestos, un 35,7% asistió a la jornada del Seminario Taller. Se identificó dentro del sector privado, a actores claves provenientes del mundo académico y de empresas, por su parte, dentro del sector público se identificó a Ministerios, Gobiernos Regionales e instituciones públicas.

A continuación, en las Tabla 18-2 y Tabla 18-3, se presenta el listado de asistentes a la jornada.

Tabla 18-2. Listado de asistentes del sector privado.

Institución, profesión y/o labor	Profesional
Babcock and Wilcox Company	Roberto Leyton – Director Latinoamericano.
Consultor	Hugo Ilabaca Morales. Jorge Dumont Arenas.
Geociclos	Juan Pablo Aguirre – Ingeniero de Proyectos.
Implementasur	Gerardo Canales – Director. Patricia Salvo - Consultora. Diego Fernandez – Consultor.
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Alejandro Corvalan – Profesor Instituto de Geografía.
Santa Marta	Pedro Rivas – Gerente Medio Ambiente.
Sherpas – Nippon Koei	Gonzalo Díaz – Senior Consultant.
Suez	Ana Espina – Gerente Desarrollo.
Tecnagent	Juan Pablo Villanueva – Desarrollador de Proyectos.
Universidad de Santiago de Chile	Fernando Corvalan – Académico.
Universidad Viña del Mar	Oscar Vidal - Profesor Coordinador del Diplomado Gestión de Residuos.
Watercys	Julio Villagran – Gerente.
Veolia	María Carolina Ascui - Especialista Ambiental.

Fuente Elaboración propia.

Tabla 18-3. Listado de asistentes del sector público.

Institución, profesión y/o labor	Profesional
CORFO	Manuel Martínez – Jefe de Unidad de Estudios y Diseño CORFO.
Gobierno Regional de Aysén	Mauricio Quezada – Encargado de Unidad de Proyectos.
Gobierno Regional de Coquimbo	Boris Castillo – División Planificación y Desarrollo Regional.
Ministerio de Energía	Viviana Avalos - Profesional Unidad de Sectores Productivos, División de Energías Renovables.
Ministerio de Medio Ambiente	Norma Plaza – Oficina de economía circular.
Municipalidad de la Ligua	Rodrigo Sanchez – Alcalde de la Ligua. Freddy Arellano – Asesor.
Municipalidad de Valparaíso	Claudio Venegas - Encargado Gestión de Residuos Valorizables y Eficiencia Energética.
Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	Juan Alcayaga – Profesional Unidad de Fortalecimiento Regional. Barbara Espejo - Periodista. Manuel Muñoz - Unidad Nacional de Residuos Sólidos. Andrea Novoa - Unidad Nacional de Residuos Sólidos.
Unidad Regional Subdere Valparaíso	Waldo Zuñiga – Asesor de residuos.

Fuente Elaboración propia.

Se puede destacar los siguientes puntos de la jornada del Seminario Taller:

- Al proponer que haya porcentaje de residuos que deben ser tratados, se va a impulsar a la implementación de tecnologías sustentables que pueda ofrecer un cobro competitivo, con respecto al cobro por disposición de los residuos.
- El escenario propuesto para la COP25 por el equipo ejecutor considera que se impulsará a compromisos que lleve a un liderazgo de cambio climático, y, por tanto, al avanzar a los sitios de disposición de tercera generación.
- Es importante impulsar la creación de empresas de reciclaje, pues en su gran mayoría, se encuentran concentradas en las regiones centrales de Chile. Para poder impulsar al reciclaje, se requiere que haya un mayor número de competidores distribuidos en el territorio nacional.
- De acuerdo al DFL 1/2019, hay 8 áreas metropolitanas en Chile en las cuales puede ser aplicada la normativa. Se explica que se puede realizar el traspaso de funciones de gestión de residuos por solicitud de las Municipalidades a los Gobiernos Regionales, existiendo la posibilidad de que se pueda realizar el traspaso por parte de un oficio del presidente de la República.
- Los ingresos de los posibles proyectos se basaron fundamentalmente en la venta de energía eléctrica, sin embargo, se agregaron otros ingresos, que pueden ser asimilados a nuevas tarifas y/o productos como energía térmica.
 - De acuerdo a la cultura actual de Chile, es complejo la localización de una planta de incineración en medio de la ciudad o cerca de industrias que puedan aprovechar la generación de energía. Una alternativa, es poder usar la generación térmica para calefacción distrital.
- El factor social de los proyectos requiere de un cambio de mentalidad, para la implementación de las tecnologías. Esto solo se puede realizar mediante un proceso de enseñanza a la población y cambio de conceptos para que no se asocie a algo negativo, tal es el caso de pasar del concepto incineración a termovalorización.
- La evaluación de la factibilidad de implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos requiere del análisis de factores sociales, ambientales, técnicos y económicos. Como tal, hay que destacar que no solo se requiere analizar la particularidad que permite la implementación de las tecnologías de tratamiento, sino que también las peculiaridades de las localidades, como el transporte de los residuos. En algunas comunas, se requiere transportar los residuos por distancias superiores a 100 km.
- Se aclara que la Ley REP puede ser buen inicio para continuar con la separación de la fracción orgánica, pues mediante la Ley REP se va a remover un gran porcentaje de la fracción inorgánica de los residuos.
- De acuerdo a la evaluación de los actores claves presentes en la jornada, el estudio es más representativo para zonas centrales, considerando lo que representa la economía de escala que requiere la implementación de algunas tecnologías.
- Los principales fondos con los cuales se manejan los municipios corresponden a los FNDR. Dentro de las evaluaciones solicitadas, hay una arista de carácter social. Como tal, se puede incluir este enfoque para mejorar rendimiento de los proyectos.
- Se puede realizar asociatividad pública-privada para la obtención de un volumen de residuos que permita implementar un tamaño factible técnico económicamente. Estas asociatividades se pueden realizar con industrias pecuarias, agrícolas y plásticos, entre algunos.

19 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

19.1 Conclusiones

De acuerdo a la información presentada en las diferentes etapas del proyecto y la retroalimentación obtenida por las jornadas de discusión y jornada del seminario taller, se presentan las siguientes conclusiones:

- El diagnóstico realizado en el país, muestra que existe una solución sanitaria de los residuos sólidos urbanos y asimilables aceptable con los Rellenos Sanitarios, con un buen porcentaje de contención. Por ello una vez incrementada la cobertura total de la disposición de residuos en los sitios legalmente establecidos, la implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos permitirá cambiar la visión de la disposición de residuos hacia su valorización, cambiando el foco desde la gestión de residuos a gestión de recursos.
- El enfoque debe ser sistémico, siguiendo el ciclo de vida de los residuos, aplicando en cada etapa soluciones que tengan por objetivo, que la disposición sea la mínima posible. Para ello, la segregación en origen es importante para aplicar intensivamente el principio 3R. La siguiente prioridad después de la minimización de generación de residuos y del reciclaje, es el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos, lo cual se puede realizar por técnicas tales como compostaje y digestión anaerobia. Considerando que los residuos orgánicos conforman sobre el 40% de los RSDyA, diferentes composiciones de RSDyA pueden ser también tratados por técnicas como la incineración, gasificación y pirólisis.
- Se requiere mejorar los modelos de gestión de recursos para el tratamiento de residuos, para disminuir la brecha que se ha identificado entre los ingresos por aseo y ornato, y costos por gestión de residuos.
- El estudio realizado demuestra que hay tecnologías comerciales posibles de ser implementadas en Chile, que estas requieren una visión sistémica, donde hay tamaños adecuados, para lo cual se requieren recursos y/o definir tarifas que pueden subir el costo de manejo, pero no sustancialmente.
- De acuerdo al nivel de madurez, factibilidad técnica, ambiental, legal e institucional, actualmente, las principales técnicas de tratamiento de residuos que pueden ser implementadas son el pretratamiento, el compostaje, la digestión anaerobia y la incineración.
- De acuerdo a la disponibilidad de fondos en la ley de presupuestos 2019, provenientes del Fondo Nacional de Desarrollo Regional, el Programa de Inversión Regional permite que se pueda solicitar fondos para invertir en plantas de compostaje, pretratamiento y digestión anaerobia. En el caso de Incineración, solo se puede implementar en la Región Metropolitana. La implementación de las tecnologías de incineración requiere emplear fondos internacionales para disponer de mayores recursos.
- Si bien estos proyectos de tratamiento de residuos no son en general rentables desde un punto de vista de evaluación privada, si se realiza una evaluación social de los proyectos, se vuelven rentables. Sólo incorporando el valor social del carbono asociado a la disminución de GEI, estas alternativas se hacen interesantes.

- En general, las condiciones particulares de cada lugar son más relevantes que la ubicación geográfica. No existe en sí mismo una tecnología única para todos los lugares, cada una de ellas tienen sus ventajas y desventajas en función de las realidades particulares de cada sitio y que quedan descritas en el texto de este estudio.
- Si bien las tecnologías de tratamiento de residuos poseen particularidades para su implementación, el desarrollo actual permite que, dentro de las tecnologías escogidas, Compostaje, Pretratamiento y Digestión Anaerobia puedan ser implementadas en todo el territorio chileno. Debido a la humedad, carga orgánica y cenizas de los residuos, la implementación de las tecnologías térmicas se puede realizar solo en las Macrozonas Norte y Centro del país.
- Las tecnologías de gasificación y pirólisis pueden ser implementadas, pero requieren de mayores estudios de aplicación a las características del territorio chileno y evaluación de su operación, para poder evaluar las inversiones requeridas y eficiencias de los procesos.
- La información levantada para la ejecución de este proyecto podrá ser empleada como pauta para el desarrollo de guías para los diferentes Ministerios, para el desarrollo de una metodología de evaluación de proyectos de valorización de residuos.
- La evaluación de la implementación de las tecnologías se analizó bajo escenarios específicos, demostrando una mayor aplicabilidad en zonas metropolitanas. Estos escenarios serán de vital importancia para el desarrollo de proyectos de tratamiento de residuos que posean una mayor escala. Se recomienda expandir el análisis de la implementación de las tecnologías empleando las herramientas entregadas a la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, para analizar casos particulares de implementación en comunas de menor tamaño.
- De acuerdo a las capacidades identificadas en los diferentes actores involucrados en la gestión de los residuos, se determinó que, sin importar la capacidad de tratamiento de la planta, el modelo de negocios y operación de las tecnologías de valorización debe considerar licitación de proyectos tipo BOT (Build-Operate-Transfer) o BOOT (Build-Own-Operate-Transfer).

19.2 Recomendaciones

De acuerdo a la información presentada en las diferentes etapas del proyecto y la retroalimentación obtenida por las jornadas de discusión y jornada del seminario taller, se presentan las siguientes recomendaciones:

4. Los países desarrollados, especialmente Europa, tienen estrategias propias de una Economía Circular. En Chile aún no se tiene una política pública en este sentido para los residuos urbanos y es importante disponer en el corto plazo de una política para los residuos orgánicos. La política pública debe indicar los porcentajes de residuos que deben ser destinados a ser tratados por las diferentes tecnologías de tratamiento y las metas de implementación en el corto y mediano plazo.
5. Una vez incrementada la cobertura total de la disposición de residuos en los sitios legalmente establecidos, la implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos permitirá cambiar la visión de la disposición de residuos hacia su valorización, cambiando el foco desde la gestión de residuos a gestión de recursos. Para ello se debe desarrollar una estrategia con un modelo sistémico de economía circular para los residuos urbanos y asimilables, que considere acciones en todo el ciclo de vida.
6. Se deben generar incentivos y disminuir los desincentivos, de tal manera que se pueda incorporar estas tecnologías de valorización como parte integral de la gestión de los residuos sólidos urbanos y asimilables. Entre los aspectos más importantes está la modificación de la Ley de Rentas municipales, que actualmente promueve soluciones en la dirección contrarias. Entre otros aspectos que se pueden evaluar, se cuentan los siguientes:
 - Pago obligatorio para la disposición de residuos, proporcional a la generación y nivel socioeconómico.
 - Aplicación de un impuesto o cargo por eliminación anticipada a productos prioritarios para ser tratados.
 - Establecimiento de porcentajes de residuos destinados a diferentes alternativas de tratamiento.
 - Continuidad de políticas de gestión de residuos que permitan trabajos Intercomunales y tratamiento valorizado de residuos.
 - Impulsar creación de empresas de reciclaje, mediante la extensión de la normativa actual vigente. Esto permitirá que no se genere la concentración de empresas en la zona central de Chile.
 - Priorizar el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos y de residuos con alto potencial calorífico.
 - Garantía de pago mínimo a tecnologías de tratamiento de residuos para obtener una factibilidad económica que permita su aplicación, y en el caso de las tecnologías de generación energética, aplicar un modelo de pago que permita subsanar variaciones en el precio de venta de energía.
 - Aplicar en los planes de ordenamiento territorial, definición de sectores destinados para el tratamiento de residuos y su disposición, para que no haya poblaciones cercanas y disminuyan las inversiones asociadas a compra de terreno.
10. En los casos en que la disponibilidad de residuos no sea suficiente para ser económicamente factible su valorización, se deben buscar sinergia entre el sector público y el sector privado para obtener una

disponibilidad de residuos que permita disminuir los costos por tratamiento de las tecnologías de valorización.

11. Se recomienda emplear fondos públicos nacionales para obtener fondos para la implementación de plantas de pretratamiento, compostaje y digestión anaerobia. Los fondos para inversiones de la ley de presupuestos 2019 permiten que se puedan implementar plantas de diferentes tamaños de estas tecnologías, en todo Chile.
12. Se recomienda emplear fondos internacionales para obtener recursos que permitan la implementación de plantas de incineración u otros tipos plantas de tratamiento térmico.
13. Capacitar a los funcionarios municipales encargados de presentar proyectos de tratamiento de residuos, para poder incluir las tecnologías de valorización de residuos dentro de los portafolios de proyectos comunales e intercomunales.
14. En general, se debe ir hacia modelos centralizados que permitan economías de escala, lo que implica también una gestión de recolección y manejo centralizado e integral. No obstante, lo anterior es posible para casos específicos, desarrollar un modelo descentralizado con manejo y tratamiento in situ, minimizando los costos principalmente de transporte. Para ello se sugiere hacer un estudio al respecto.
15. El modelo de gestión de residuos debe tener en consideración una división entre las áreas metropolitanas y las áreas no metropolitanas.
 - Para las comunidades que se encuentren ubicadas dentro del área metropolitana, se recomienda que las responsabilidades de gestión de residuos sean traspasadas totalmente a los Gobiernos Regionales, para que se encarguen de la recolección, transporte, disposición y valorización de los residuos. Los servicios en las 8 áreas metropolitanas identificadas en el DFL 1/2019 debieran ser licitados, operando en modalidad intercomunal.
 - En toda área no metropolitana, se recomienda la formación de una mesa de trabajo intercomunal, conformada por profesionales de la Municipalidad que pertenecen a la Unidad de Aseo y Ornato. Es importante poder facilitar la continuidad de políticas de gestión de residuos en el tiempo, por lo que se requiere fortalecer las facultades de los Gobiernos Regionales para poder formar parte de esta mesa de trabajo, encargada de la gestión de residuos intercomunal.
 - No todas las comunas podrán realizar trabajos en conjunto, debiendo desarrollarse soluciones particulares en esos casos.
11. Para Fortalecer la gestión de los residuos, proponer normativas y velar por la correcta operación y uso de recursos para financiar las plantas de disposición y tratamiento de residuos, **se recomienda la creación de una Superintendencia de Residuos. La Superintendencia de Residuos** se propone como un organismo descentralizado, que estará encargado de velar porque la población tenga disponibles servicios de recolección, transporte, disposición y valorización de residuos, asegurando que un porcentaje de los residuos pueda ser valorizado. Bajo su operación, se busca pasar de un modelo de gestión de residuos a un modelo de gestión de recursos. Como tal, trabajará directamente con el Ministerio de Salud, la Superintendencia de Medio Ambiente y los Gobiernos Regionales.

Las labores propuestas para la Superintendencia de Residuos consideran:

- Fiscalización y cumplimiento normativo de los prestadores de servicios de recolección, transporte, disposición y valorización de residuos. Asegurando la entrega de un servicio sustentable en el tiempo, que cumpla con los estándares de calidad establecidos por normativas.
 - Pronunciarse respecto a planes de desarrollo presentados por las empresas de disposición y tratamiento de residuos, y trabajar en conjunto con la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, en fiscalizar el cumplimiento de los cronogramas de inversión.
 - Generar criterios para fijación de tarifa de los servicios de transporte, recolección, disposición y valorización de residuos, buscando promover la transparencia en el mercado, un autocontrol y un uso eficiente de los recursos.
 - Hacerse cargo de la implementación de una Ley que permita el pago por la recogida y tratamiento de los residuos, que fomente el uso de las tecnologías. El fin de esta medida es consolidar la fijación tarifaria justa de servicios de gestión de residuos.
 - Pronunciamiento para el desarrollo y evaluación de normativas relacionadas a la disposición de residuos y su tratamiento, con un trabajo en conjunto con el Ministerio de Medio Ambiente.
12. El modelo de negocios de la tecnología compostaje considera la venta de compost. Para hacer factible la implementación de la tecnología y considerando su baja demanda actual, se requiere impulsar el mercado del compost.
- Se recomienda hacer un estudio de mercado para determinar cuánto compost puede absorber efectivamente el sector agrícola nacional y cuál es la capacidad de comercializar el producto internacionalmente. Este estudio permitirá, en conjunto con estudios sobre los beneficios económicos de trabajos intercomunales y el incremento del cobro por transporte, determinar si conviene realizar trabajos locales o trabajos entre 2 o más comunas.
 - Para áreas metropolitanas, se desarrollarán proyectos comunales e intercomunales, de acuerdo a la disponibilidad de residuos orgánicos y distancias entre comunas. En áreas no metropolitanas, se recomiendan trabajos intercomunales, mediante mesas de trabajo.
 - Evaluar el contenido de metales pesados que contendría el compost generado a partir de los RSDyA. Si este valor impide su disposición en suelos, se deben seleccionar los residuos que van a compostaje (residuos de feria, por ejemplo).
13. El modelo de negocios de la tecnología de digestión anaerobia considera la venta de energía eléctrica y la opción de la venta del digestato semi estabilizado. Para el uso de esta tecnología, se requiere disponer de una fracción orgánica que tenga buena biodegradabilidad.
- El estudio técnico económico consideró principalmente los ingresos generados por la venta de energía eléctrica. Se debe evaluar la posibilidad de la valorización de la energía térmica, a través por ejemplo de: circuitos distritales de agua caliente.
 - Para determinar si es conveniente los trabajos intercomunales, se recomienda realizar un estudio que compare los beneficios económicos por trabajos entre comunas y el incremento del cobro por transporte, determinando si conviene realizar trabajos locales o trabajos entre 2 o más comunas.
 - Para áreas metropolitanas, se desarrollarán proyectos comunales e intercomunales, de acuerdo a la disponibilidad de residuos orgánicos y distancias entre comunas. En áreas no metropolitanas, se recomiendan trabajos intercomunales, mediante mesas de trabajo.

14. El modelo de negocios de la tecnología de incineración considera la venta de energía eléctrica y/o térmica. Para efectos de la evaluación económica, se consideró principalmente la generación de energía eléctrica, y los ingresos adicionales que pueden generar la venta de energía térmica.
- Se puede emplear la generación de energía térmica en casos puntuales, como para el aprovechamiento de industrias que se encuentren en las cercanías de la planta de incineración.
 - Adicionalmente, los actores expertos presentes en la jornada del Seminario Taller expusieron que se puede utilizar la energía térmica para calefacción distrital. Esta alternativa se puede aprovechar en casos puntuales en Chile, como puede ser en el Sur, considerando una segregación previa de los residuos que permita que sea factible técnicamente la implementación de la tecnología.
 - En las regiones que conforman la Macrozona Centro, el modelo de negocios considera soluciones comunales e intercomunales, con plantas de tratamiento que posean capacidad superior o igual a 100.000 ton/año. En la Macrozona Norte, los modelos consideran principalmente soluciones comunales, a excepción de la Región de Coquimbo, que puede tener soluciones comunales e intercomunales.
15. Luego de poder analizar casos piloto de tecnologías de pirolisis y gasificación que permitan obtener mayores antecedentes para desarrollar una inversión informada, se puede analizar sus modelos de negocio en mayor profundidad.
- La tecnología de pirolisis puede comercializar la venta de energía eléctrica y/o térmica, la venta de gases condensados o el gas sintético.
 - La tecnología de gasificación puede comercializar la venta de energía eléctrica y/o térmica, o la venta de gas sintético.
16. El modelo de negocios para la tecnología de pretratamiento de residuos puede permitir la valorización de residuos de gran volumen, metales, plásticos, papel y cartón, metales y vidrios. Mediante el pretratamiento de los residuos, se va a poder obtener el volumen necesario para poder comercializarlo en el mercado.
- Se destaca que **las tecnologías de tratamiento de residuos son complementarias**, por lo que **se busca utilizarlas como un tratamiento integral de los residuos**. Por ello, es que se recomienda que se establezcan porcentaje de residuos que pueden ser destinados a las tecnologías, de modo que se pueda realizar un diseño de planta que no requiera que se tenga que “comprar basura”, para ser sustentable.
 - Para determinar si es conveniente los trabajos intercomunales, se recomienda realizar un estudio que compare los beneficios económicos por trabajos entre comunas y el incremento del cobro por transporte, determinando si conviene realizar trabajos locales o trabajos entre 2 o más comunas.
 - Para áreas metropolitanas, se desarrollarán proyectos comunales e intercomunales, de acuerdo a la disponibilidad de residuos orgánicos y distancias entre comunas. En áreas no metropolitanas, se recomiendan trabajos intercomunales, mediante mesas de trabajo.

A. ANEXO 1: PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO

Tabla A-1. Carta Gantt del proyecto actualizada. La fecha de inicio corresponde al 22 de enero del 2019. Las fechas indicadas en la presente tabla corresponden a la semana de cierre. La tabla posee tres colores: amarillo corresponde a las actividades de inicio y cierre, el gris corresponde a la actividad, y el naranja a productos o reuniones.

CARTA GANTT		SEMANAS																								
ETAPA	ACTIVIDADES	29-enero	05-febrero	12-febrero	19-febrero	26-febrero	05-marzo	12-marzo	19-marzo	26-marzo	02-abril	09-abril	16-abril	23-abril	30-abril	07-mayo	14-mayo	21-mayo	28-mayo	04-junio	11-junio	18-junio	25-junio	02-julio	09-julio	
GLOBAL	1. Reunión de Inicio (KOM)																									
	2. Ajuste Metodológico																									
	3. Identificación Actores Claves																									
	4. Selección Gobiernos Regionales																									
	5. Pauta Preliminar de Entrevistas																									
	6. Revisión Bibliográfica Preliminar																									
	7. Informe 1 (producto 1)																									
	8. Reunión 1																									
ETAP A 1	9. Recopilación y Análisis de Información																									

CARTA GANTT		SEMANAS																								
ETAPA	ACTIVIDADES	29-enero	05-febrero	12-febrero	19-febrero	26-febrero	05-marzo	12-marzo	19-marzo	26-marzo	02-abril	09-abril	16-abril	23-abril	30-abril	07-mayo	14-mayo	21-mayo	28-mayo	04-junio	11-junio	18-junio	25-junio	02-julio	09-julio	
	10. Diagnóstico Nacional																									
	11. Tendencias Internacionales																									
	12. Análisis del Estado del Arte																									
	13. Estudio de Tecnologías. Pretratamiento																									
	14. Estudio de Tecnologías. Térmicas																									
	15. Estudio de Tecnologías. Biológicas																									
	16. Informe 2 (producto 2)																									
17. Reunión 2																										
ETAPA 2	18. Ficha Descriptiva de cada Tecnología																									
	19. Análisis de Estructura de Plantas																									
	20. Análisis I/O de Procesos Unitarios																									
	21. Indicadores de Diseño de las Plantas																									

CARTA GANTT		SEMANAS																								
ETAPA	ACTIVIDADES	29-enero	05-febrero	12-febrero	19-febrero	26-febrero	05-marzo	12-marzo	19-marzo	26-marzo	02-abril	09-abril	16-abril	23-abril	30-abril	07-mayo	14-mayo	21-mayo	28-mayo	04-junio	11-junio	18-junio	25-junio	02-julio	09-julio	
	22. Indicadores de Desempeño de las Plantas																									
	23. Indicadores Económicos																									
	24. Tecnologías complementarias																									
	25. Requerimientos de Plantas Actuales																									
	26. Consideraciones ambientales																									
	27. Marco legal																									
	28. Modelo de Negocios																									
	29. Informe 3 (producto 3)																									
	30. Reunión 3																									
	ETAPA 3	31. Desarrollo de Propuestas																								
32. Recomendaciones de Implementación																										
33. Viabilidad de Inversión Pública																										

CARTA GANTT		SEMANAS																										
ETAPA	ACTIVIDADES	29-enero	05-febrero	12-febrero	19-febrero	26-febrero	05-marzo	12-marzo	19-marzo	26-marzo	02-abril	09-abril	16-abril	23-abril	30-abril	07-mayo	14-mayo	21-mayo	28-mayo	04-junio	11-junio	18-junio	25-junio	02-julio	09-julio			
	34. Identificación Financiamiento																											
	35. Informe 4 (producto 4)																											
	36. Reunión 4																											
	37. Informe 5 preliminar																											
	38. Programación de Jornada de Discusión																											
	39. Jornada de Discusión Informe 5																											
	40. Informe 5 (producto 5)																											
	41. Reunión 5																											
	42. Informe 6 preliminar																											
	43. Seminario Final																											
	44. Informe 6 (producto 6)																											
	45. Reunión 6																											
	GLOBAL	46. Informe final (producto 7)																										

Fuente: Planificación presentada a la licitación pública del proyecto, ajustada con la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.

B. ANEXO 2: PAUTA DE ENTREVISTA

El presente Anexo contiene la pauta de preguntas de las entrevistas. Debe destacarse que la pauta es la base de una encuesta semiestructurada, que se fue ajustando dependiendo del actor clave al cual se entrevistó y dependiendo de si correspondía a institución, empresa o era un profesional independiente.

Se identifica como actor clave, a un profesional representativo de la institución.

Las entrevistas y encuestas tienen como finalidad recopilar, ampliar y perfeccionar la información disponible del conjunto de tecnologías existentes, para la mejor gestión de los residuos sólidos en el país. El énfasis de esta pauta está centrado en tecnologías alternativas a los rellenos sanitarios.

a. Contenido preliminar de la encuesta

Se ha desarrollado una encuesta tipo, con un sistema mixto de preguntas que se encuentra estructurado por temas de interés general y comunes para todos los entrevistados. Las entrevistas consideran temas singulares y específicos de la gestión de residuos, capacitaciones, logística y actualización de conocimientos, identificando el rol que juega el entrevistado en la gestión de los residuos sólidos y las falencias que posee el sistema actual en cuanto a precisiones de leyes y normas.

La encuesta mostrada en la Tabla B-1 a la Tabla B-7, se puede realizar a empresas, instituciones, ONGs, representativas dentro de los Gobiernos Regionales y profesionales expertos seleccionados, realizando modificaciones dependiendo de las características del entrevistado.

Mecanismo para la realización de la encuesta:

- a) Se contacta a los actores claves (expertos), por diferentes modalidades disponibles, incluyendo, pero no limitando, llamadas de teléfono, correo electrónico o solicitud de reuniones.
- b) En caso de ser una entidad gubernamental, se procederá a trabajar en conjunto con la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, para que la contraparte pueda realizar las solicitudes formales, generando una entrevista con todos los actores relevantes gubernamentales de la Macrozona, en una fecha predeterminada.
- c) Las entrevistas se separarán en aquellas realizadas presencialmente, por teléfono y por videollamada, dependiendo de la modalidad que se pueda acordar entre el actor clave y la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- d) La entrevista parte por la presentación: se informa al entrevistado del motivo de la entrevista, entregando antecedentes del proyecto. En caso de poseer consultas, también se dedicará parte de la entrevista en responder las consultas que el actor clave pueda tener.
- e) Identificación del Entrevistado: se registra los datos de la persona entrevistada y del entrevistador, hora, fecha y lugar de la reunión, y la información general de la entrevista.
- f) Estado actual de gestión de residuos: se identifican los tipos de residuos que genera o maneja el entrevistado o a quien representa, categorizándolos por cantidad y tipo. Se busca identificar tanto la disposición final de los residuos, como las medidas implementadas para lograr su disminución y realizar su gestión.

- g) Tecnologías: se identifican los procesos que actualmente se están implementando, separándolos como procesos biológicos (compostaje, digestión anaerobia y otros a especificar), y procesos físico químicos (pirólisis, combustión, gasificación, otros a especificar). Las limitaciones con las cuales se encuentran para implementar los diferentes tipos de tecnologías, y los procesos para realizar su gestión de residuos.
- h) Recursos relacionados con gestión de residuos: se busca identificar los profesionales relacionados a la gestión de residuos, los cursos de capacitación que son dictados, en conjunto con los estudios en la temática que emplean, las principales empresas relacionadas con la gestión de residuos, y los recursos invertidos para la gestión de residuos.
- i) Organización y cadena de suministros: se busca identificar las capacidades internas de gestión de residuos y como se han implementado las diferentes normas y leyes que afectan su gestión. Para ello, se determina el número total de profesionales relacionados con la gestión de residuos, los procedimientos, puntos críticos, medidas implementadas para la ley REP, y las normas que actualmente poseen.
- j) Visión General de la gestión de residuos: se recabará información respectiva a la actualidad de la gestión de residuos y como es percibida por el entrevistado.
- k) Temas abiertos: dependiendo si el entrevistado pertenece al sector empresarial, institucional, ONG u otros, se plantean temas de conversación que permitan recoger opiniones sobre los temas relacionados al proyecto.
- l) Cierre de la entrevista y comentarios finales: se termina la reunión con una última participación de ambas partes, que permite revisar si faltó algún tema o bien existen aspectos no tratados, que puedan complementar la información recabada.

Tabla B-1. Datos Generales de la Encuesta (Parte 1)

Encuesta: Gestión de Residuos	
Datos generales	DATOS GENERALES
	Fecha y Hora Entrevista
	Lugar
	Ciudad
	Región
	IDENTIFICACION ENTREVISTADOR
	Nombre y Apellidos
	Cargo en el Proyecto
	IDENTIFICACION ENTREVISTADO
	Nombre y Apellidos
	Identificar y nombrar: Empresa, Institución, ONG u otro
	Teléfono/Celular
	Correo principal
	Si respondió empresa o institución, nombrar su Cargo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B-2. Estado actual de la gestión de residuos (Parte 2)

Estado actual de gestión de residuos por empresa/institución, ONG u otros			
¿Qué tipo de residuos genera?	Identificación del Tipo de Residuo	Cantidad	Unidad
	Domésticos		
	Asimilables		
	Industriales		
	Peligrosos		
	Otros *		
	* En caso de responder otros, por favor nombrar el tipo de residuo		
¿Qué disposición final tienen sus residuos? Responder con una X para el tipo de disposición final que corresponde y mencionar la ubicación del lugar de disposición final	Vertedero Municipal		
	Relleno Sanitario		
	Empresas de Gestión de Residuos		
	Otros (especificar)		
¿Qué acciones para disminuir residuos posee actualmente?	Identificación del proceso de disminución de residuos	Responder Si/No	Cantidad y Unidad
	Reciclaje		
	Reúso		
	Reducción/Minimización		
	Otro (especificar)		
En caso de ser una Empresa o Institución, responder: ¿Qué gestión de residuos tiene implementadas?	Acuerdos de Producción Limpia (APL)		
	Mejoras de eficiencia productiva		
	Exigencias a proveedores		
	Otras (especificar)		
	Ninguna		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B-3. Tecnologías (Parte 3)

Tecnologías			
Indicar el tipo de proceso o tecnología que actualmente emplea y plantea implementar a futuro. Se busca identificar cual tecnología tiene es predilecta por la empresa/institución	PROCESOS	Uso Actual	Uso Futuro
	Procesos Biológicos		
	Compostaje		
	Digestión Anaerobia		
	Otros (especificar)		
	En caso de responder uso futuro, por favor indicar el número de años al cual plantea implementarlo		
	Procesos Físicos y Químicos		
	Pirólisis		
	Combustión		
	Gasificación		
	Otros (especificar)		
	En caso de responder uso futuro, por favor indicar el número de años al cual plantea implementarlo		
	¿Cuáles son las mayores limitaciones para implementar estas tecnologías?	Recursos Financieros	
Conocimiento de la tecnología			
Falta de información			
Falta de incentivos (Indicar el tipo)			
Otras (especificar)			
¿Qué debe realizar la empresa/institución para la gestión de residuos?	Identificar el tipo de Medida requerida, con una X	Si	No
	Proyecto de ingeniería		
	Desarrollo de I+D		
	Experiencia Piloto		
	Adquisición de equipos		
	Giras tecnológicas		
	Otras (especificar)		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B-4. Recursos relacionados con gestión de residuos (Parte 4)

Recursos relacionados con la gestión residuos		
¿Qué recursos humanos están dedicados a la gestión de residuos?	N° profesionales	
	N° no profesionales	
	Indicar tiempo de dedicación a esta labor (Horas Hombre HH)	
¿Tiene la empresa/institución definidos cursos de capacitación en temas relacionados con residuos?	Indicar cuales, frecuencia u quienes lo dictan:	
¿Qué empresas externas están relacionadas con esta gestión?	Especificar nombres:	
¿La empresa/institución contrata estudios sobre el tema de gestión de residuos?	Especificar qué estudios:	
¿Qué recursos económicos requiere la gestión de residuos?	Indicar monto aproximado anual	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B-5. Organización y cadena de suministros (Parte 5)

Organización y cadena de suministros	
¿Tiene la empresa/institución una unidad de gestión de los residuos?	Indicar total de trabajadores:
¿En la cadena de suministros, tiene la empresa/institución, considerados procedimientos respecto de residuos?	Indicar que procedimientos existen y normas aplicadas:
¿En la cadena de suministros, que aspectos incidirían más en la gestión de residuos?	Detallar aspectos claves:
¿Qué partes y/o procesos de fabricación son más críticos en relación a los residuos?	Detallar aspectos claves
¿Qué medidas ha implementado la empresa/institución respecto de la Ley REP?	En caso de ser afectada, indicar el tipo de medidas que está implementando:
	En caso de ser afectada, indicar el tipo de medida que plantea emplear a futuro, y el tiempo estima que se requiere para implementarse:
¿Tiene la empresa/institución información actualizada de las normas?	Informar cómo obtienen la información y la última norma que se ha aplicado:

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B-6. Visión General de la gestión de residuos (Parte 6).

Visión general de la gestión de residuos	
¿Qué considera relevante tomando en cuenta el contexto nacional e internacional relacionado con los residuos?	
¿Qué aspectos logísticos y de infraestructura del país estima que deben ser mejorados para esta gestión?	
¿Qué podría proponer para mejorar la gestión de residuos en el país?	

Fuente: Diseño propio.

Tabla B-7. Temas abiertos (Parte 7).

Temas abiertos

Fuente: Diseño propio.

Para preguntas que no tengan relación con la empresa, institución, ONG u otros, anotar "NC" (No Compete).
para preguntas sin información, anotar "SI"

C. ANEXO 3: PRESENTACIÓN DE JORNADA DE DISCUSIÓN



GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA EMPRESA

**“Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros”
761-49-LP18**

www.nbcpucv.cl

Etapas del Proyecto

ETAPA GLOBAL DE INICIO

- Ajuste Metodológico
- Identificación de los actores Claves
- Selección de los Gobiernos Regionales
- Pauta preliminar de entrevistas
- Revisión Bibliográfica Preliminar

PRIMERA ETAPA

- Recopilación y Análisis de Información
- Diagnóstico nacional
- Tendencias Internacionales
- Análisis del Estado del Arte
- Estudio de Tecnologías
- Estudio de Tecnologías Térmicas
- Estudio de Tecnologías Biológicas

Etapas del Proyecto

ETAPA 2

- Ficha Descriptiva de Cada Tecnología
- Análisis de Estructura de Plantas
- Análisis I/O de Procesos Unitarios
- Indicadores de Diseño de las Plantas
- Indicadores de Desempeño de las Plantas
- Indicadores Económicos
- Tecnologías complementarias
- Requerimientos de Plantas Actuales
- Consideraciones ambientales
- Marco legal
- Modelo de Negocios

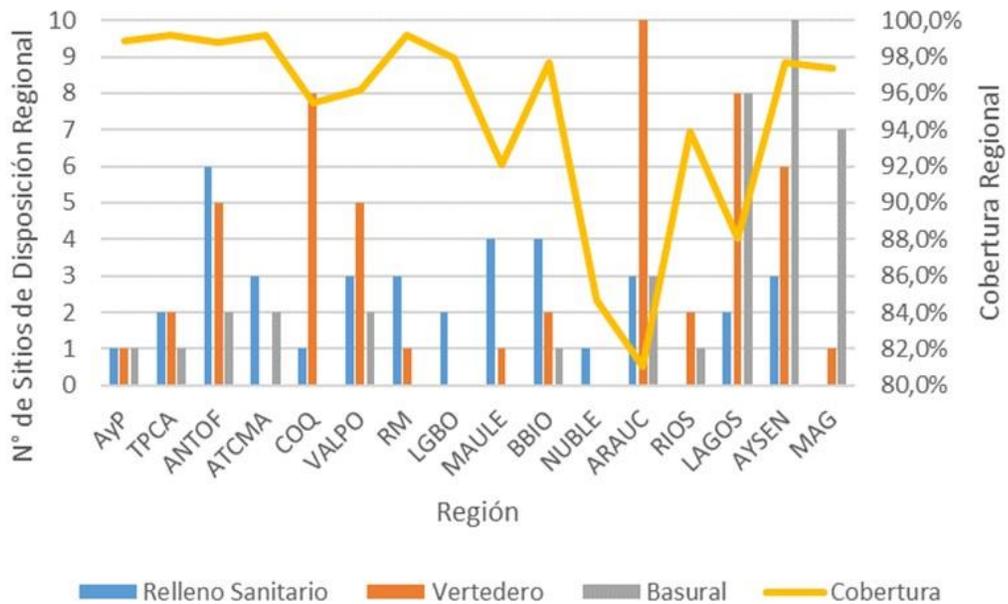
ETAPA 3

- Desarrollo de Propuestas
- Recomendaciones de Implementación
- Viabilidad de Inversión Pública
- Identificación Financiamiento
- Jornada de Discusión
- Seminario de presentación de resultados del proyecto

ETAPA GLOBAL FINAL

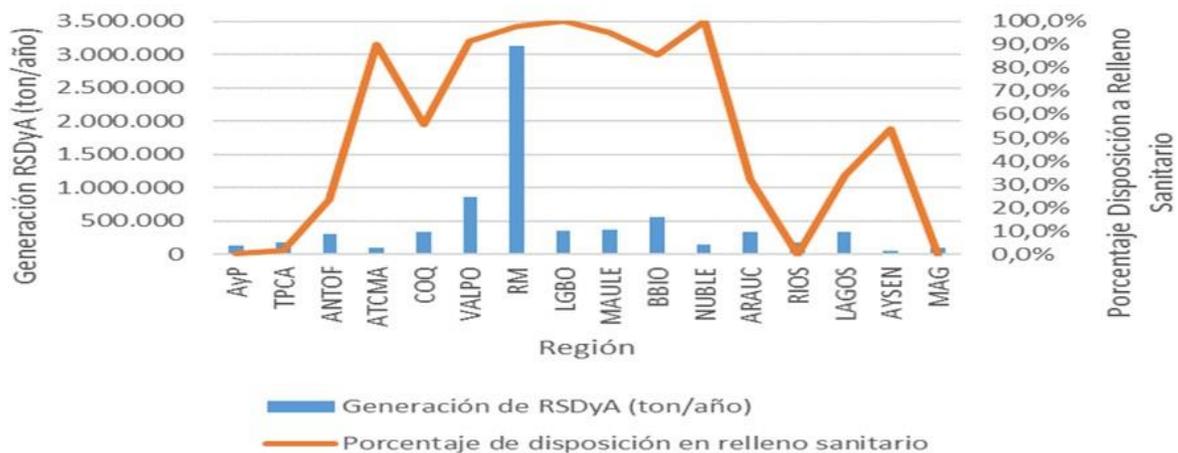
- Informe final de cierre del proyecto

Antecedentes



Análisis regional del número de sitios de disposición y la cobertura regional de recolección del año 2017

Antecedentes



Generación de RSDyA por región (ton/año) y Porcentaje de disposición a Relleno Sanitario, año 2017

Alternativas tecnológicas evaluadas



Tratamiento biológico

- **Compostaje.**
- **Digestión Anaeróbica.**



Tratamiento térmico

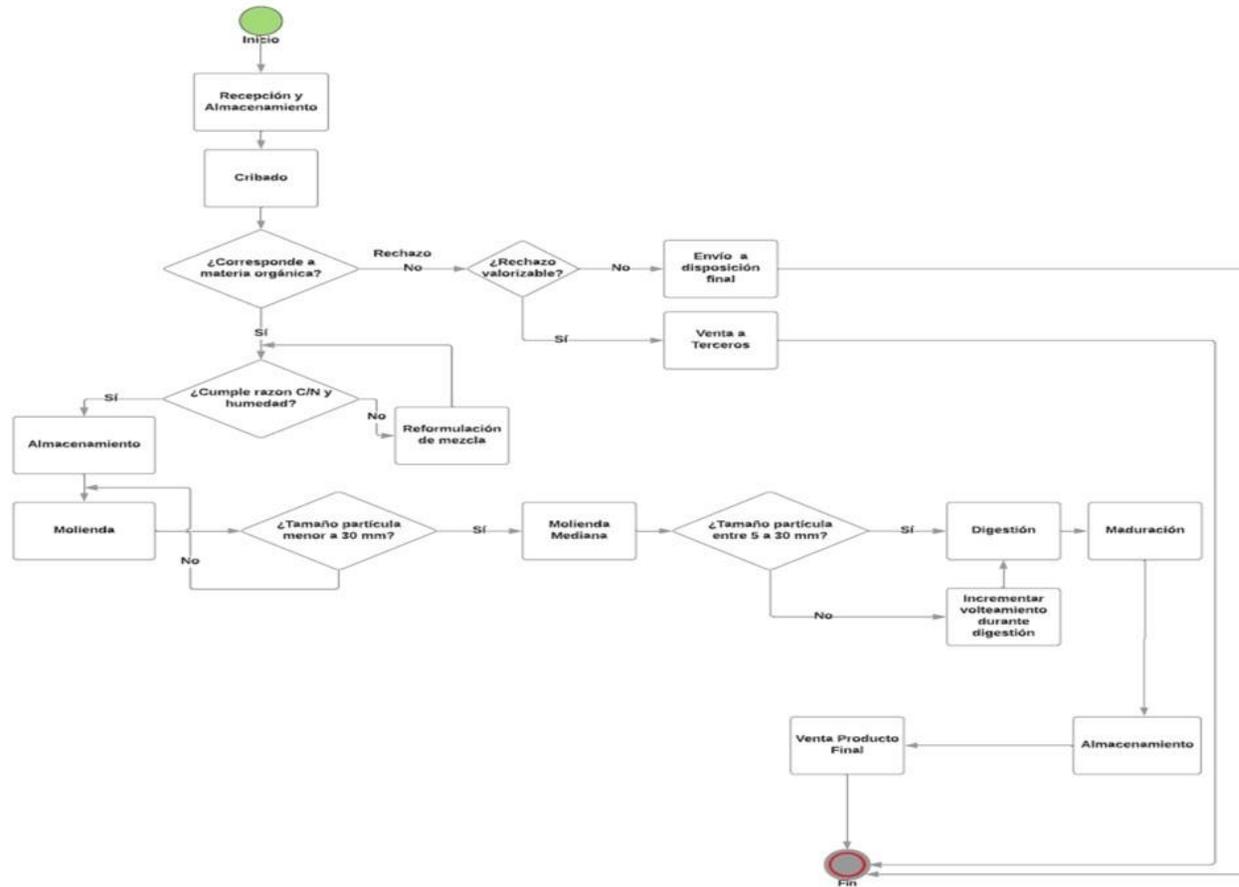
- **Incineración**
- **Pirólisis.**
- **Gasificación.**



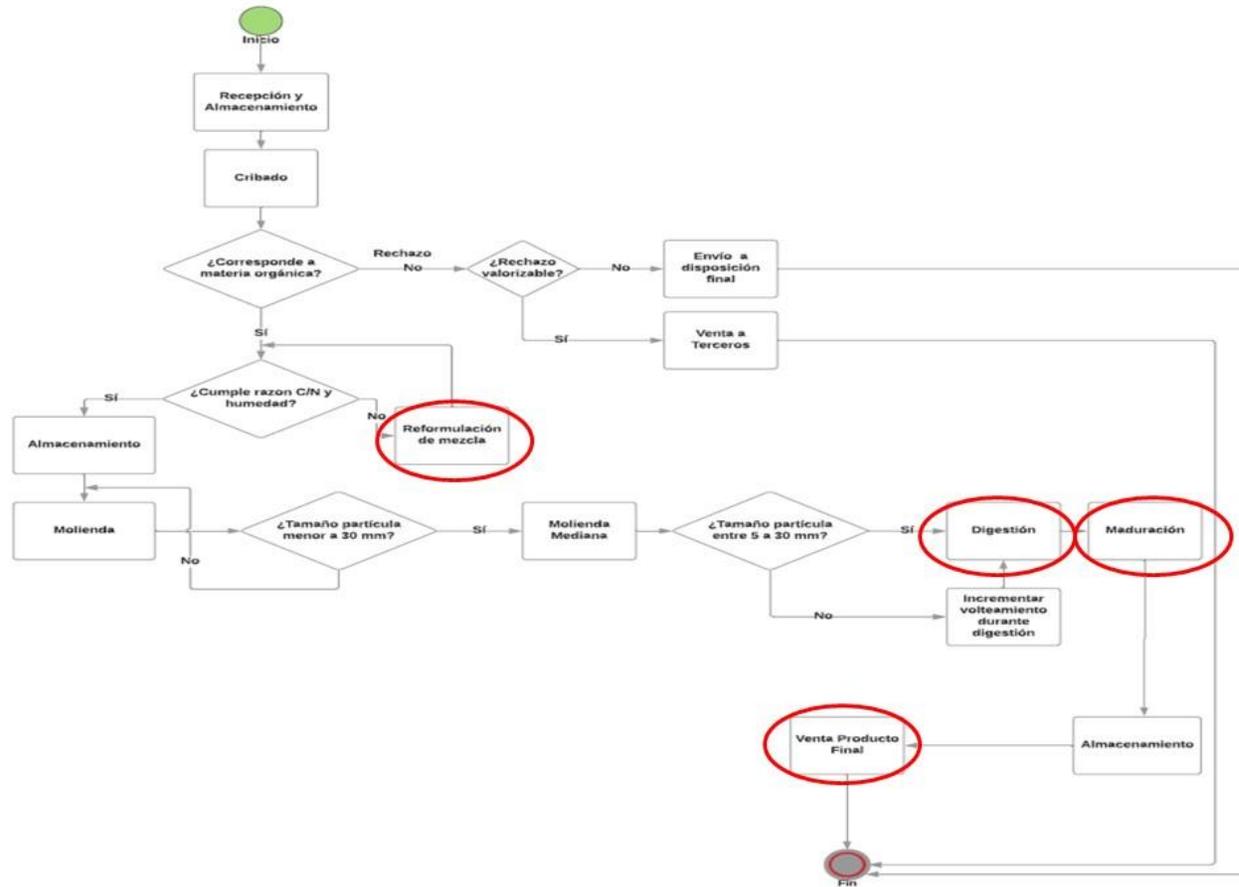
Pretratamiento de residuos para su reutilización o reciclaje

- **Reducción de tamaño (trituración).**
- **Compactación o densificación de residuos.**
- **Separación (manual y magnética).**

COMPOSTAJE



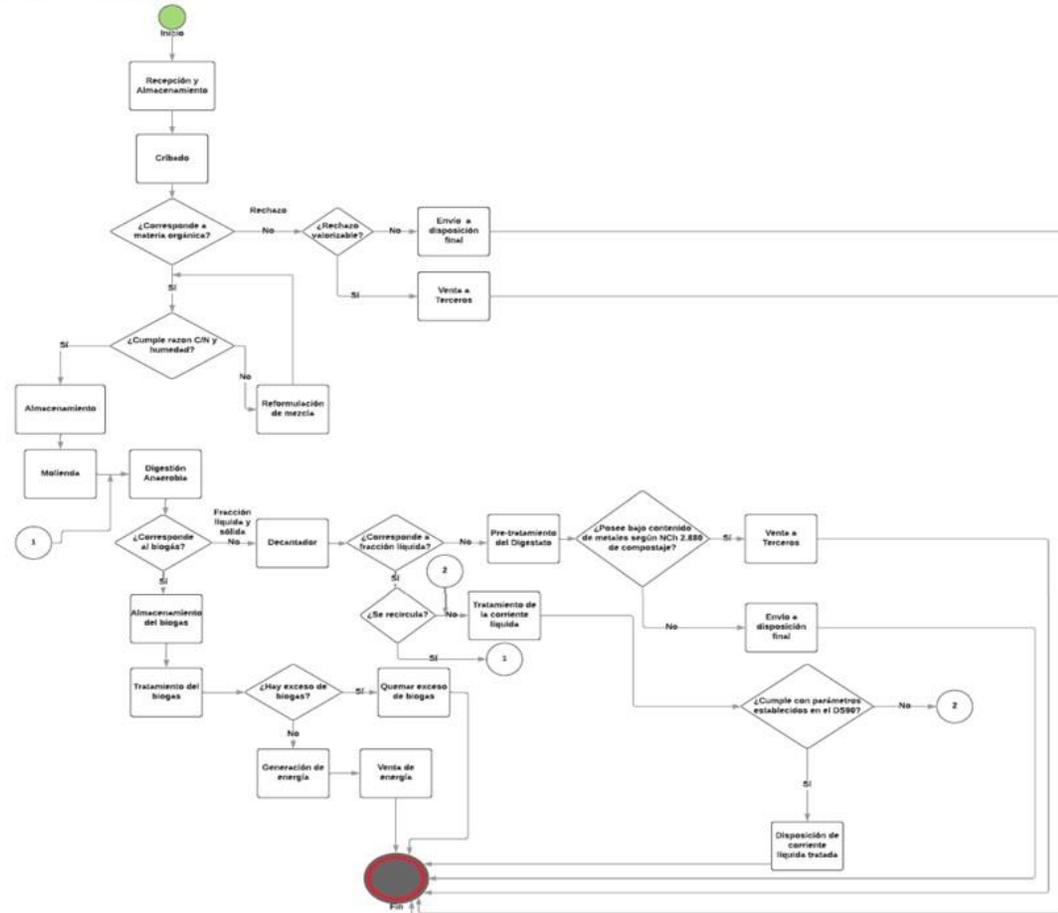
COMPOSTAJE



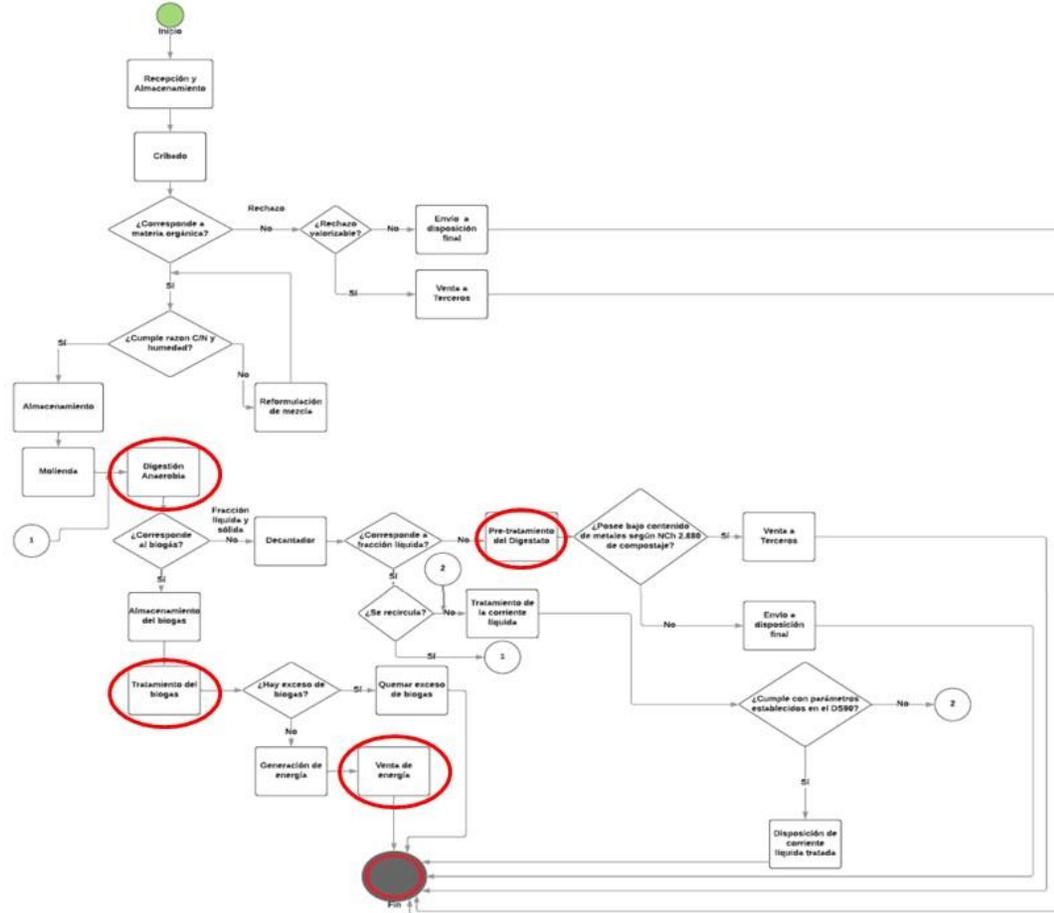
Ficha resumen de la tecnología de Compostaje

Categoría	Tecnología
	COMPOSTAJE
Fundamento	Proceso que consiste en la estabilización biológica de la fracción orgánica de los residuos, mediante una fermentación bacteriana termofílica de la materia orgánica.
Tecnologías disponibles	Compostaje lento o natural Compostaje acelerado
CAPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$ 111.337 (CLP/ton), para una planta que trata 10.000 ton/año.
OPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$12.588 (CLP/ton), para una planta de 10.000 ton/año.

DIGESTIÓN ANAEROBIA



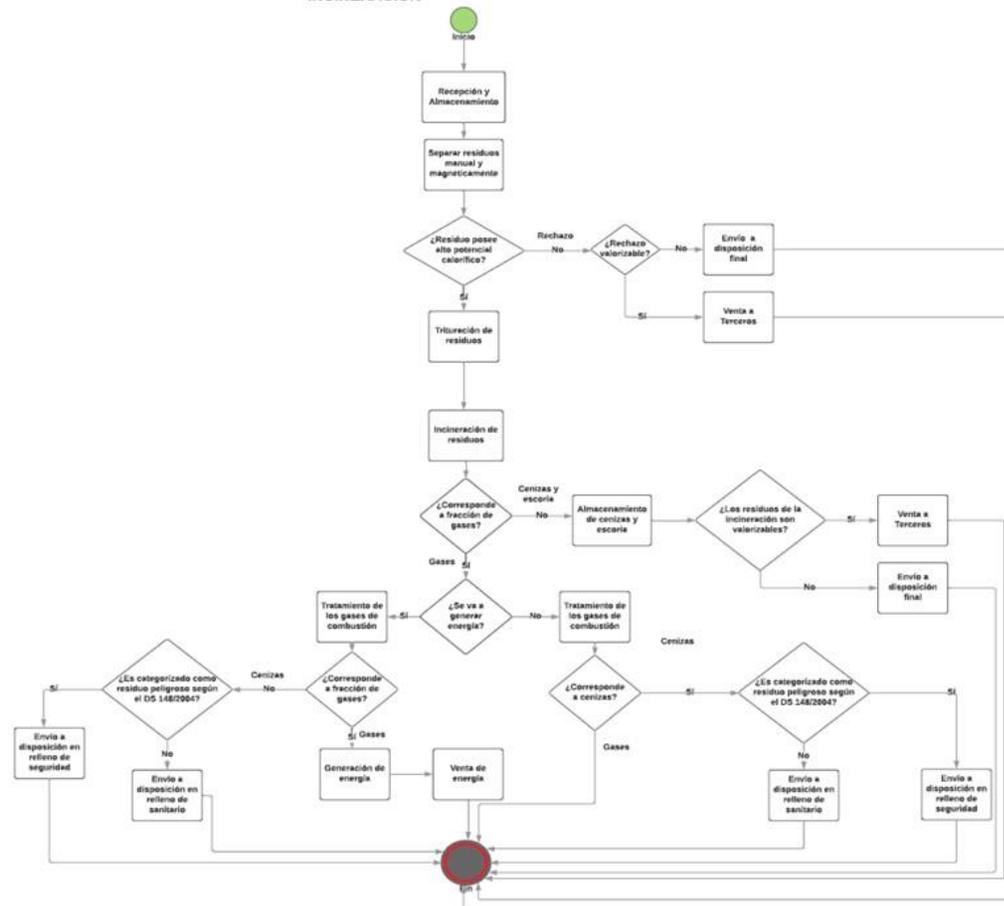
DIGESTIÓN ANAEROBIA



Ficha resumen de la tecnología de Digestión Anaerobia

Categoría	Tecnología
	DIGESTIÓN ANAEROBIA
Fundamento	Proceso biológico empleado para lograr la estabilización de la materia orgánica, que se da de manera natural en ausencia de oxígeno.
Tecnologías disponibles	Digestión húmeda Digestión seca Digestión en una etapa Digestión en multietapas. Digestión anaerobia mesofílica Digestión anaerobia termofílica
CAPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$204.238 (CLP/ton), para una planta que trata 10.000 ton/año.
OPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$19.753 (CLP/ton), para una planta que trata 10.000 ton/año.

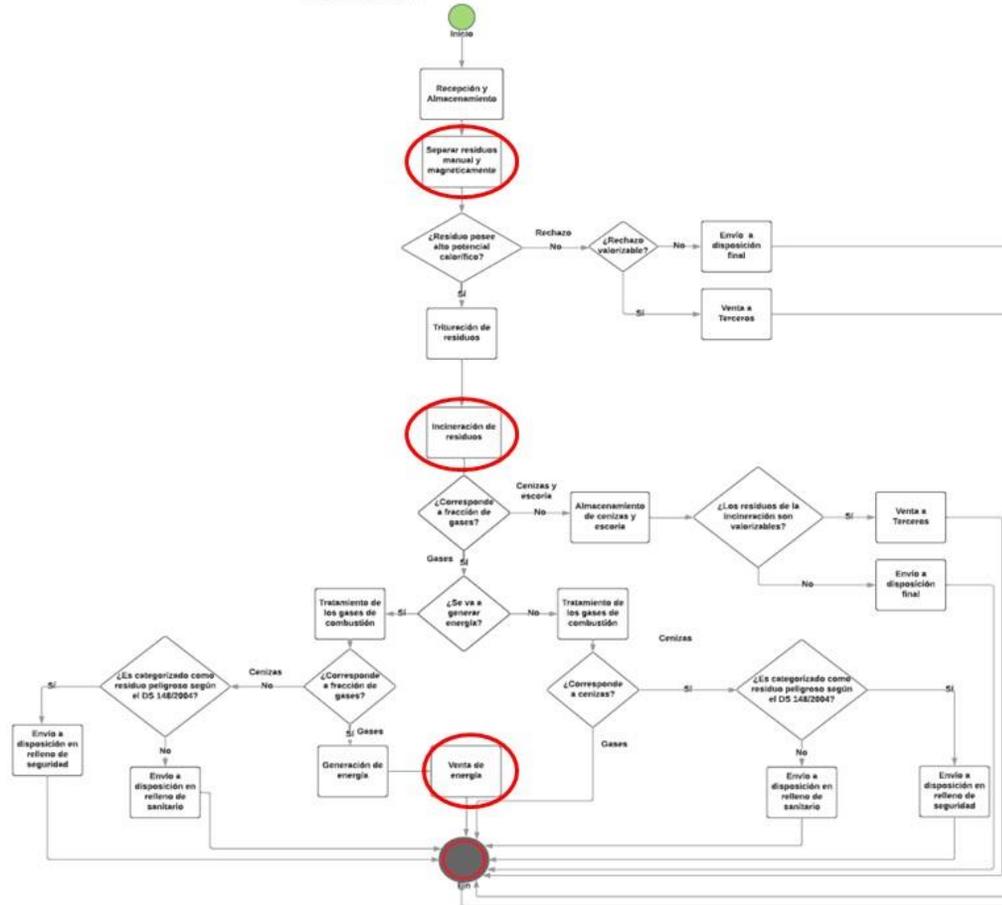
INCINERACIÓN



Sistemas de Generación de Energía

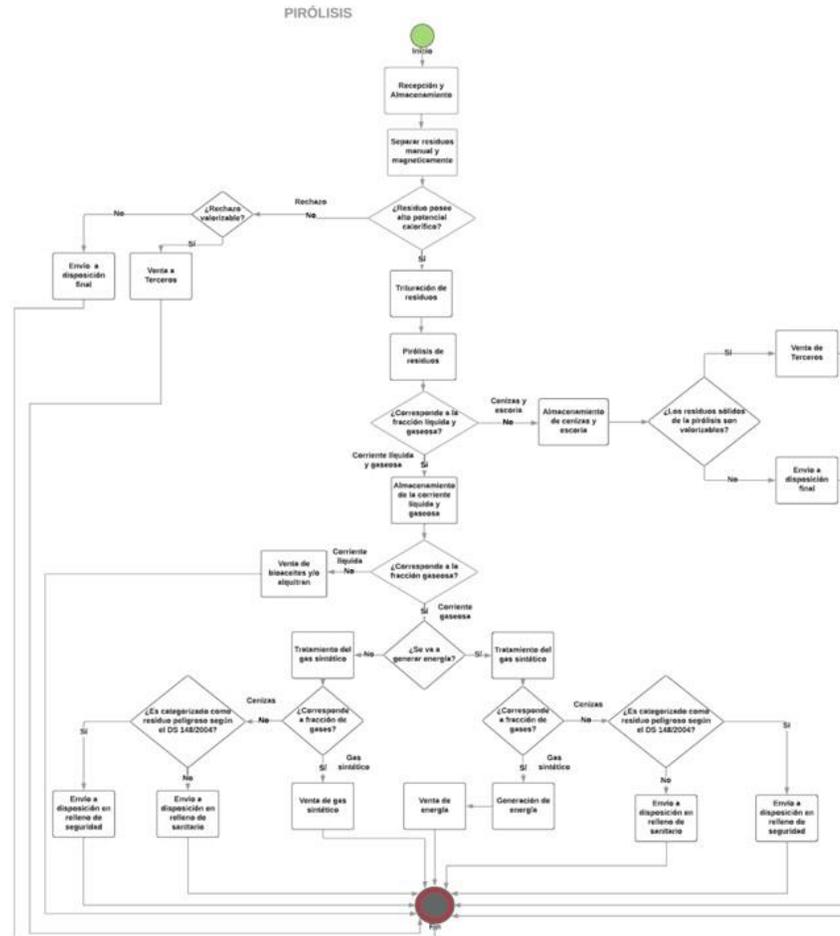
- **Sistemas generación energía:**
Caldera de agua caliente e intercambiador de calor:
genera calefacción.
- **Caldera de vapor a baja presión:**
genera vapor.
- **Caldera de vapor de alta presión y Turbina de vapor:** genera vapor y electricidad, o electricidad y calefacción.

INCINERACIÓN



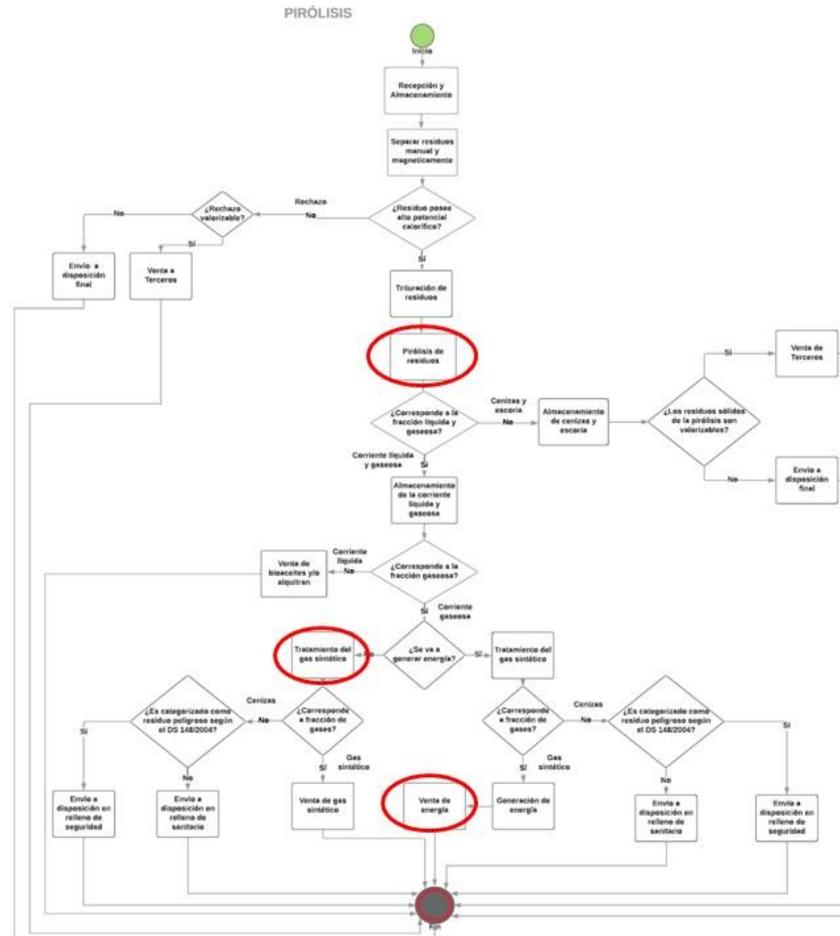
Ficha resumen de la tecnología de Incineración

CATEGORÍA	TECNOLOGÍA
	INCINERACIÓN
Fundamento	La combustión es una reacción química de oxidación entre un combustible y un comburente, caracterizada por su gran exotermicidad y por las elevadas temperaturas a las que se produce (850 a 1.200 °C).
Tecnologías disponibles	Parilla Horno Rotatorio Lecho fluidizado Horno para líquidos
CAPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$712.525 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año.
OPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$21.479 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año.



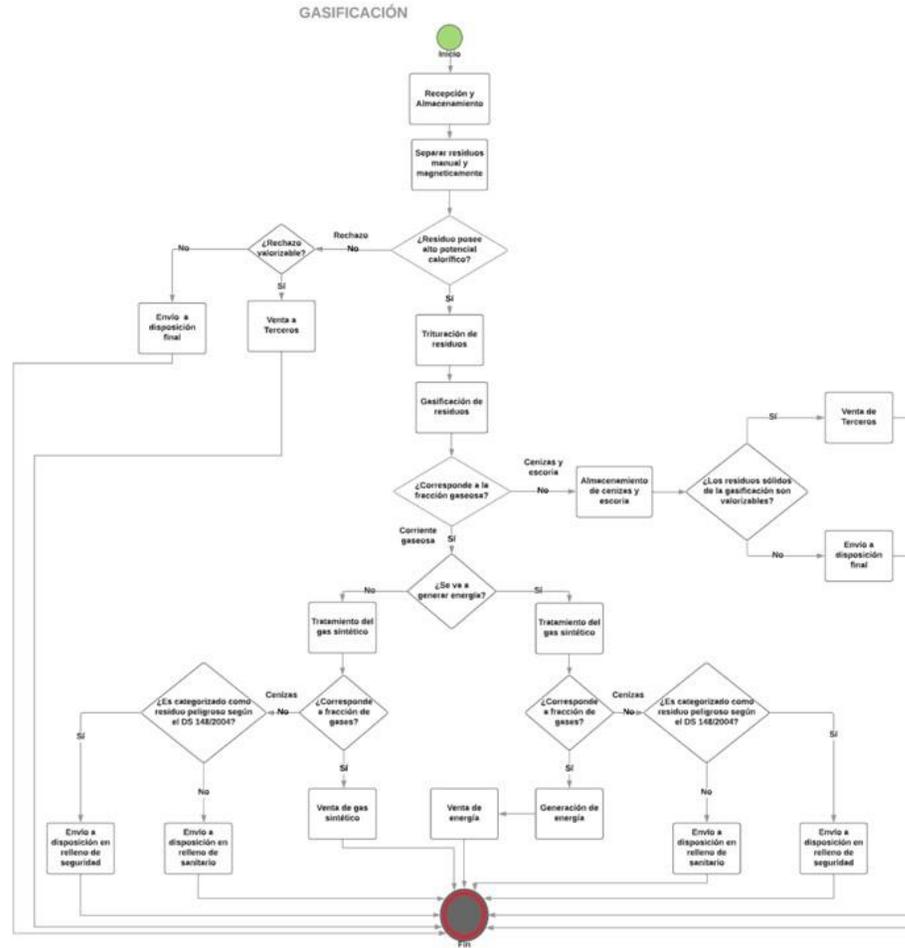
Sistemas de Generación de Energía

- **Sistemas generación energía:**
Turbina a gas: genera energía eléctrica.
- **Motor a gas:** genera energía eléctrica.



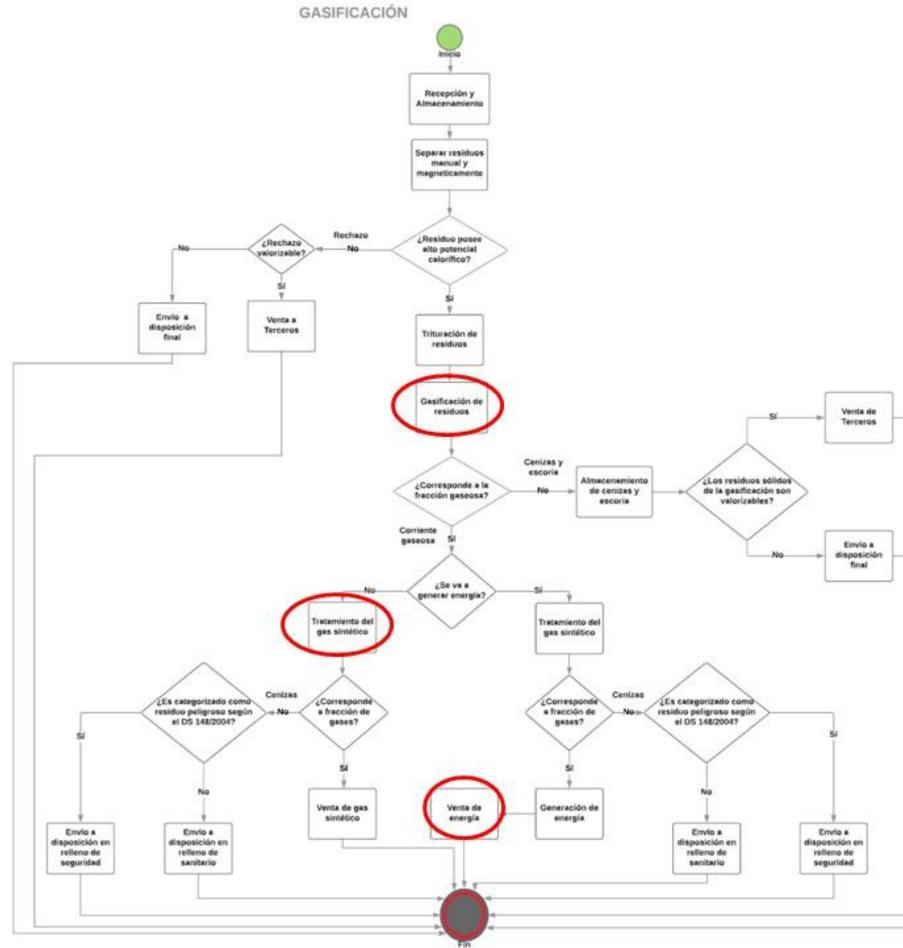
Ficha resumen de la tecnología de Pirólisis

CATEGORÍA	TECNOLOGÍA
	PIRÓLISIS
Fundamento	Proceso de descomposición de los residuos a altas temperaturas (300 a 800°C), sin la acción del oxígeno.
Tecnologías disponibles	Pirólisis a baja temperatura (LTC). Pirólisis a alta temperatura (HTC). Pirólisis a alta temperatura + fusión (HTCM). Horno rotatorio. Tubos. Superficie de contacto.
CAPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$201.742 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año.
OPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$38.772 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año.



Sistemas de Generación de Energía

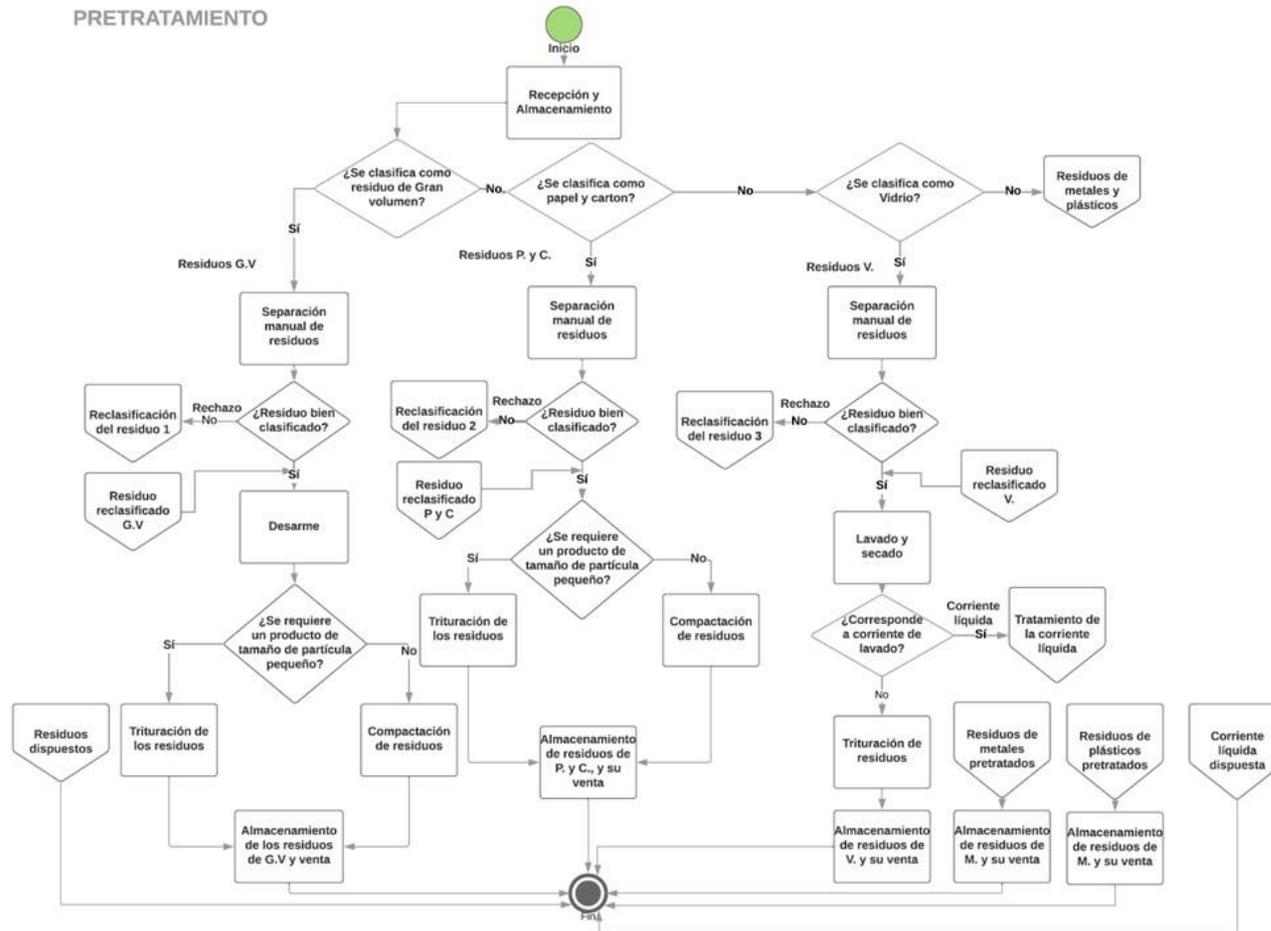
- **Caldera de agua caliente e intercambiador de calor:** genera calefacción.
- **Caldera de vapor a baja presión:** genera vapor.
- **Caldera de vapor de alta presión y Turbina de vapor:** genera vapor y electricidad, o electricidad y calefacción.
- **Caldera de vapor de alta presión, Turbina de vapor e intercambiador de calor:** genera energía de calefacción y electricidad.
- **Turbina de gas:** generación de solo electricidad.
- **Motor de gas:** generación de solo electricidad.



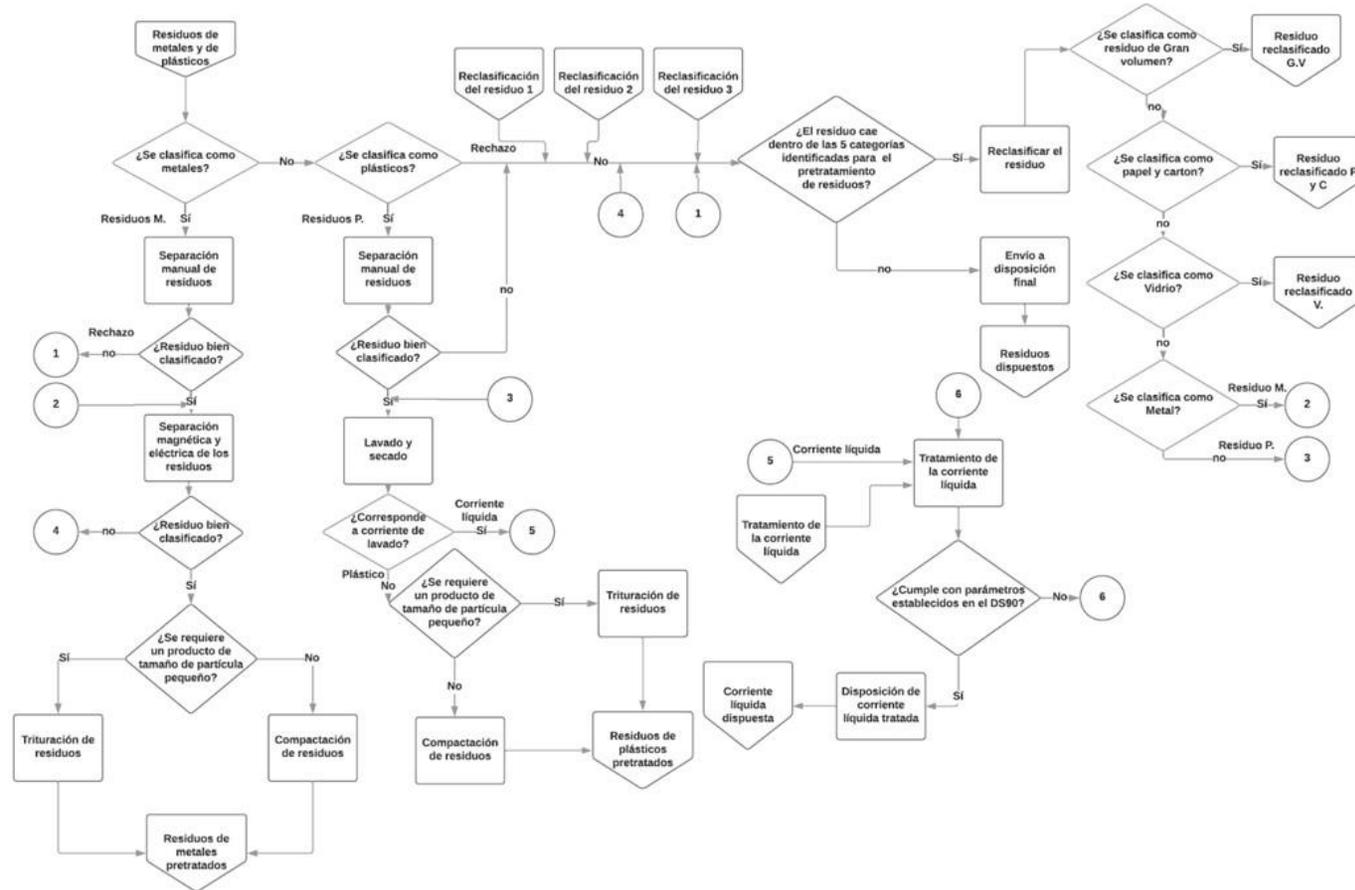
Ficha resumen de la tecnología de Gasificación

CATEGORÍA	TECNOLOGÍA
Fundamento	GASIFICACIÓN Proceso térmico de oxidación parcial de los residuos a altas temperaturas (800 a 1.600 °C), mediante el control de la alimentación del oxígeno.
Tecnologías disponibles	Gasificación convencional. Gasificación con plasma. Gasificación lecho fijo. Gasificación lecho arrastrado. Gasificación con lecho fluidizado.
CAPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$567.104 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año.
OPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$14.518 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año.

PRETRATAMIENTO



PRETRATAMIENTO



Ficha de Tecnologías de Pretratamiento

Categoría	Tecnología
	PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS
Fundamento	El pretratamiento de los residuos corresponde a un conjunto de técnicas que permite preparar los residuos para poder ser valorizados mediante diferentes alternativas tecnológicas.
Tecnologías disponibles	Separación manual Separación magnética Trituración Compactación Lavado y secado
CAPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$151.181 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año.
OPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$55.244 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año.

División por Macrozona



Macrozona Norte

- Región de Tarapacá.

Macrozona Central

- Región de Valparaíso

Macrozona Sur

- Región de los Lagos.

Aspectos territoriales

Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Norte. Se Selecciónó la Región de Tarapacá para representar la Macrozona Norte.

Componentes	Arica y Parinacota		Tarapacá		Antofagasta		Atacama		Coquimbo	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	18.120	12,9	23.260	13,5	20.221	6,7	13.562	12,5	39.813	11,7
Plásticos	13.950	10	31.145	18,1	33.680	11,2	14.228	13,1	51.036	14,9
Metales	2.810	2	2.393	1,4	9.360	3,1	2.998	2,8	7.807	2,3
Vidrio	8.509	6,1	3.724	2,2	17.041	5,7	2.878	2,7	8.812	2,6
Materia Orgánica	74.065	52,8	82.320	47,8	122.903	40,8	51.140	47,2	176.991	51,8
Otros Residuos	22.701	16,2	29.526	17,1	98.094	32,6	23.634	21,8	57.241	16,8
Total RSDyA	140.155	100	172.368	100	301.299	100	108.440	100	341.700	100
Humedad	< 30 %									

Aspectos territoriales

Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Centro. Se Seleccionó la Región de Valparaíso para representar la Macrozona Centro.

Componentes	Valparaíso		Metropolitana de Santiago		Libertador General Bernardo O'Higgins		Maule	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	66.754	7,8	379.650	12,1	50.612	14,4	69.068	18,7
Plásticos	79.574	9,3	329.011	10,5	48.530	13,8	49.250	13,3
Metales	10.400	1,2	30.834	1	9.885	2,8	4.551	1,2
Vidrio	16.849	2	117.823	3,8	12.061	3,4	10.027	2,7
Materia Orgánica	606.174	70,2	1.750.526	55,9	173.365	49,3	185.593	50,3
Otros Residuos	79.266	9,2	525.665	16,8	57.042	16,2	50.482	13,7
Total RSDyA	859.017	100	3.133.509	100	351.495	100	368.971	100
Humedad	50-60 %							

Aspectos territoriales

Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Sur. Se Seleccionó la Región de Los Lagos para representar la Macrozona Sur.

Componentes	Biobío		Ñuble		Araucanía		Los Ríos	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	58.071	10,3	11.339	7,6	19.927	5,9	16.827	9,7
Plásticos	52.927	9,4	14.822	9,9	26.898	8	22.703	13,1
Metales	1.919	0,3	0	0	4.967	1,5	2.889	1,7
Vidrio	13.285	2,4	4.657	3,1	4.576	1,4	4.427	2,6
Materia Orgánica	322.087	57	96.533	64,7	225.334	66,8	86.364	49,8
Otros Residuos	116.298	20,6	21.898	14,7	55.480	16,5	40.235	23,2
Total RSDyA	564.590	100	149.249	100	337.182	100	173.445	100
Humedad	> 60%							

Aspectos territoriales

Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Sur. Se Selecció la Región de Los Lagos para representar la Macrozona Sur.

Componentes	Los Lagos		Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo		Magallanes y la Antártica chilena	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	26.646	8	3.629	6,3	9.110	9,2
Plásticos	36.639	11	7.778	13,4	6.832	6,9
Metales	13.323	4	2.592	4,5	6.832	6,9
Vidrio	9.992	3	1.230	2,1	0	0
Materia Orgánica	183.195	55	26.965	46,6	15.942	16,1
Otros Residuos	63.285	19	9.663	16,7	60.494	61,0
Total RSDyA	333.081	100	57.857	100	99.210	100
Humedad	> 60%					

Aspectos territoriales

Indicadores económicos de gestión de RSDyA en regiones seleccionadas para representar la Macrozona Norte, Macrozona Centro y Macrozona Sur.

Item	Indicadores	Tarapacá		Valparaíso		Los Lagos	
		ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Economía		MM\$/año	%	MM\$/año	%	MM\$/año	%
	Derechos de aseo	1.363	18,6	15.503	42,9	3.031	23,0
	Gastos Servicios de Aseo	7.325		36.117		13.162	
	Déficit	5.963	81,4	20.614	57,1	10.131	77,0
		\$/unidad		\$/unidad		\$/unidad	
	Costo por habitante (\$/hab)	22.160		19.889		15.883	
	Costo Total (\$/kg)	42,5		42,0		39,5	
	Costo Disposición Final (\$/kg)	12,2		7,5		7,75	

Ingresos de tecnologías de tratamiento para la Macrozona Norte

Ingresos para la tecnología de Pretratamiento en la Macrozona Norte.

Capacidad Planta ton RSDyA/año	Precio Venta del residuo				Rendimiento del proceso de recuperación	Ingresos venta material	Ingresos por tratamiento
	Papel y Cartón (CLP/kg)	Vidrio (CLP/kg)	Metal (CLP/kg)	Plástico (CLP/kg)		\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA
5.000	\$40	\$20	\$40	\$40	70%	\$27,20	\$16,60
20.000					70%	\$27,20	\$16,60
50.000					70%	\$27,20	\$16,60
90.000					70%	\$27,20	\$16,60

Ingresos para la tecnología de Compostaje en la Macrozona Norte.

Capacidad Planta	PRODUCCION DE COMPOST	Precio venta compost (CLP/m3)	Ingresos por venta de compost	Ingresos por tratamiento
Ton Org/año	m3 compost/año		\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA
5.000	7.692	\$5.296	\$8,10	\$16,60
15.000	23.077		\$8,10	\$16,60
20.000	30.769		\$8,10	\$16,60
30.000	46.154		\$8,10	\$16,60
50.000	76.923		\$8,10	\$16,60

Ingresos de tecnologías de tratamiento para la Macrozona Norte

Ingresos para la tecnología de Digestión Anaerobia en la Macrozona Norte.

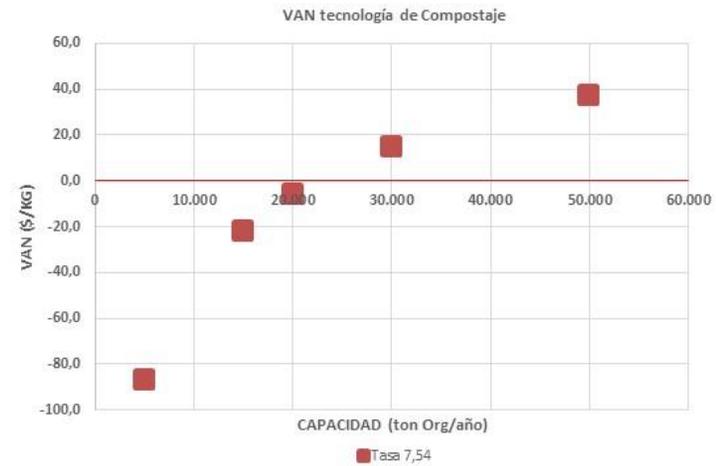
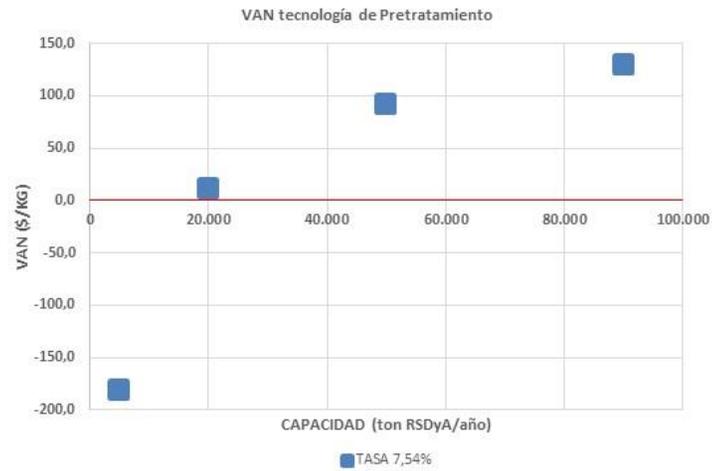
Disponibilidad	Carga Orgánica	Capacidad Planta	PRODUCCION ENERGÍA			PRECIO NUDO	Ingreso por venta de energía	Ingreso por tratamiento	Ingreso Adicional
			m ³ Biogas/año	m ³ CH ₄ /año	Energía kWh				
20.408	49	10.000	673.469	336.735	1.496.599	\$39,70	\$2,9	\$16,60	\$16,60
51.020	49	25.000	1.683.673	841.837	3.741.497	\$39,70	\$2,9	\$16,60	\$16,60
102.041	49	50.000	3.367.347	1.683.673	7.482.993	\$39,70	\$2,9	\$16,60	\$16,60
153.061	49	75.000	5.051.020	2.525.510	11.224.490	\$39,70	\$2,9	\$16,60	\$16,60
204.082	49	100.000	6.734.694	3.367.347	14.965.986	\$39,70	\$2,9	\$16,60	\$16,60
255.102	49	125.000	8.418.367	4.209.184	18.707.483	\$39,70	\$2,9	\$16,60	\$16,60
306.122	49	150.000	10.102.041	5.051.020	22.448.980	\$39,70	\$2,9	\$16,60	\$16,60

Ingresos de tecnologías de tratamiento para la Macrozona Norte

Ingresos para la tecnología de Incineración en la Macrozona Norte.

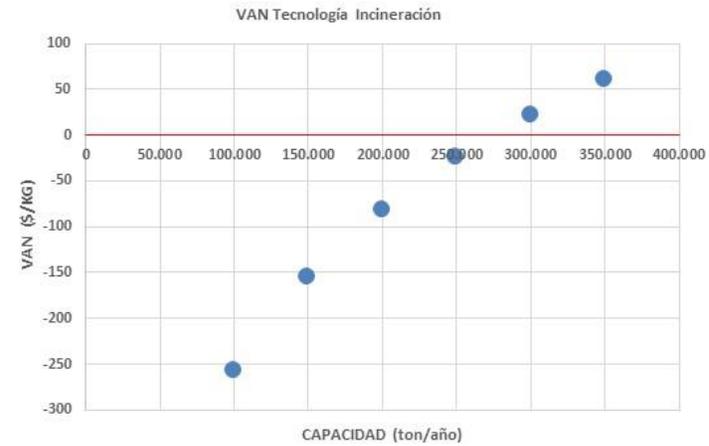
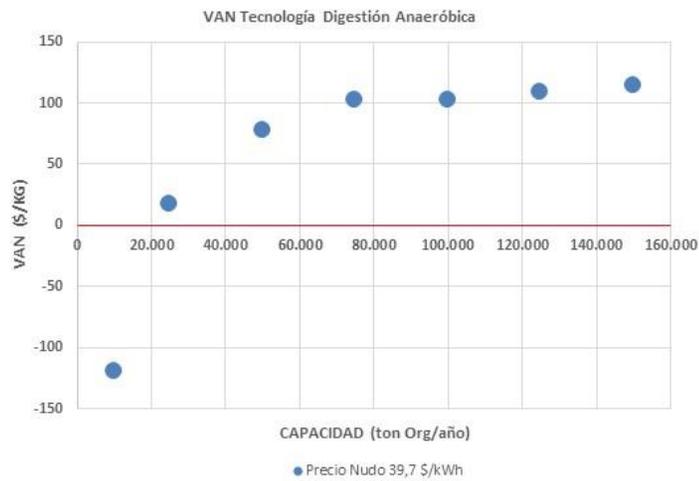
Disponibilidad	Carga	Capacidad Planta	PRODUCCION ENERGÍA					PRECIO NUDO	Ingreso por venta de energía	Ingreso por tratamien to	Ingreso Adicional
			ton RSDyA/año	%	Ton/año	MJ/kg RSDyA	kWh/kgRSD yA				
125.945	79,4	100.000	13,8	3,8	482.787.573	30	144.836.272	59,6	68,5	12,2	21,0
188.917	79,4	150000	13,8	3,8	724.181.360	30	217.254.408	59,6	68,5	12,2	21,0
251.889	79,4	200000	13,8	3,8	965.575.147	30	289.672.544	59,6	68,5	12,2	21,0
314.861	79,4	250000	13,8	3,8	1.206.968.934	30	362.090.680	59,6	68,5	12,2	21,0
377.834	79,4	300000	13,8	3,8	1.448.362.720	30	434.508.816	59,6	68,5	12,2	21,0
440.806	79,4	350000	13,8	3,8	1.689.756.507	30	506.926.952	59,6	68,5	12,2	21,0

Macrozona Norte



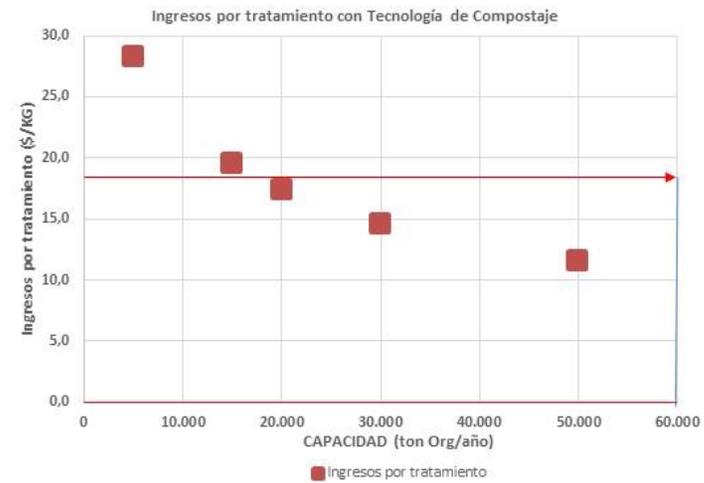
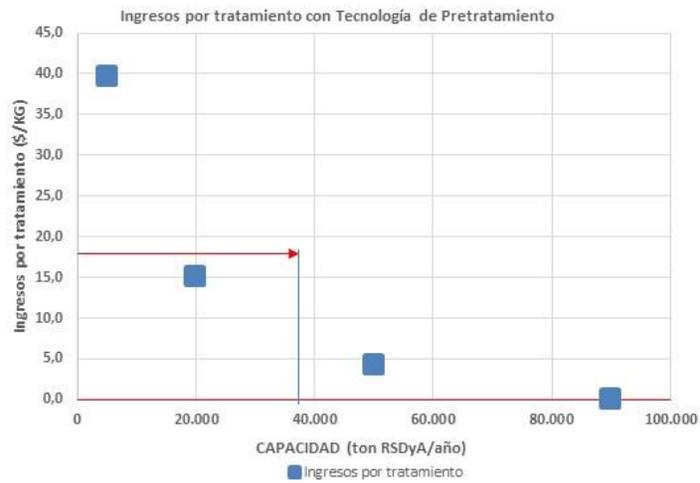
VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Norte.

Macrozona Norte



VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Norte.

Ingresos por tratamiento - Caso 1: Iquique

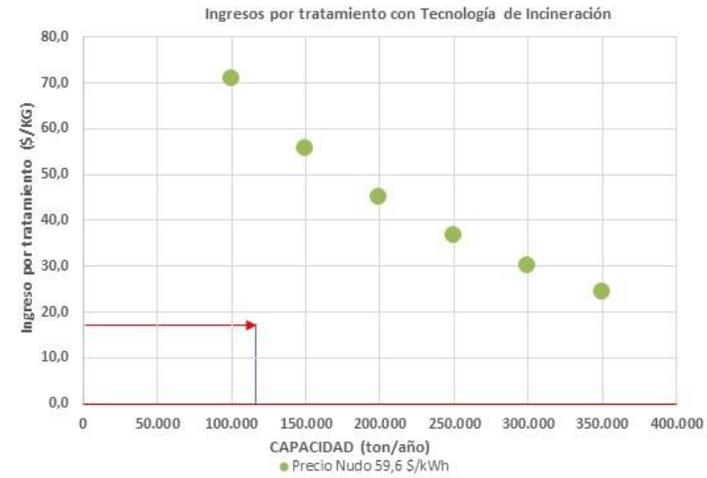
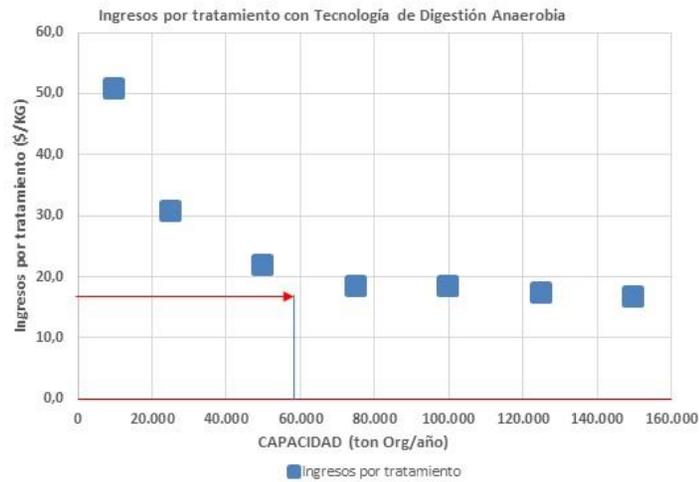


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Caso 1: Iquique



**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos de tecnologías de tratamiento para la Macrozona Centro

Ingresos para la tecnología de Pretratamiento en la Macrozona Centro.

Capacidad Planta ton RSDyA/año	Precio Venta del residuo				Rendimiento del proceso de recuperación	Ingresos venta de material	Ingresos por tratamiento
	Papel y Cartón (CLP/kg)	Vidrio (CLP/kg)	Metal (CLP/kg)	Plástico (CLP/kg)		\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA
5.000	\$40	\$20	\$40	\$40	70%	\$26,60	\$16,40
20.000					70%	\$26,60	\$16,40
50.000					70%	\$26,60	\$16,40
90.000					70%	\$26,60	\$16,40

Ingresos para la tecnología de Compostaje en la Macrozona Centro.

Capacidad Planta	PRODUCCION DE COMPOST	Precio venta compost (CLP/m3)	Ingresos por venta de compost	Ingresos por tratamiento
Ton Org/año	m3 compost/año		\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA
5.000	7.692	\$5.296	\$8,10	\$16,40
15.000	23.077		\$8,10	\$16,40
20.000	30.769		\$8,10	\$16,40
30.000	46.154		\$8,10	\$16,40
50.000	76.923		\$8,10	\$16,40

Ingresos de tecnologías de tratamiento para la Macrozona Centro

Ingresos para la tecnología de Digestión Anaerobia en la Macrozona Centro.

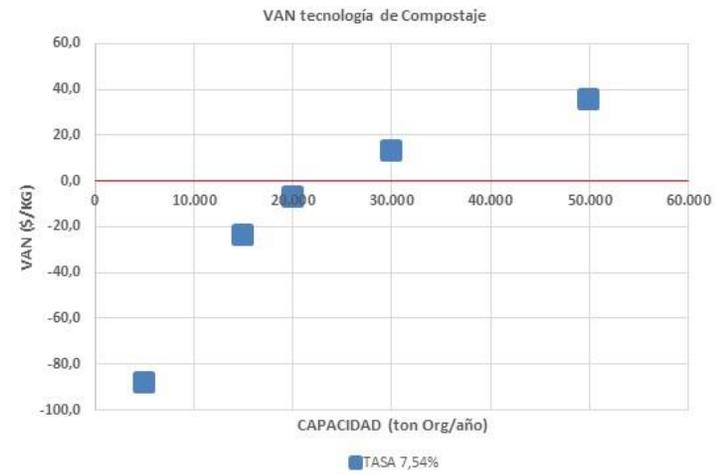
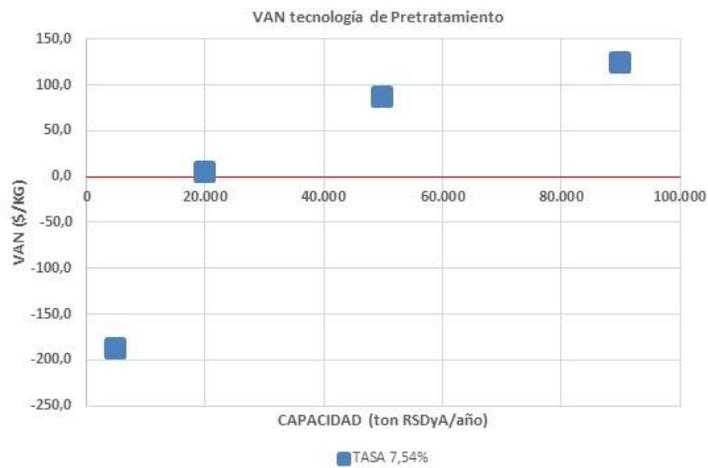
Disponibilidad ton RSDyA/año	Carga Orgánica %	Capacidad Planta Ton Org/año	PRODUCCION ENERGÍA			PRECIO NUDO \$/kWh	Ingreso por venta de energía \$/kg RSDyA	Ingreso por tratamiento \$/kg RSDyA	Ingreso Adicional \$/kg RSDyA
			m3 Biogas/año	m3 CH4/año	Energía kWh				
18.182	55	10.000	600.000	300.000	1.333.333	\$39,70	\$2,90	\$16,40	\$16,40
45.455	55	25.000	1.500.000	750.000	3.333.333	\$39,70	\$2,90	\$16,40	\$16,40
90.909	55	50.000	3.000.000	1.500.000	6.666.667	\$39,70	\$2,90	\$16,40	\$16,40
136.364	55	75.000	4.500.000	2.250.000	10.000.000	\$39,70	\$2,90	\$16,40	\$16,40
181.818	55	100.000	6.000.000	3.000.000	13.333.333	\$39,70	\$2,90	\$16,40	\$16,40
227.273	55	125.000	7.500.000	3.750.000	16.666.667	\$39,70	\$2,90	\$16,40	\$16,40
272.727	55	150.000	9.000.000	4.500.000	20.000.000	\$39,70	\$2,90	\$16,40	\$16,40

Ingresos de tecnologías de tratamiento para la Macrozona Centro

Ingresos para la tecnología de Incineración en la Macrozona Centro.

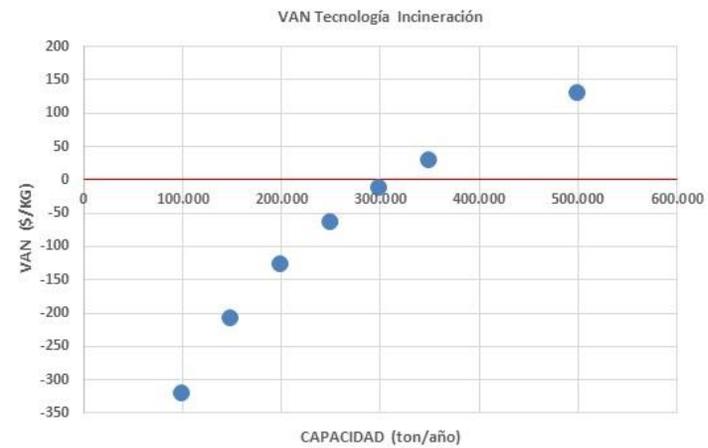
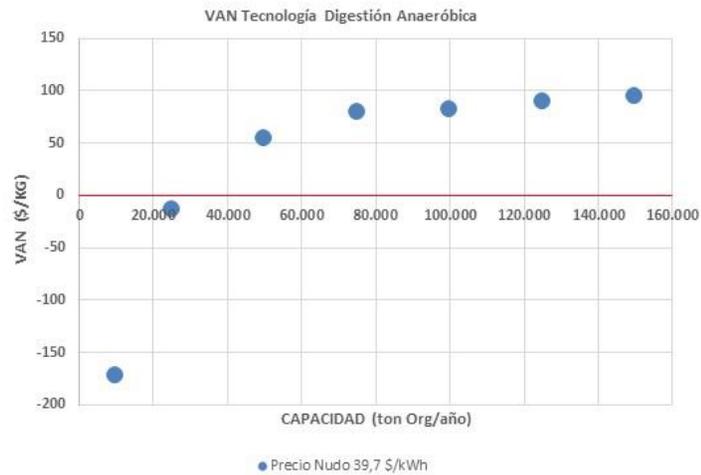
Disponibilidad	Carga	Capacidad Planta	PRODUCCION ENERGÍA					PRECIO NUDO	Ingreso por venta de energía	Ingreso por tratamiento	Ingreso Adicional
			ton RSDyA/año	%	Ton/año	MJ/kgRSDyA	kWh/kgRSDyA				
114.548	87,3	100.000	14,8	4,1	470.917.653	30	141.275.296	59,6	73,5	7,5	25,3
171.821	87,3	150000	14,8	4,1	706.376.480	30	211.912.944	59,6	73,5	7,5	25,3
229.095	87,3	200000	14,8	4,1	941.835.306	30	282.550.592	59,6	73,5	7,5	25,3
286.369	87,3	250000	14,8	4,1	1.177.294.133	30	353.188.240	59,6	73,5	7,5	25,3
343.643	87,3	300000	14,8	4,1	1.412.752.959	30	423.825.888	59,6	73,5	7,5	25,3
400.916	87,3	350000	14,8	4,1	1.648.211.786	30	494.463.536	59,6	73,5	7,5	25,3
572.738	87,3	500000	14,8	4,1	2.354.588.265	30	706.376.480	59,6	73,5	7,5	25,3

Macrozona Centro



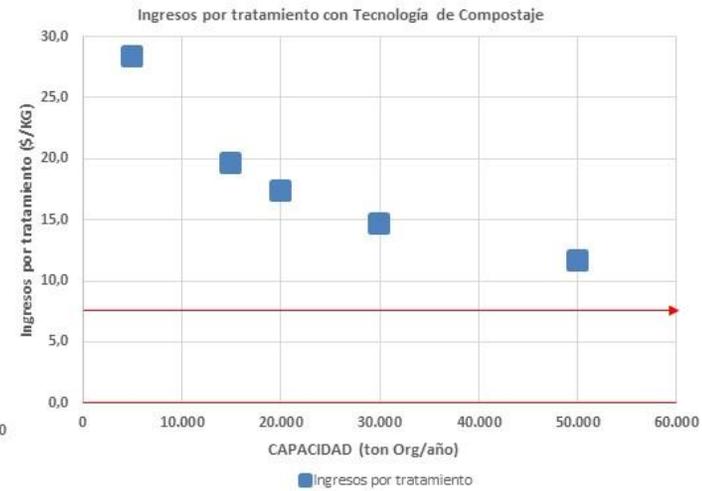
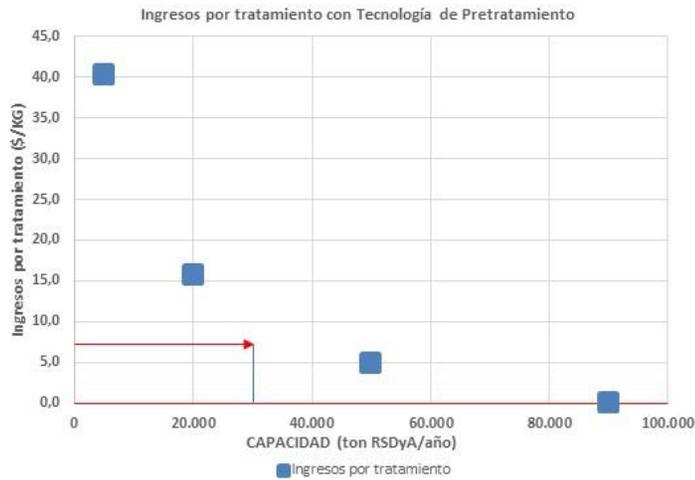
VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Centro.

Macrozona Centro



VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Centro.

Ingresos por tratamiento - Caso 2: Viña del Mar

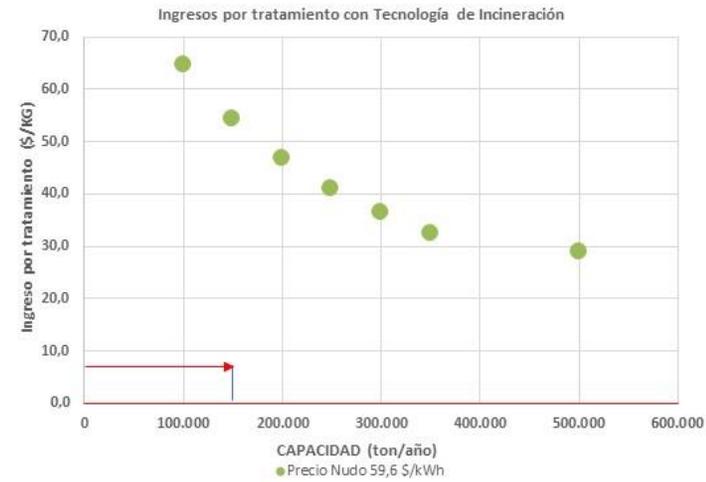
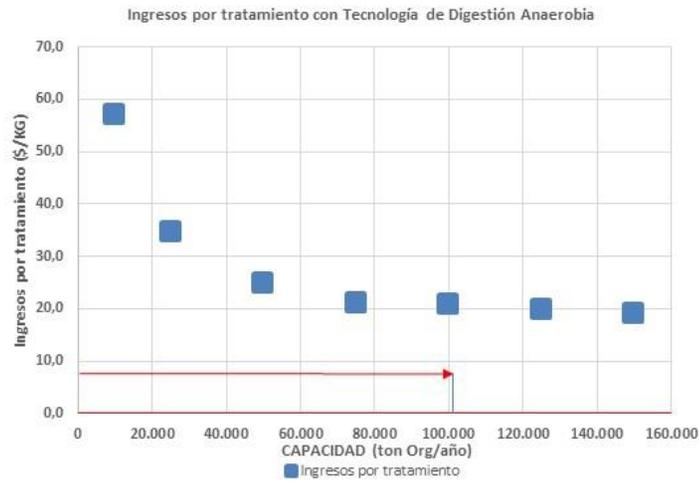


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Caso 2: Viña del Mar



Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos de tecnologías de tratamiento para la Macrozona Sur

Ingresos para la tecnología de Pretratamiento en la Macrozona Sur.

Capacidad Planta ton RSDyA/año	Precio Venta del residuo				Rendimiento del proceso de recuperación	Ingresos venta de material	Ingresos por tratamiento
	Papel y Carton (CLP/kg)	Vidrio (CLP/kg)	Metal (CLP/kg)	Plástico (CLP/kg)		\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA
5.000	\$40	\$20	\$40	\$40	70%	\$26,32	\$15,40
20.000					70%	\$26,32	\$15,40
50.000					70%	\$26,32	\$15,40
90.000					70%	\$26,32	\$15,40

Ingresos para la tecnología de Compostaje en la Macrozona Sur.

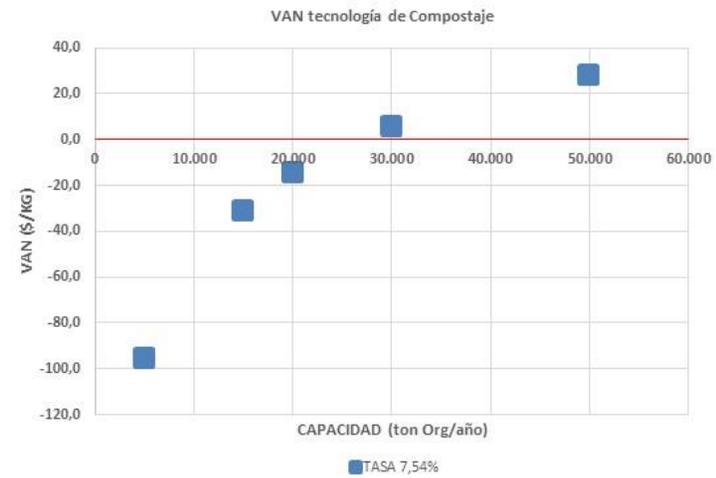
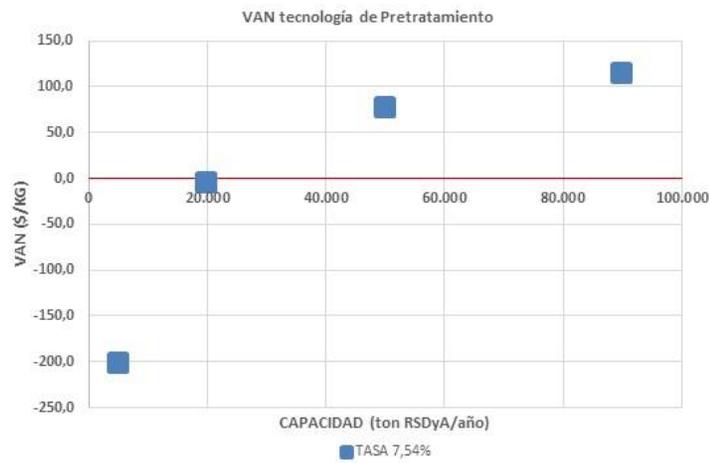
Capacidad Planta	PRODUCCION DE COMPOST	Precio venta compost (CLP/m3)	Ingresos por venta de compost	Ingresos por tratamiento
Ton Org/año	m3 compost/año		\$/kg RSDyA	\$/kg RSDyA
5.000	7.692	\$5.296	\$8,15	\$15,40
15.000	23.077		\$8,15	\$15,40
20.000	30.769		\$8,15	\$15,40
30.000	46.154		\$8,15	\$15,40
50.000	76.923		\$8,15	\$15,40

Ingresos de tecnologías de tratamiento para la Macrozona Sur

Ingresos para la tecnología de Digestión Anaerobia en la Macrozona Sur.

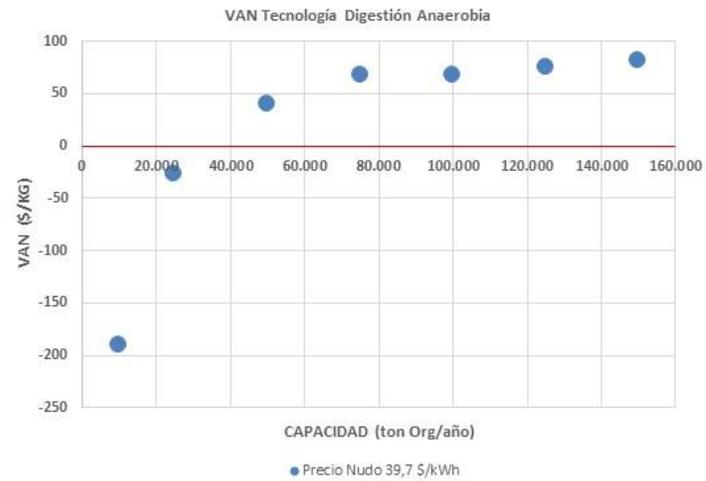
Disponibilidad	Carga Orgánica	Capacidad Planta	PRODUCCION ENERGÍA			PRECIO NUDO	Ingreso por venta de energía	Ingreso por tratamiento	Ingreso Adicional
			ton RSDyA/año	%	ton Org/año				
18.182	55	10.000	600.000	300.000	1.333.333	\$39,70	\$2,90	\$15,40	\$15,40
45.455	55	25.000	1.500.000	750.000	3.333.333	\$39,70	\$2,90	\$15,40	\$15,40
90.909	55	50.000	3.000.000	1.500.000	6.666.667	\$39,70	\$2,90	\$15,40	\$15,40
136.364	55	75.000	4.500.000	2.250.000	10.000.000	\$39,70	\$2,90	\$15,40	\$15,40
181.818	55	100.000	6.000.000	3.000.000	13.333.333	\$39,70	\$2,90	\$15,40	\$15,40
227.273	55	125.000	7.500.000	3.750.000	16.666.667	\$39,70	\$2,90	\$15,40	\$15,40
272.727	55	150.000	9.000.000	4.500.000	20.000.000	\$39,70	\$2,90	\$15,40	\$15,40

Macrozona Sur



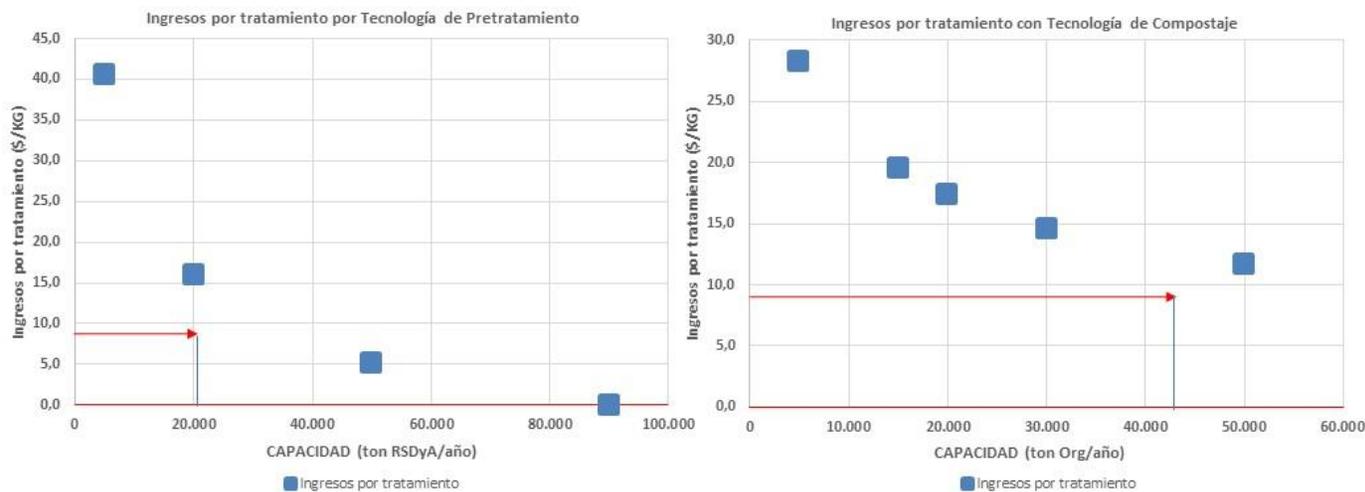
VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Sur.

Macrozona Sur



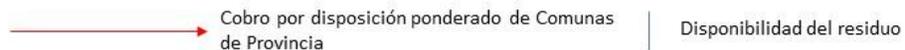
VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Sur.

Ingresos por tratamiento - Caso 3: Chiloé

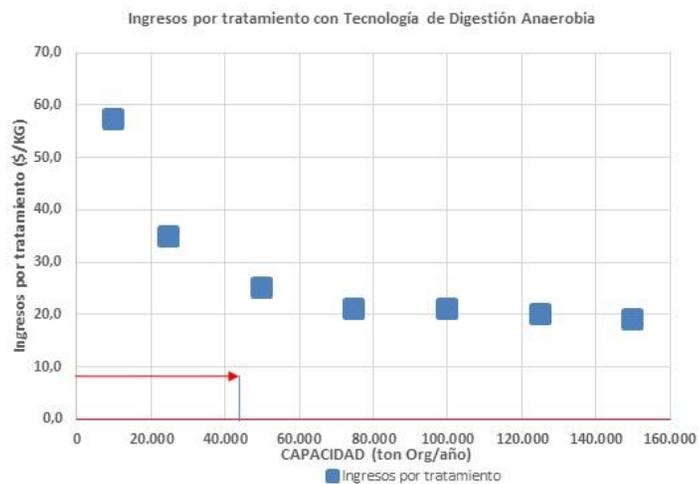


Ingresos por tratamiento.

Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

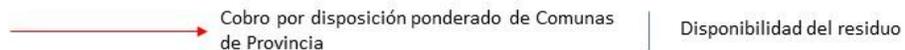


Ingresos por tratamiento - Caso 3: Chiloé



Ingresos por tratamiento.

Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.



Fuentes de Financiamiento



- El principal fondo público nacional disponible para poder ser solicitados, corresponde al Fondo Nacional de Desarrollo Regional que se establecen en la **Ley de Presupuestos por el Dirección de Presupuestos Gobierno de Chile**.
- Se identifican dentro de los fondos públicos nacionales, al **FNDR de los Gobiernos Regionales, Programa de Mejoramiento de Barrios de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (PMB)**, y el **Fondo para el Reciclaje del Ministerio del Medio Ambiente**. Adicionalmente se incluye al **Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS)**.
- Los principales **FONDOS INTERNACIONALES** corresponden a los del **International Finance Corporation (IFC)** y el **Banco Interamericano del Desarrollo (BID)**. También se pueden destacar fondos verdes como los disponibles en la **Private Financing Advisory Network**. *Actualmente se esta desarrollando con aporte de fondos verdes, una Plataforma de Inversión Verde en Chile.*

Fuentes de Financiamiento

Tabla resumen de fondos provenientes del FNDR, destinados para los Programas de Inversión Regional parte 1

	AyP	TPCA	ANTOF	ATCMA	COQ	VALPO	RM
Presupuesto Destinado (Miles de Millones de pesos)	\$14,549	\$17,181	\$22,738	\$18,902	\$28,435	\$34,076	\$55,648
Subtotal 1 (Miles de Millones de pesos)							\$191,529

Tabla resumen de recursos destinados a los Gobiernos Regionales parte 2

	LGBO	MAULE	BBIO	ARAUC	LAGOS	AYSEN	MAG	RIOS	NUBLE
Presupuesto Destinado (Miles de Millones de pesos)	\$29,784	\$41,786	\$34,372	\$48,428	\$35,811	\$20,542	\$22,385	\$21,821	\$23,621
Subtotal 2 (Miles de Millones de pesos)									\$278,55

Fuente: Proyecto de Ley de Presupuestos Año 2019, DIPRES. Partida del Ministerio del Interior y Seguridad Pública – Gobiernos Regionales, Substituto 9. El nombre de las regiones esta abreviado de acuerdo a la abreviatura legal establecida en la Circular 61/2018 del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

Recomendaciones de Políticas e instrumentos del Estado

- Emplear máquinas expendedoras inversas, para residuos de la categoría envases y embalaje.
- Reducción de impuestos a empresas de tratamiento de residuos.
- Pago obligatorio para la disposición de residuos, proporcional a la generación y nivel socioeconómico.
- Aplicación de un impuesto o cargo por eliminación anticipada a productos prioritarios para ser tratados.
- Aplicación de tasa de impuestos a otros servicios básicos (agua y/o electricidad).
- Establecimiento de porcentajes de residuos destinados a diferentes alternativas de tratamiento.
- Continuidad de políticas de gestión de residuos que permitan trabajos Intercomunales y tratamiento valorizado de residuos.

Recomendaciones de Políticas e instrumentos del Estado

- Impulsar creación de empresas de reciclaje, mediante la extensión de la normativa actual vigente. Esto permitirá que no se genere la concentración de empresas en la zona central de Chile.
- Priorizar el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos y de residuos con alto potencial calorífico.
- Aplicación de subsidios a tecnologías de tratamiento de residuos para obtener una factibilidad económica que permita su aplicación, y en el caso de las tecnologías de generación energética, aplicar un subsidio proporcional que permita subsanar variaciones en el precio de venta de energía.
- Aplicar en los planes de ordenamiento territorial, definición de sectores destinados para el tratamiento de residuos y su disposición, para que no hayan poblaciones cercanas y disminuyan las inversiones asociadas a compra de terreno.

Recomendaciones de Políticas e instrumentos del Estado

- Ampliar el texto del DFL 1/2019 – Texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695, sobre Municipalidades, para evaluar el traspaso de responsabilidades de gestión de residuos que poseen las Municipalidades, a los Gobiernos Regionales. Esta iniciativa debe considerar una evaluación de la gestión de residuos, determinando las capacidades actuales y planes para disminuir brechas generadas por la diferencia entre los ingresos y costos de la gestión de residuos.
- La normativa actual no tiene guías para evaluar proyectos de tratamiento y/o disposición de residuos que no consideren rellenos sanitarios. Se requiere de una política pública



GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA EMPRESA

MUCHAS GRACIAS

www.nbcpucv.cl

D. ANEXO 4: PRESENTACIÓN DE SEMINARIO FINAL



GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA EMPRESA

“Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros”

761-49-LP18

www.nbcpucv.cl

ETAPAS DEL PROYECTO

3 ETAPAS

ETAPA GLOBAL DE INICIO

- Ajuste Metodológico
- Identificación de los actores Claves
- Selección de los Gobiernos Regionales
- Pauta preliminar de entrevistas
- Revisión Bibliográfica Preliminar



ETAPA 1

- **Recopilación y Análisis de Información**
- **Diagnóstico nacional**
- **Tendencias Internacionales**
- **Análisis del Estado del Arte**
- **Estudio de Tecnologías**
- **Estudio de Tecnologías Térmicas**
- **Estudio de Tecnologías Biológicas**



- **Ficha Descriptiva de cada Tecnología**
- **Análisis de Estructura de Plantas**
- **Análisis I/O de Procesos Unitarios**
- **Indicadores de Diseño de las Plantas**
- **Indicadores de Desempeño de las Plantas**
- **Indicadores Económicos**
- **Tecnologías complementarias**
- **Requerimientos de Plantas Actuales**
- **Consideraciones ambientales**
- **Marco legal**
- **Modelo de Negocios**



ETAPA 3

- Desarrollo de Propuestas
- Recomendaciones de Implementación
- Viabilidad de Inversión Pública
- Identificación Financiamiento
- Jornada de Discusión
- Seminario de presentación de resultados del proyecto

ETAPA GLOBAL FINAL

- Informe final de cierre del proyecto



OBJETIVOS

Objetivo General

Diagnosticar y evaluar la factibilidad del funcionamiento de tecnologías que procesen residuos sólidos domiciliarios, asimilables y otros (RSDyA) en Chile.

Objetivos Especificos

- 1. Detectar y clasificar el funcionamiento de tecnologías que procesen residuos sólidos domiciliarios asimilables y otros, considerando alternativas de recuperación, tratamiento biológico, tratamiento térmico y disposición final**

Objetivos Especificos

2. **Evaluar la factibilidad técnica, legal, económica e institucional, considerando las distintas características territoriales del país.**
3. **Generar y presentar propuestas y recomendaciones, para la implementación de las distintas tecnologías por cada territorio.**



METODOLOGÍA

Etapa 1

- **Clasificación de Residuos**
- **Entrevistas con actores claves.**
 - **Análisis Nacional e Internacional de las tecnologías de tratamiento de residuos.**
 - **Clasificación de las tecnologías de tratamiento de residuos.**
 - **FODA, PORTER y PESTEL de las tecnologías de tratamiento de residuos.**

Etapa 2

- **Desarrollo de Fichas de las tecnologías.**
- **Análisis de la factibilidad técnica, legal, ambiental y económica de las tecnologías.**
- **CAPEX y OPEX de las tecnologías.**
 - **Selección de tecnologías que pueden implementarse en Chile.**
 - **Taller FODA.**

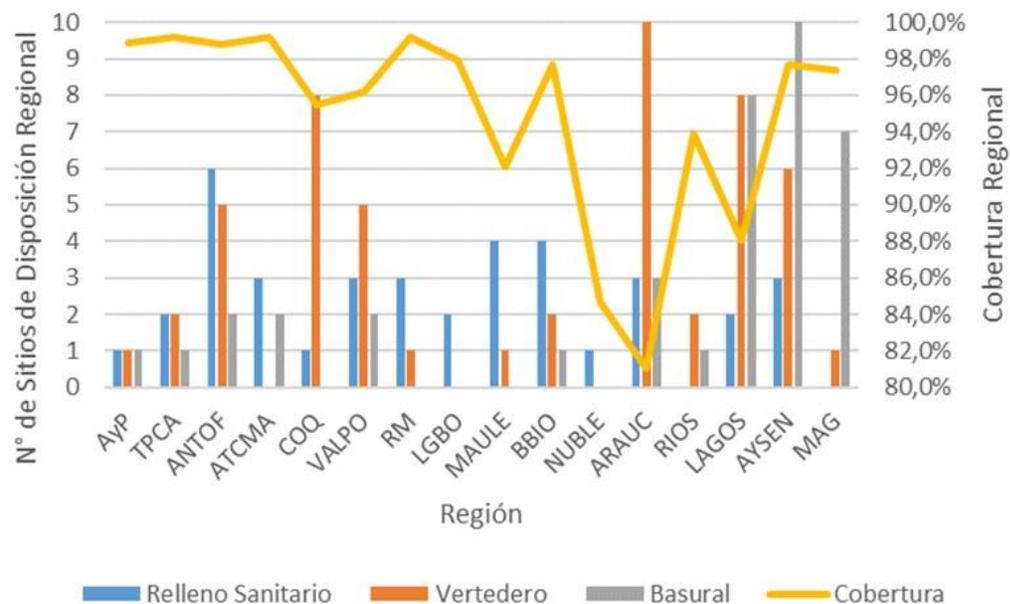
Etapa 3

- Propuestas tecnológicas de tratamiento de residuos por Macrozona.
- Análisis de la factibilidad técnico económica de implementación de tecnologías, de acuerdo a características locales.
- Análisis de fuentes de financiamiento que permitan implementar las tecnologías.
- Normas que puede impulsar el estado, para la implementación de las tecnologías.
- Jornada de Discusión con actores del sector público.
- Seminario de presentación de resultados.



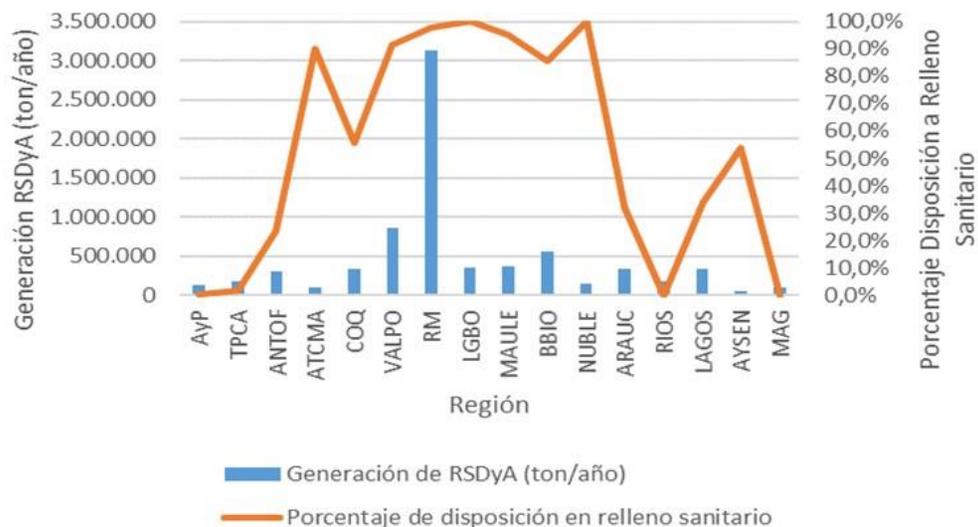
Establecimiento de Macrozonas y sus características

Antecedentes



Análisis regional del número de sitios de disposición y la cobertura regional de recolección del año 2017

Antecedentes



Generación de RSDyA por región (ton/año) y Porcentaje de disposición a Relleno Sanitario, año 2017

División por Macrozona



Macrozona Norte

- Región de Tarapacá.

Macrozona Central

- Región de Valparaíso

Macrozona Sur

- Región de los Lagos.

Aspectos territoriales

Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Norte.

Componentes	Arica y Parinacota		Tarapacá		Antofagasta		Atacama		Coquimbo	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	18.120	12,9	23.260	13,5	20.221	6,7	13.562	12,5	39.813	11,7
Plásticos	13.950	10	31.145	18,1	33.680	11,2	14.228	13,1	51.036	14,9
Metales	2.810	2	2.393	1,4	9.360	3,1	2.998	2,8	7.807	2,3
Vidrio	8.509	6,1	3.724	2,2	17.041	5,7	2.878	2,7	8.812	2,6
Materia Orgánica	74.065	52,8	82.320	47,8	122.903	40,8	51.140	47,2	176.991	51,8
Otros Residuos	22.701	16,2	29.526	17,1	98.094	32,6	23.634	21,8	57.241	16,8
Total RSDyA	140.155	100	172.368	100	301.299	100	108.440	100	341.700	100
Humedad	< 30 %									

Aspectos territoriales

Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Centro.

Componentes	Valparaíso		Metropolitana de Santiago		Libertador General Bernardo O'Higgins		Maule	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	66.754	7,8	379.650	12,1	50.612	14,4	69.068	18,7
Plásticos	79.574	9,3	329.011	10,5	48.530	13,8	49.250	13,3
Metales	10.400	1,2	30.834	1	9.885	2,8	4.551	1,2
Vidrio	16.849	2	117.823	3,8	12.061	3,4	10.027	2,7
Materia Orgánica	606.174	70,2	1.750.526	55,9	173.365	49,3	185.593	50,3
Otros Residuos	79.266	9,2	525.665	16,8	57.042	16,2	50.482	13,7
Total RSDyA	859.017	100	3.133.509	100	351.495	100	368.971	100
Humedad	50-60 %							

Aspectos territoriales

Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Sur.

Componentes	Biobío		Ñuble		Araucanía		Los Ríos	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	58.071	10,3	11.339	7,6	19.927	5,9	16.827	9,7
Plásticos	52.927	9,4	14.822	9,9	26.898	8	22.703	13,1
Metales	1.919	0,3	0	0	4.967	1,5	2.889	1,7
Vidrio	13.285	2,4	4.657	3,1	4.576	1,4	4.427	2,6
Materia Orgánica	322.087	57	96.533	64,7	225.334	66,8	86.364	49,8
Otros Residuos	116.298	20,6	21.898	14,7	55.480	16,5	40.235	23,2
Total RSDyA	564.590	100	149.249	100	337.182	100	173.445	100
Humedad	> 60%							

Aspectos territoriales

Composición de RSDyA en regiones que componen la Macrozona Sur.

Componentes	Los Lagos		Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo		Magallanes y la Antártica chilena	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Papel y Cartón	26.646	8	3.629	6,3	9.110	9,2
Plásticos	36.639	11	7.778	13,4	6.832	6,9
Metales	13.323	4	2.592	4,5	6.832	6,9
Vidrio	9.992	3	1.230	2,1	0	0
Materia Orgánica	183.195	55	26.965	46,6	15.942	16,1
Otros Residuos	63.285	19	9.663	16,7	60.494	61,0
Total RSDyA	333.081	100	57.857	100	99.210	100
Humedad	> 60%					

Macrozona Norte



- En los últimos 7 años, posee el mayor número de proyectos de tratamiento de residuos ingresados al SEA.
- Genera el 14,3% del total de residuos que se generan en Chile.
- El promedio de disposición en Rellenos Sanitarios es de un 33,9%.
- Se caracteriza por ser una Macrozona seca, con bajas precipitaciones (las regiones pueden tener precipitaciones que varían entre 0 a 78 mm mensual).

Macrozona Central



- **Genera el 62,8% del total de residuos que se generan en Chile.**
- **El promedio de disposición en Rellenos Sanitarios es de un 96,6%.**
- **En esta Macrozona se concentran los centros de reciclaje del país.**
- **Se caracteriza por ser una Macrozona con un clima más templado, con mayores precipitaciones (las regiones pueden tener precipitaciones que varían entre 0 a 181 mm mensual).**

Macrozona Sur



- **Genera el 22,9% del total de residuos que se generan en Chile.**
- **El promedio de disposición en Rellenos Sanitarios es de un 57,1%.**
- **Se caracteriza por disponer de diferentes tipos de terreno y por ser una Macrozona con un clima más frío, y mayores precipitaciones (las regiones pueden tener precipitaciones que varían entre 0 a 327 mm mensual).**



Características de las Tecnologías Evaluadas

Alternativas tecnológicas evaluadas



Tratamiento biológico

- **Compostaje.**
- **Digestión Anaeróbica.**



Tratamiento térmico

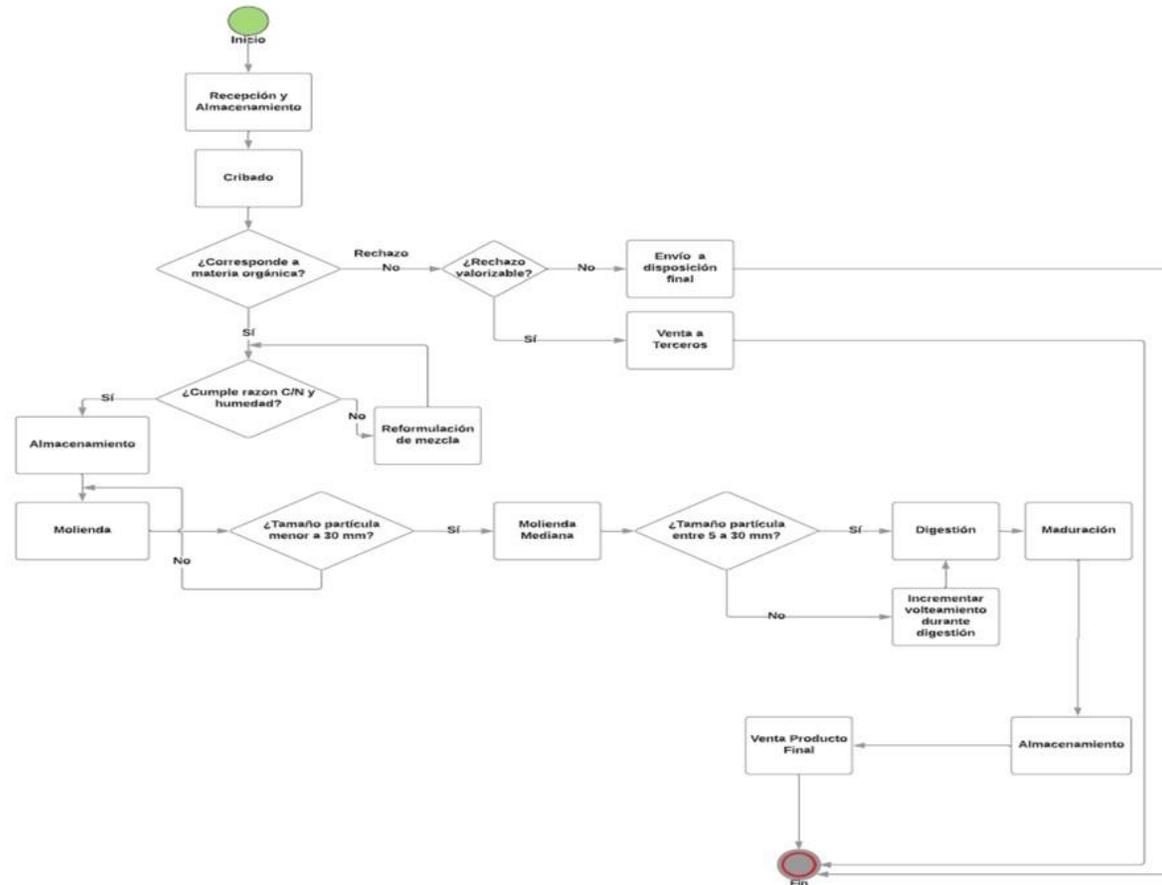
- **Incineración**
- **Pirólisis.**
- **Gasificación.**



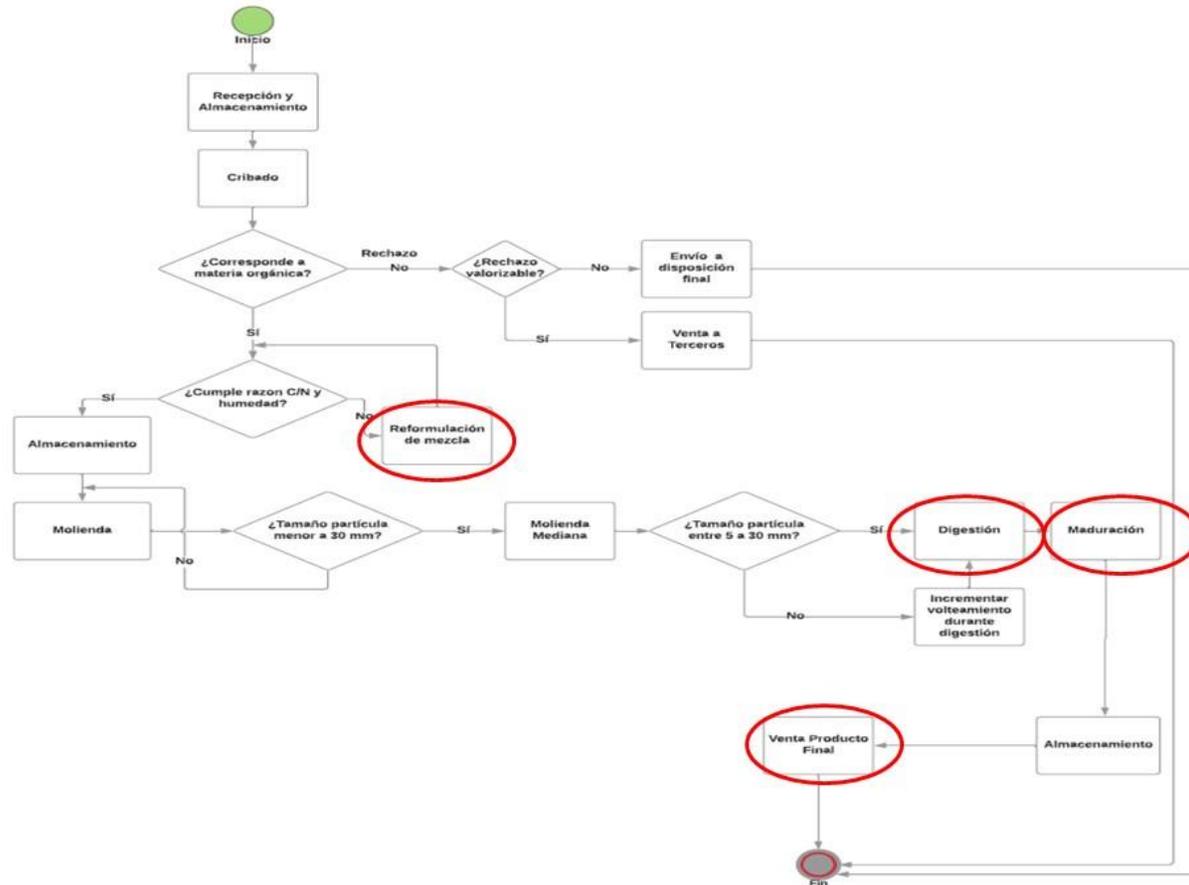
Pretratamiento de residuos para su reutilización o reciclaje

- **Reducción de tamaño (trituración).**
- **Compactación o densificación de residuos.**
- **Separación (manual y magnética).**

COMPOSTAJE



COMPOSTAJE



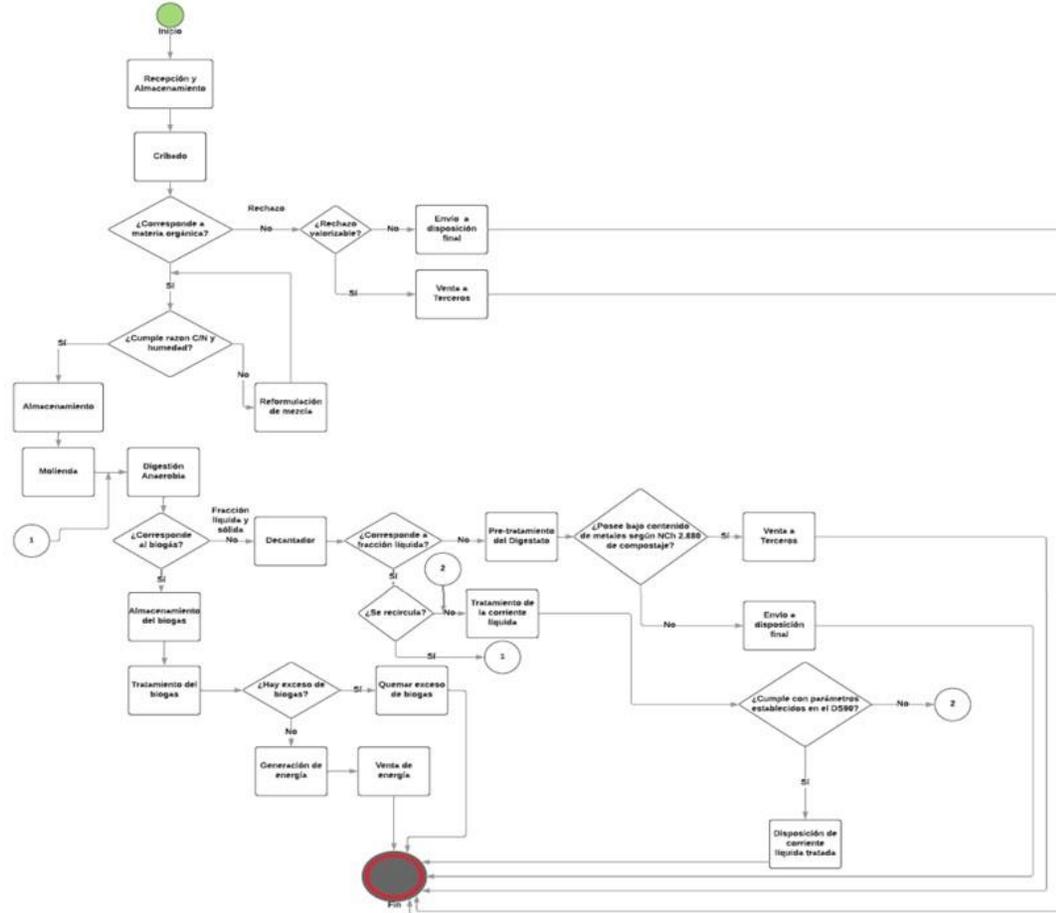
Ficha resumen de la tecnología de Compostaje

Categoría	Tecnología
Fundamento	<p>COMPOSTAJE</p> <p>Proceso que consiste en la estabilización biológica de la fracción orgánica de los residuos, mediante una fermentación bacteriana termofílica de la materia orgánica.</p>
Tecnologías disponibles	<p>Compostaje lento o natural Compostaje acelerado</p>

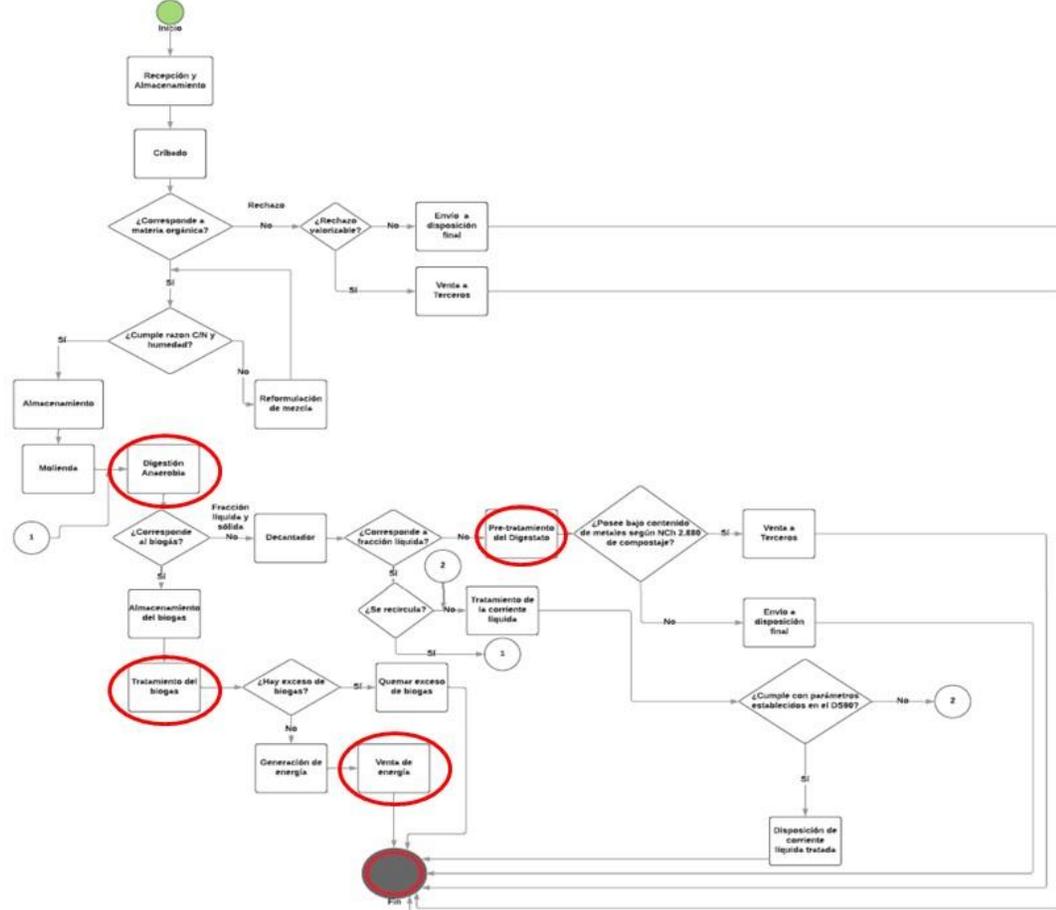
Ficha resumen de la tecnología de Compostaje

Capacidad de Tratamiento de residuos	CAPEX	OPEX
ton Org/año	M\$	M\$/año
5.000	732.735	89.250
15.000	1.713.347	198.480
20.000	2.193.600	231.960
30.000	3.064.410	293.400
50.000	4.747.700	384.200

DIGESTIÓN ANAEROBIA



DIGESTIÓN ANAEROBIA



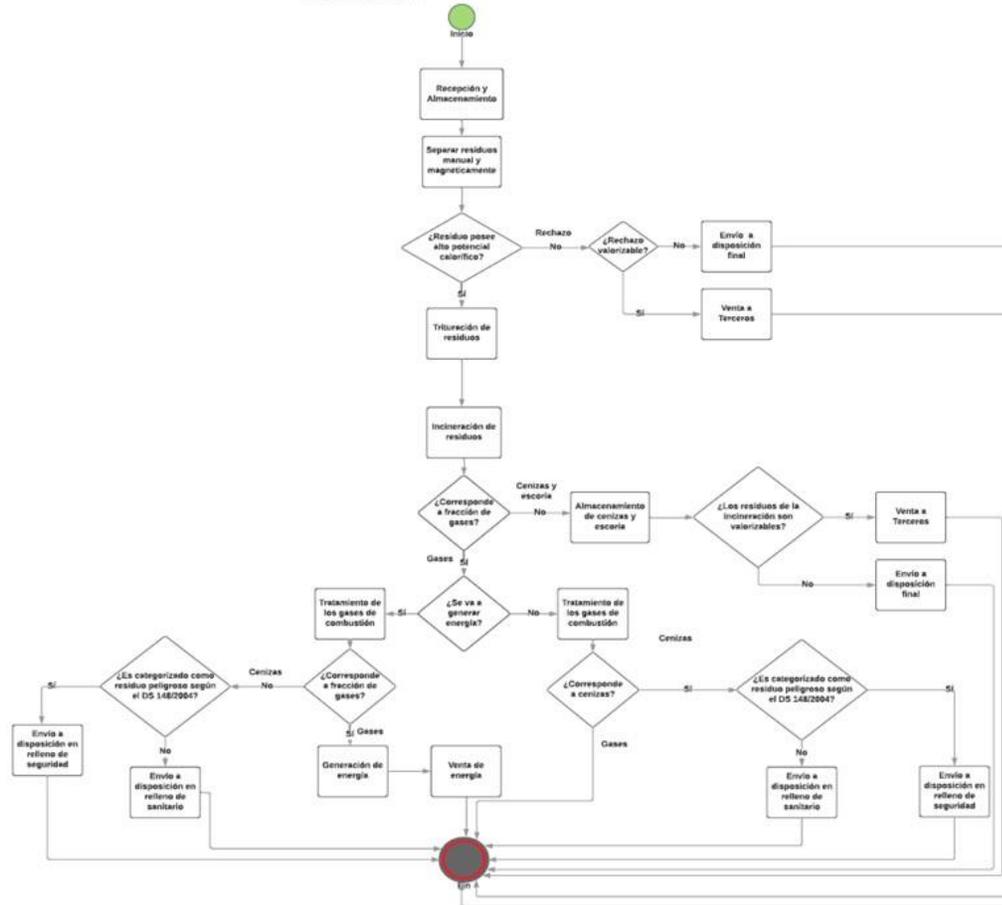
Ficha resumen de la tecnología de Digestión Anaerobia

<p>Categoría</p>	<p>Tecnología DIGESTIÓN ANAEROBIA</p>
<p>Fundamento</p>	<p>Proceso biológico empleado para lograr la estabilización de la materia orgánica, que se da de manera natural en ausencia de oxígeno.</p>
<p>Tecnologías disponibles</p>	<p>Digestión húmeda Digestión seca Digestión en una etapa Digestión en multietapas. Digestión anaerobia mesofílica Digestión anaerobia termofílica</p>

Ficha resumen de la tecnología de Digestión Anaerobia

Disponibilidad de RSDyA	Capacidad Planta	CAPEX	OPEX
ton RSDyA/año	ton Org/año	M\$	M\$/año
20.408	10.000	\$5.000.000	\$450.000
51.020	25.000	\$7.500.000	\$750.000
102.041	50.000	\$10.000.000	\$1.250.000
153.061	75.000	\$11.250.000	\$1.800.000
204.082	100.000	\$15.000.000	\$2.400.000
255.102	125.000	\$16.875.000	\$3.000.000
306.122	150.000	\$19.650.000	\$3.450.000

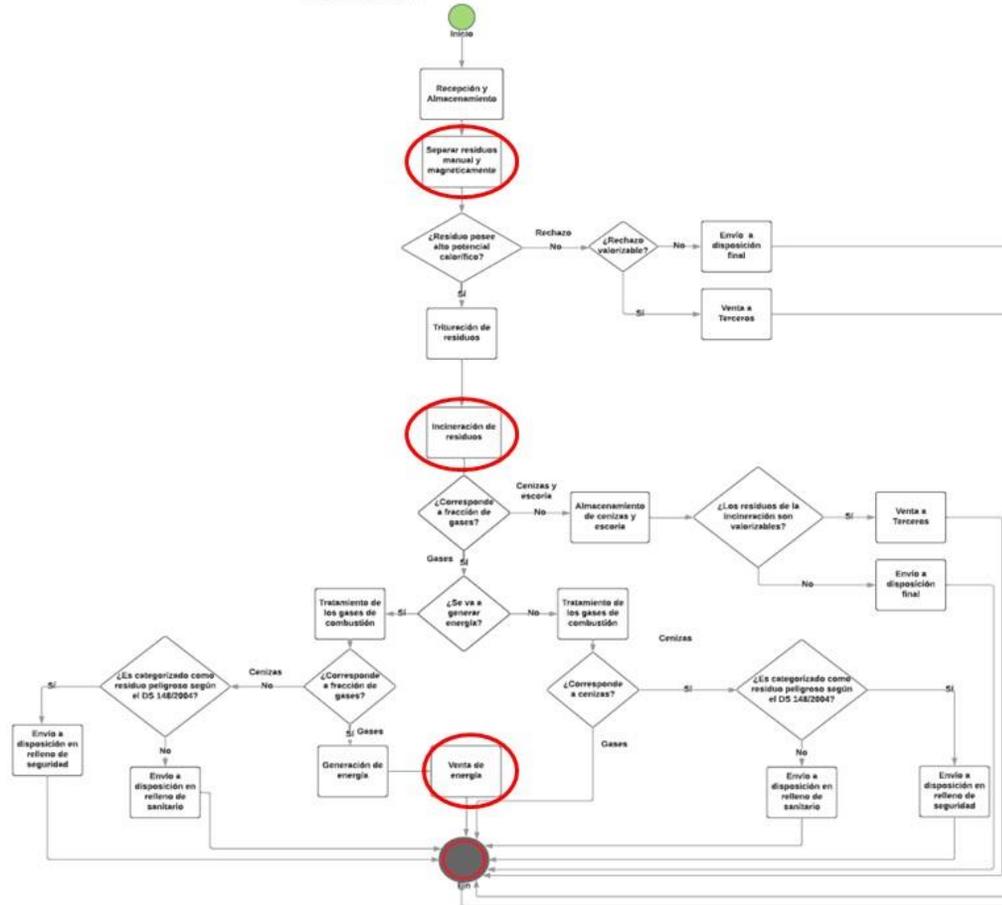
INCINERACIÓN



Sistemas de Generación de Energía

- **Sistemas generación energía:**
Caldera de agua caliente e intercambiador de calor:
genera calefacción.
- **Caldera de vapor a baja presión:**
genera vapor.
- **Caldera de vapor de alta presión y Turbina de vapor:** genera vapor y electricidad, o electricidad y calefacción.

INCINERACIÓN

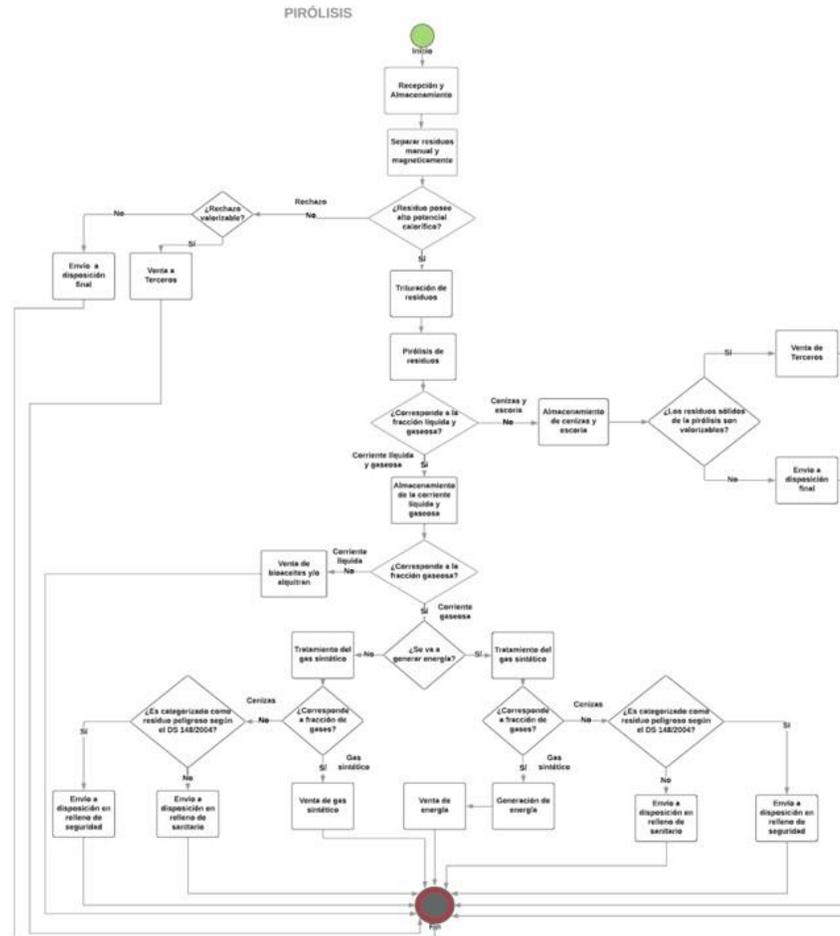


Ficha resumen de la tecnología de Incineración

CATEGORÍA	TECNOLOGÍA
	INCINERACIÓN
Fundamento	La combustión es una reacción química de oxidación entre un combustible y un comburente, caracterizada por su gran exotermicidad y por las elevadas temperaturas a las que se produce (850 a 1.200 °C).
Tecnologías disponibles	Parilla Horno Rotatorio Lecho fluidizado Horno para líquidos

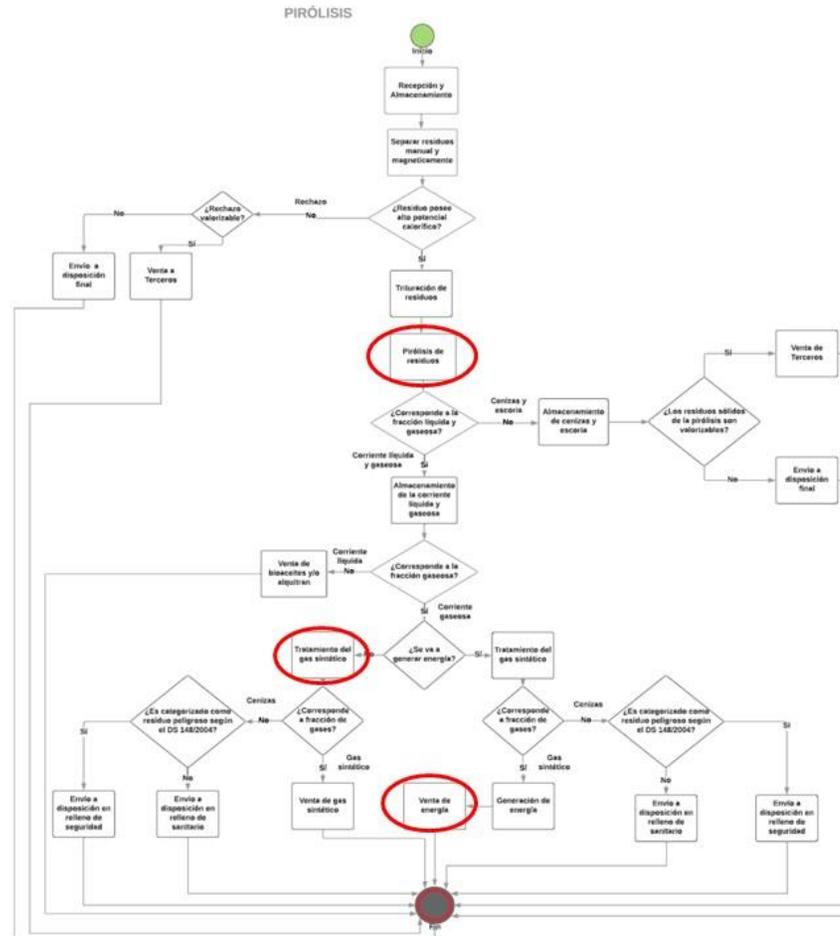
Ficha resumen de la tecnología de Incineración

Capacidad Planta	CAPEX	OPEX
ton RSDyA/año	M\$	M\$/año
100.000	84.568.348	6.662.916
150000	114.305.404	8.767.032
200000	140.537.443	10.528.291
250000	164.163.175	12.034.604
300000	185.711.928	13.337.750
350000	205.533.467	14.471.943



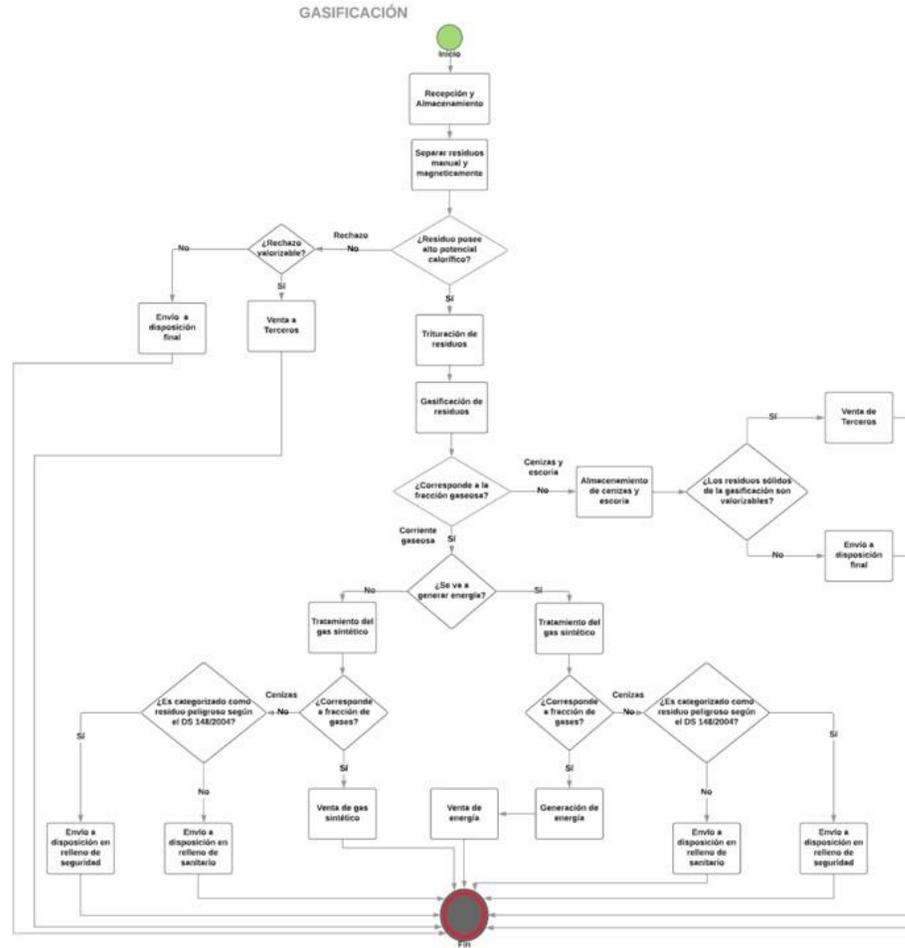
Sistemas de Generación de Energía

- **Sistemas generación energía:**
Turbina a gas: genera energía eléctrica.
- **Motor a gas:** genera energía eléctrica.



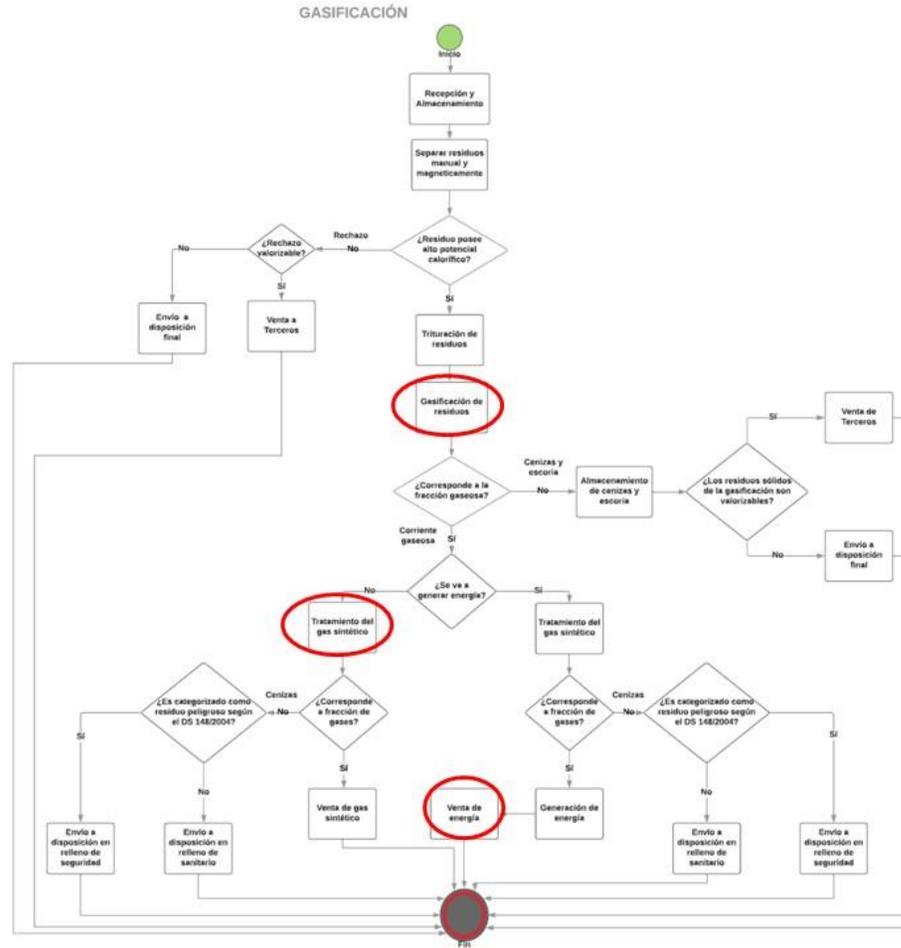
Ficha resumen de la tecnología de Pirólisis

CATEGORÍA	TECNOLOGÍA
	PIRÓLISIS
Fundamento	Proceso de descomposición de los residuos a altas temperaturas (300 a 800°C), sin la acción del oxígeno.
Tecnologías disponibles	Pirólisis a baja temperatura (LTC). Pirólisis a alta temperatura (HTC). Pirólisis a alta temperatura + fusión (HTCM). Horno rotatorio. Tubos. Superficie de contacto.
CAPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$201.742 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año.
OPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	\$38.772 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 10.000 ton/año.



Sistemas de Generación de Energía

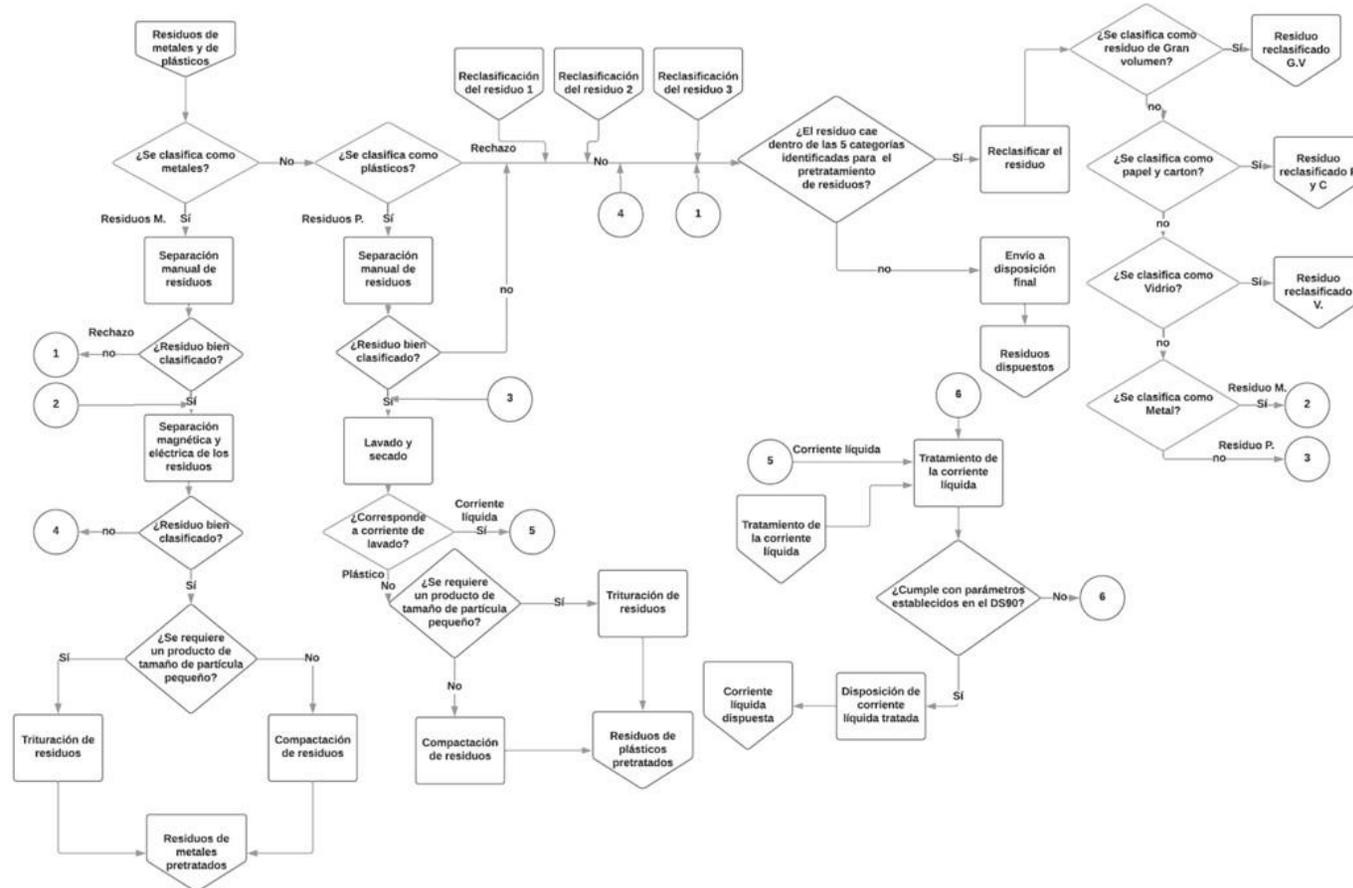
- **Caldera de agua caliente e intercambiador de calor:** genera calefacción.
- **Caldera de vapor a baja presión:** genera vapor.
- **Caldera de vapor de alta presión y Turbina de vapor:** genera vapor y electricidad, o electricidad y calefacción.
- **Caldera de vapor de alta presión, Turbina de vapor e intercambiador de calor:** genera energía de calefacción y electricidad.
- **Turbina de gas:** generación de solo electricidad.
- **Motor de gas:** generación de solo electricidad.



Ficha resumen de la tecnología de Gasificación

CATEGORÍA	TECNOLOGÍA
Fundamento	<p>GASIFICACIÓN</p> <p>Proceso térmico de oxidación parcial de los residuos a altas temperaturas (800 a 1.600 °C), mediante el control de la alimentación del oxígeno.</p>
Tecnologías disponibles	<p>Gasificación convencional. Gasificación con plasma. Gasificación lecho fijo. Gasificación lecho arrastrado. Gasificación con lecho fluidizado.</p>
CAPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	<p>\$567.104 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año.</p>
OPEX (CLP/ton) y Cantidad Tratada	<p>\$14.518 (CLP/ton) para planta con capacidad de tratamiento de 100.000 ton/año.</p>

PRETRATAMIENTO



Ficha de Tecnologías de Pretratamiento

Categoría	Tecnología
Fundamento	<p>PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS</p> <p>El pretratamiento de los residuos corresponde a un conjunto de técnicas que permite preparar los residuos para poder ser valorizados mediante diferentes alternativas tecnológicas.</p>
Tecnologías disponibles	<p>Separación manual Separación magnética Trituración Compactación Lavado y secado</p>

Ficha de Tecnologías de Pretratamiento

Capacidad De Tratamiento de residuos	CAPEX	OPEX
Ton RSDyA/año	M\$	M\$/año
5.000	927.810	216.596
20.000	2.472.200	529.434
50.000	4.922.350	934.336
90.000	7.810.740	1.354.827

Madurez Tecnologías WTE



Nivel de Madurez de las Tecnologías Waste To Energy (2012)

Factibilidad implementación tecnologías WTE

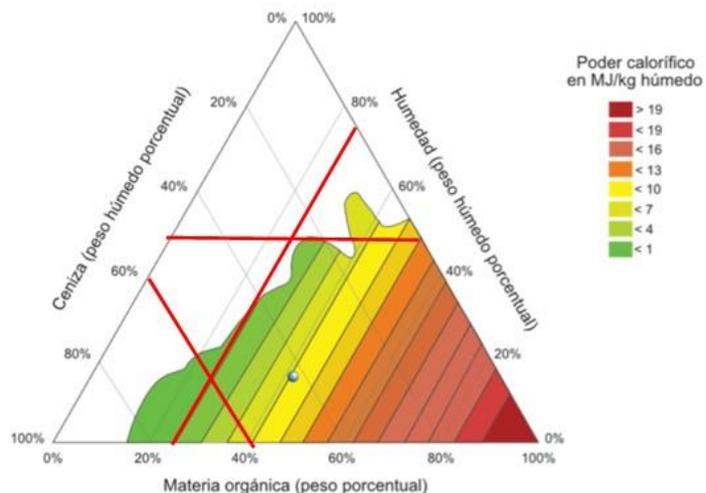


Tabla PCI de Procesos Térmicos por Región representante de Macrozona.

Región	Carga orgánica %	Humedad %	PCI MJ/kg húm
TARAPACA	49	35	12,0
VALPARAISO	55	51	10,0
LOSLAGOS	55	66	no factible
Factibilidad	>25	< 50	

Diagrama de Tanner, materia orgánica v/s humedad, cenizas y poder calorífico.



Análisis FODA Validado por expertos

Análisis FODA

FORTALEZAS

- La cobertura del sistema nacional de gestión de residuos de residuos sólidos se considera alta, superior al 80%, lo que asegura que exista materia prima para posibles industrias derivadas.
- Se dispone de la caracterización cualitativa y cuantitativa de los residuos, lo que permite contar con los antecedentes más importantes para la propuesta de una adecuada gestión de los residuos.
- Las encuestas y proyectos pilotos muestran una clara tendencia, donde la población presenta una vocación ciudadana, al participar en la gestión de residuos.
- Se ha demostrado un interés por la industria y el sector público, en incursionar en la ejecución de proyectos que analizan el uso de las tecnologías de tratamiento de residuos.

Análisis FODA

OPORTUNIDADES

- Existen alternativas de pretratamiento de residuos que se puede emplear para la segregación en diferentes fracciones, eliminando la necesidad de segregación en origen.
- Reforzar y mejorar el cumplimiento del DS N°189, que aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los Rellenos Sanitarios.
- En los próximos años, se vencen contratos de operación con Rellenos Sanitarios, y puede ser una buena oportunidad para la implementación de nuevas alternativas de tratamiento.
- Se necesitan nuevos sitios de disposición final de tercera generación, tales como Rellenos Sanitarios con sólo materia orgánica, para generación de biogás o disposición de solo rechazos, luego de implementar Centros de Acondicionamiento de residuos segregados en origen y/o Centros de Acopio.

Análisis FODA



OPORTUNIDADES

- Existe la posibilidad de financiar la operación de las tecnologías de tratamiento de residuos, considerando beneficios tributarios. Como medida complementaria, se podría aplicar impuestos para subir el precio de disposición a Rellenos Sanitarios.
- La recolección en contenedores permite proponer dentro de la cadena de gestión de residuos, la valorización de los RSDyA y otros, implementando la recogida segregada.
- Si se dispone de los datos duros de composición, humedad, densidad, granulometría y poder calorífico, entre otros, se podrá lograr una mejor elección del modelo de gestión de residuos.
- El momento socio-económico-político está impulsando el uso de tecnologías para el tratamiento de residuos.
- Nueva ley sobre atribuciones de los Gobiernos Regionales con las comunas que se encuentren en un área metropolitana (DFL 1/2019), en la temática de gestión de residuos sólidos.

Análisis FODA

DEBILIDADES

- Siete de las dieciséis regiones de Chile poseen una disposición en Rellenos Sanitarios inferior al 40%, produciéndose escenarios con una disposición inferior al 2%, en cuatro de estas siete regiones.
- El modelo actual de gestión de residuos genera pérdidas a las Municipalidades, con gastos que superan a los ingresos, por 1,99 a 7,22 veces (SUBDERE-SGS SIGA, 2018).
- Los métodos de gestión implementados por los Municipios, carecen de análisis técnicos económicos, que permitan establecer el valor real de recolección, transporte y disposición final de residuos.
- Poca capacidad financiera comunal para el desarrollo de proyectos.

Análisis FODA

DEBILIDADES

- Dada las características topográficas de cada región, deja en evidencia los problemas de conectividad para establecer puntos mancomunados, donde la escala sea un factor económico que haga factible a diferentes alternativas de disposición final.
- Hay una dificultad para coordinar trabajos entre Municipios, por conflictos que pueden tener un origen político-social.
- Los contratos de servicio de recolección y transporte tienen gran rigidez. Esta situación limita que se puedan analizar nuevas opciones o volver a negociar precios.

Análisis FODA

AMENAZAS

- Las regiones que no poseen sitios de disposición que cumplan con el DS N°189 del 2008, pueden generar problemas a la salud y seguridad de la población, por la atracción de vectores y patógenos, y la generación de malos olores.
- En los siguientes 10 años, se cierran 7 Rellenos Sanitarios y un Centro de Tratamiento de residuos, por lo que se requieren analizar alternativas de tratamiento y disposición de residuos (SUBDERE-SGS SIGA, 2018).
- Las amenazas que afectan a la implementación de tecnologías de tratamiento, corresponden principalmente al: volumen generado de residuos, las distancias de transporte y la calidad del residuo.
- Una amenaza seria, es que después de haber escalado en la contención total de los residuos, en Rellenos Sanitarios o Vertederos Controlados, se siga insistiendo en este método como única solución, sin tratar de escalar en la solución de acuerdo a las políticas ambientales vigentes.

Análisis FODA

AMENAZAS

- No evaluar desde un punto de vista técnico, ambiental, social y económico, las diferentes alternativas, dejándose llevar por propuestas foráneas con respuestas ambientales importantes, las que solo se conocen en proyectos pilotos.
- Una oferta de tecnologías extranjera que considera evaluaciones que no responden a la realidad del país, y que incluso, no han sido probadas a escala industrial. Muchas de las tecnologías que aparentemente son una gran solución han sido implementadas en países desarrollados basadas en subsidios, que, en el caso europeo, alcanzan hasta el 70% del valor operacional del proyecto. Existe un riesgo de generar proyectos a partir de tecnologías ofrecidas por proveedores en un mercado de baja transparencia.
- No existe una relación entre la cantidad de gente, situación de la Región y volumen de residuos, para determinar el precio de inversión de los Rellenos Sanitarios y los subsidios otorgados para su construcción.





Criterios Económicos

Criterios económicos



Tasa de descuento por modelo CAPM

- Las tecnologías de pretratamiento y compostaje se evalúan con una tasa de descuento del 7,54%.
- Las tecnologías de generación de energía se evalúan con una tasa de descuento del 8,6%.

Vida útil

- Se analiza un periodo de 20 años.

Depreciación

- La evaluación no considera una vida útil única, sino que una depreciación como paquete tecnológico.
- El paquete tecnológico posee bienes depreciables a 6, 10, 15, 20, 30 y más años. Como promedio ponderado, se identificó una vida útil de 20 años.

Parámetros analizados

- Punto de Equilibrio (Peq)
- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Ingreso/cobro por tratamiento de la tecnología, que permite hacer el VAN igual a 0
- Sensibilidad precio de venta de compost, recuperación de material reciclable y precio de venta de energía.



Evaluación económica de las Tecnologías

División por Macrozona



Macrozona Norte

- Región de Tarapacá.

Macrozona Central

- Región de Valparaíso

Macrozona Sur

- Región de los Lagos.

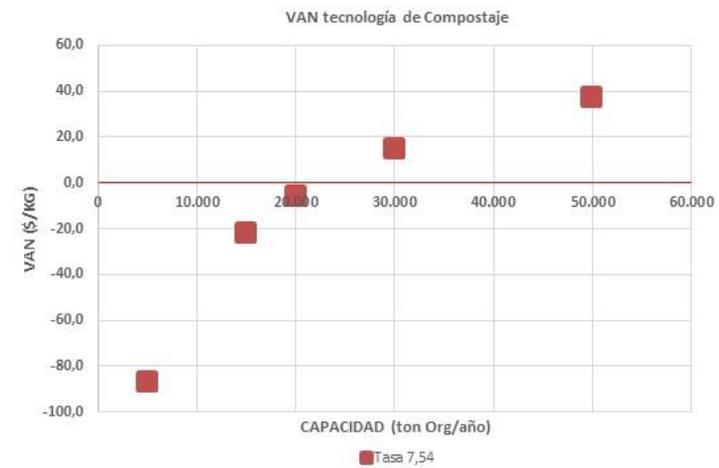
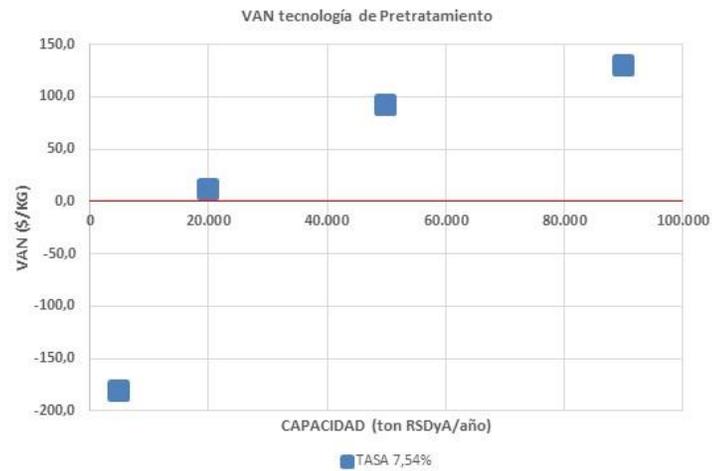
Aspectos territoriales

Indicadores económicos de gestión de RSDyA en regiones seleccionadas para representar la Macrozona Norte, Macrozona Centro y Macrozona Sur.

Item	Indicadores	Tarapacá		Valparaíso		Los Lagos	
		ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Economía		MM\$/año	%	MM\$/año	%	MM\$/año	%
	Derechos de aseo	1.363	18,6	15.503	42,9	3.031	23,0
	Gastos Servicios de Aseo	7.325		36.117		13.162	
	Déficit	5.963	81,4	20.614	57,1	10.131	77,0
		\$/unidad		\$/unidad		\$/unidad	
	Costo por habitante (\$/hab)	22.160		19.889		15.883	
	Costo Total (\$/kg)	42,5		42,0		39,5	
	Costo Disposición Final (\$/kg)	12,2		7,5		7,75	

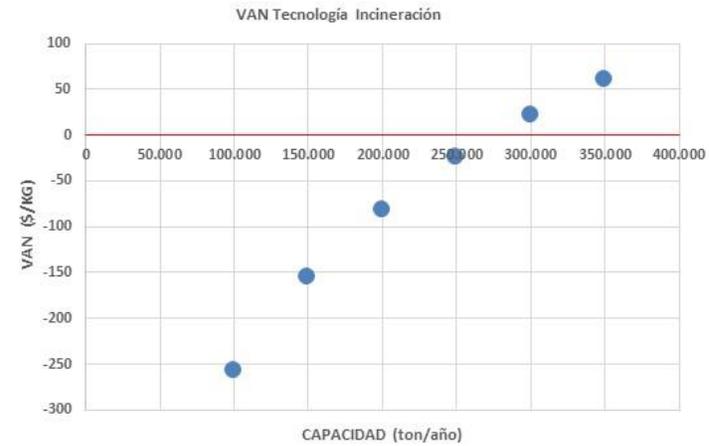
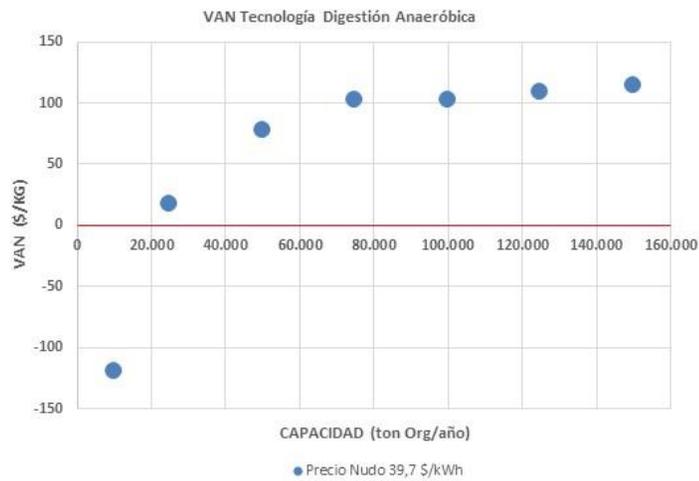
Macrozona Norte

Macrozona Norte



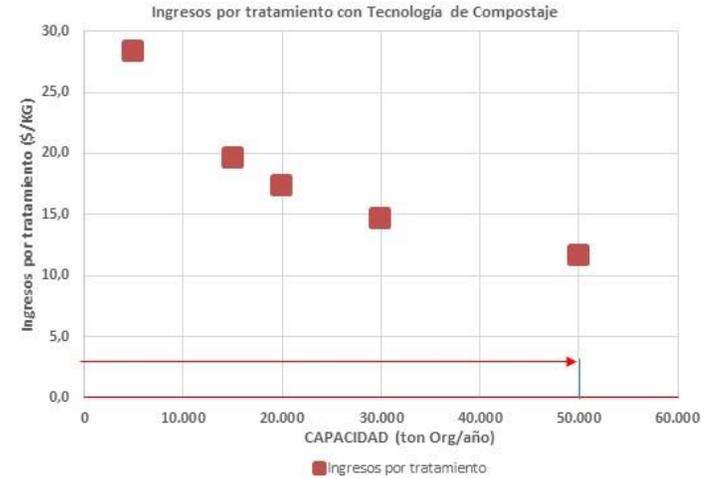
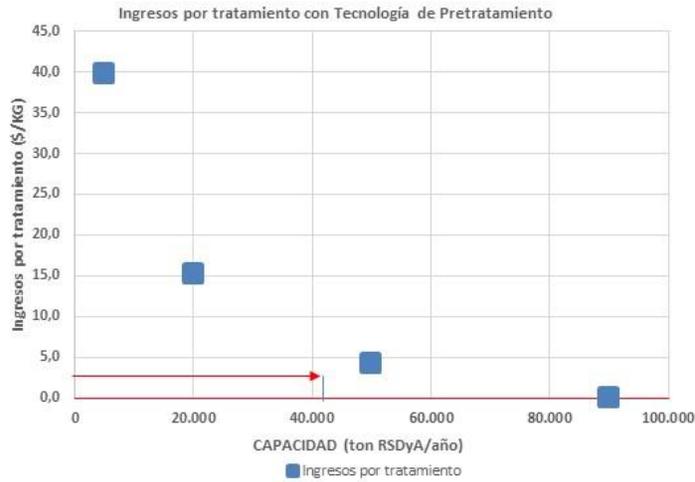
VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Norte.

Macrozona Norte



VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Norte.

Ingresos por tratamiento - Arica

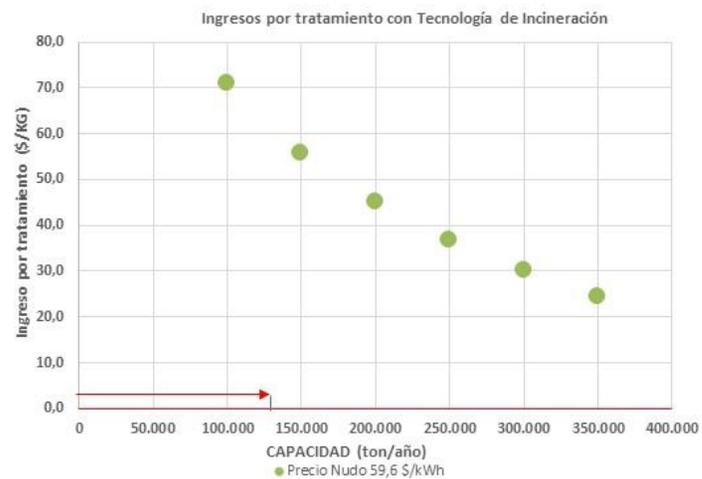
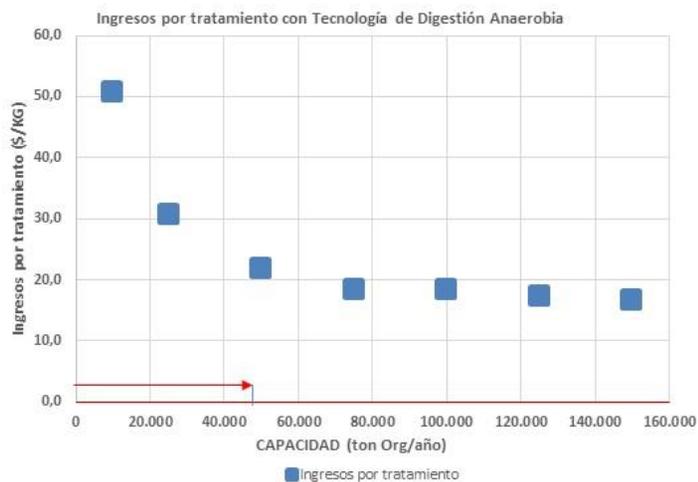


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Arica

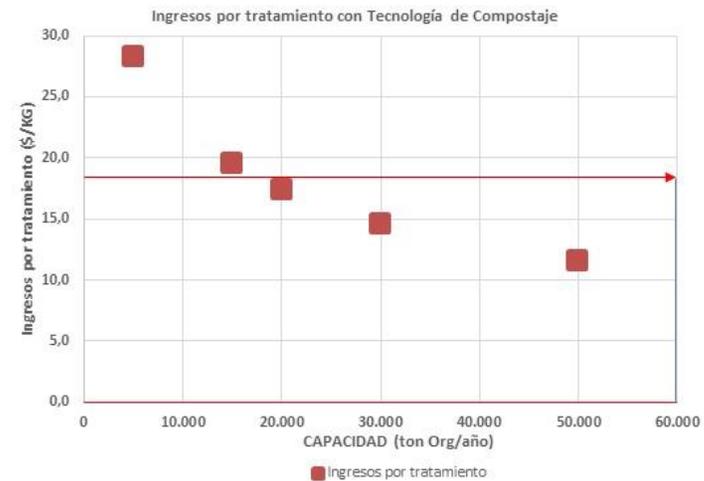
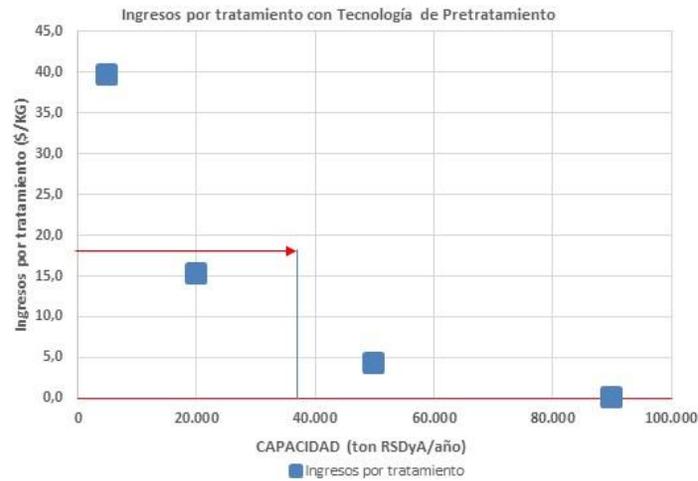


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Iquique

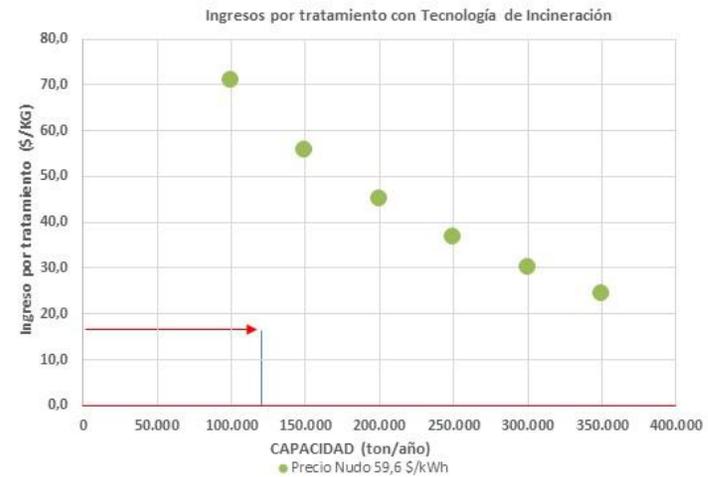
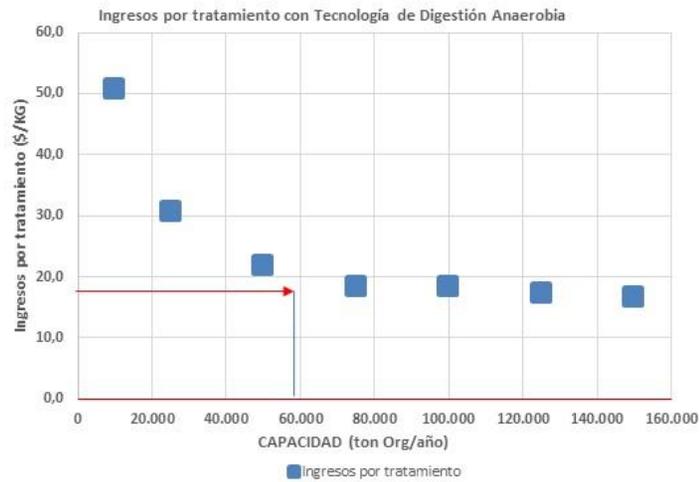


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Iquique

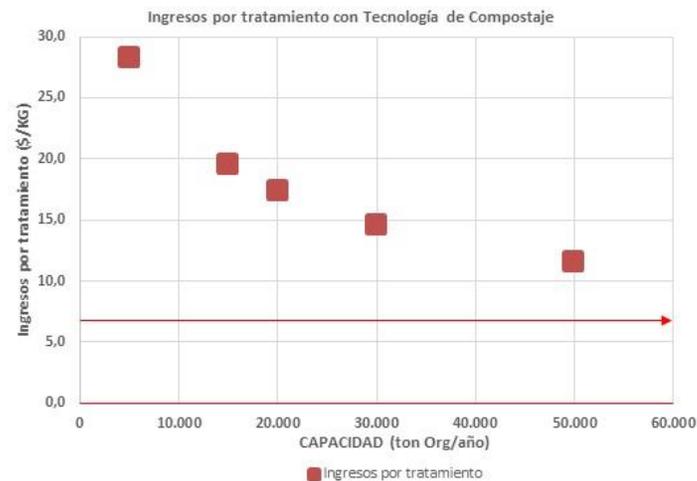
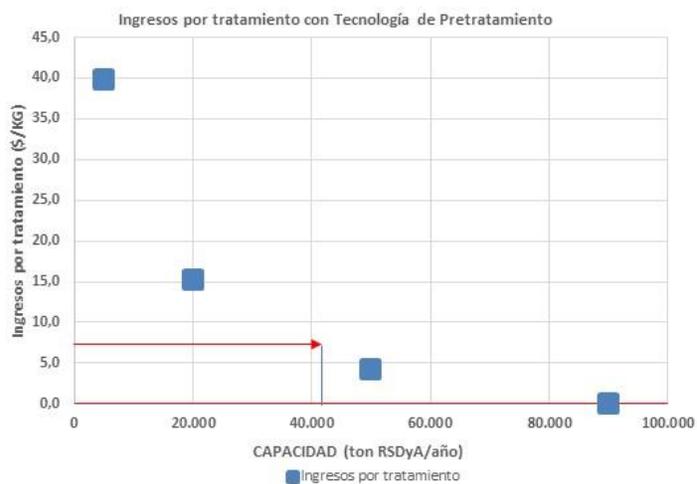


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Antofagasta

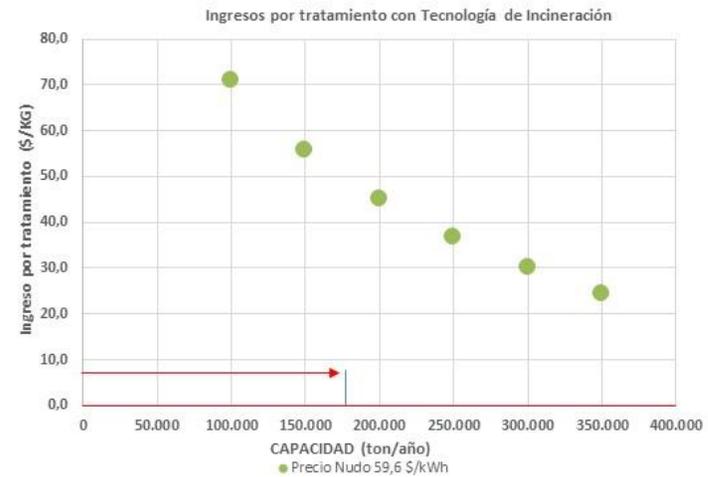
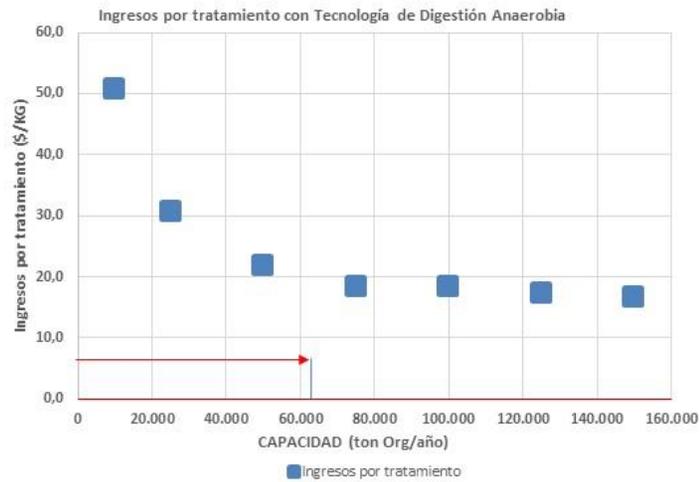


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Antofagasta

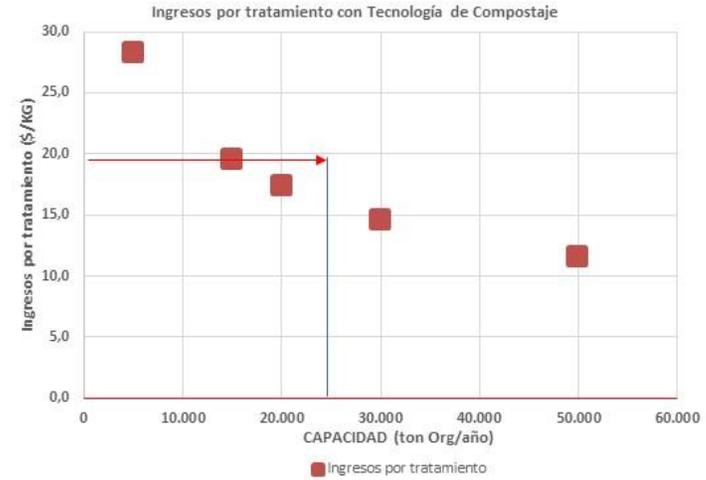
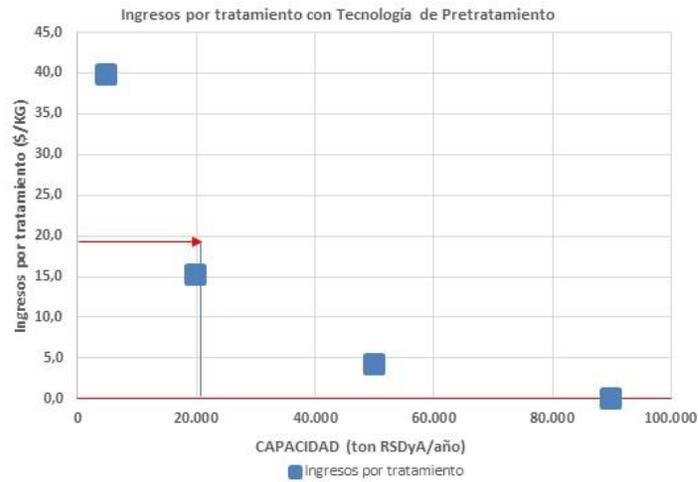


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Copiapó

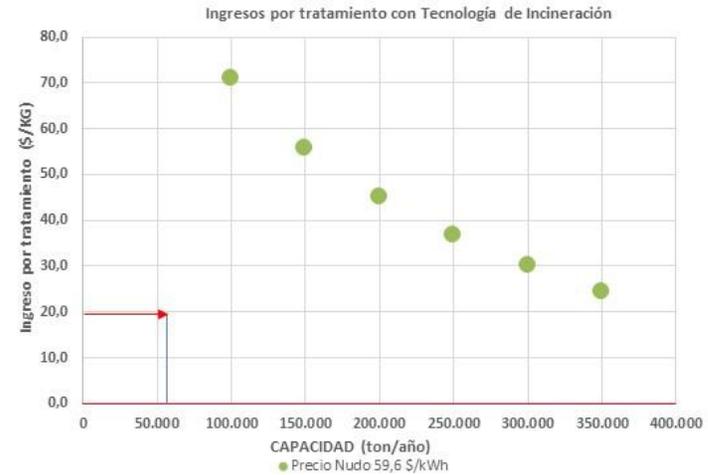
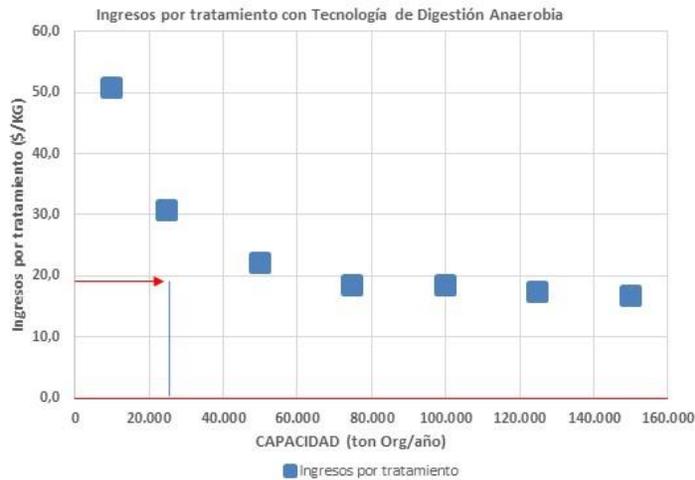


Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Copiapó

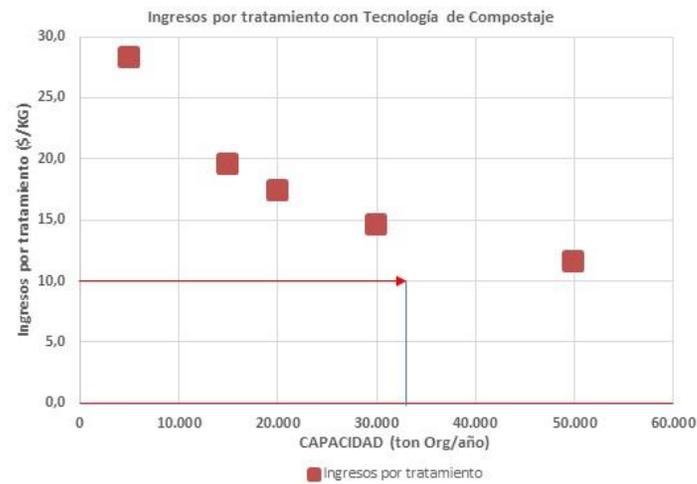
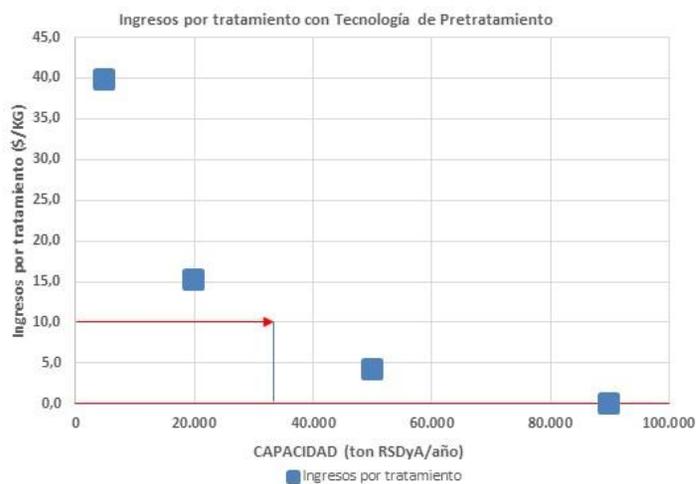


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Coquimbo

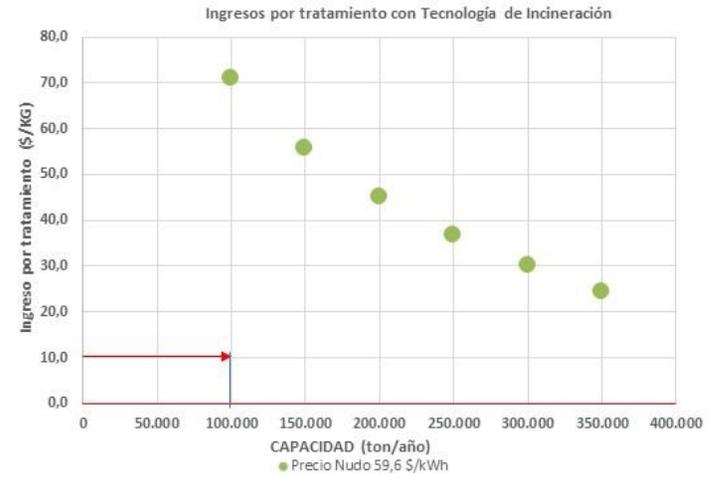
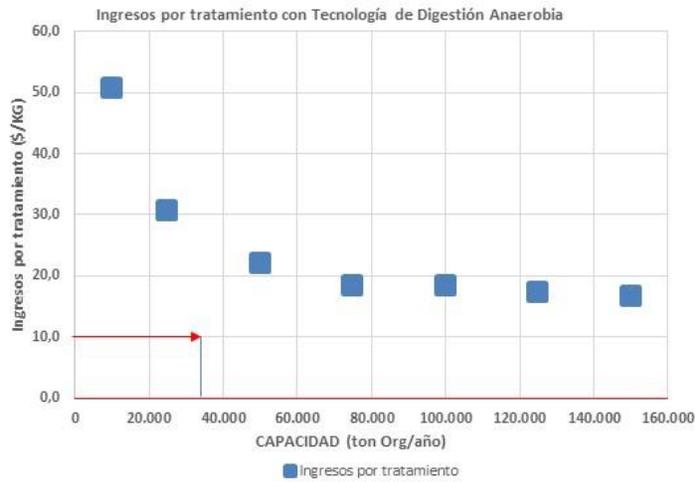


Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Coquimbo



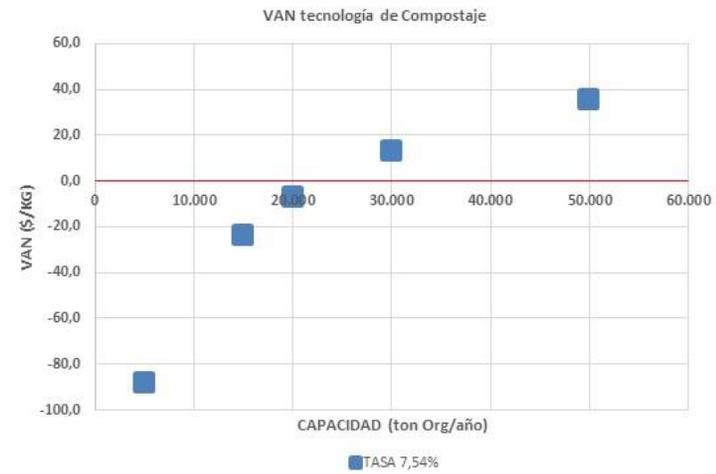
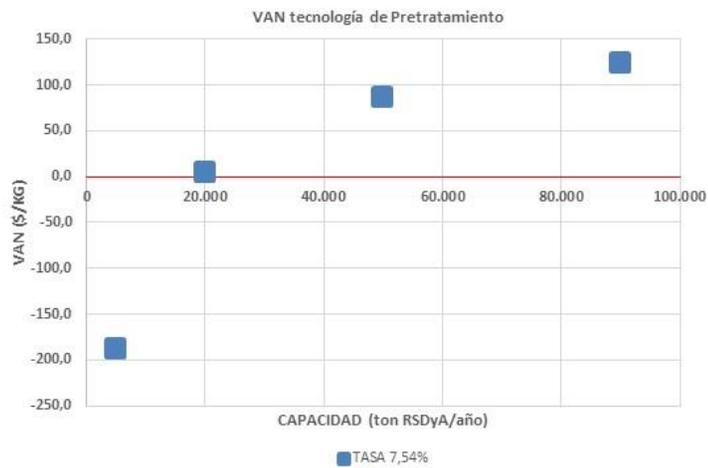
**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

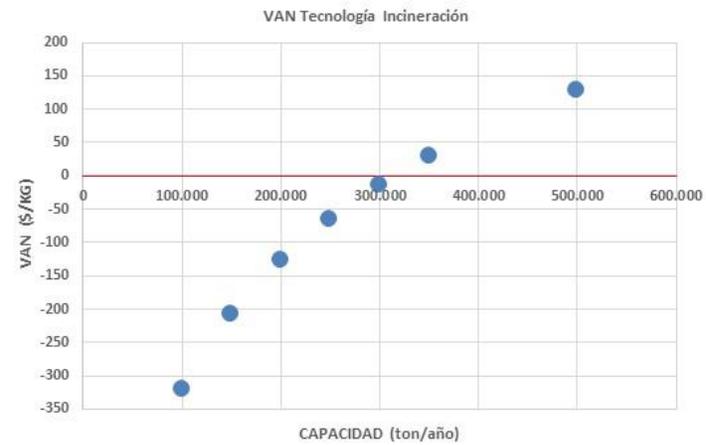
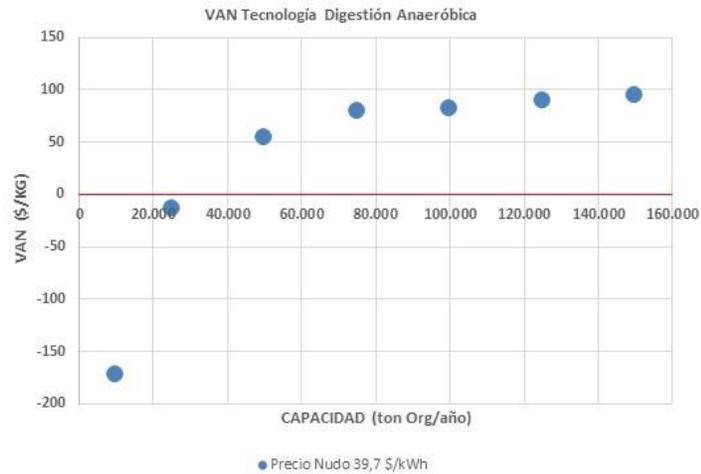
Macrozona Centro

Macrozona Centro



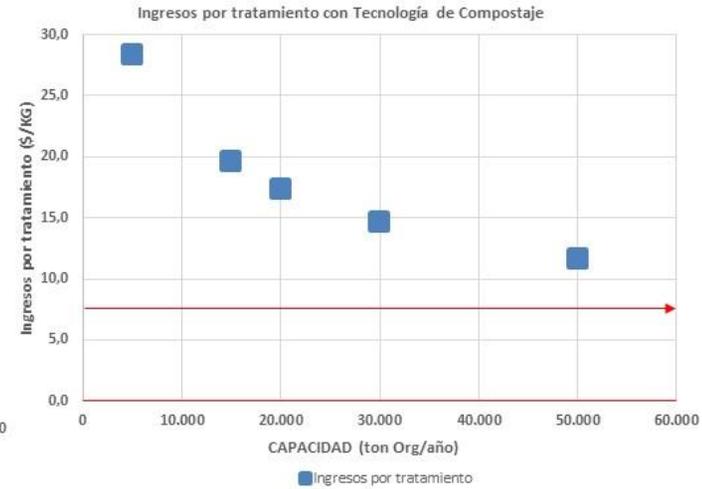
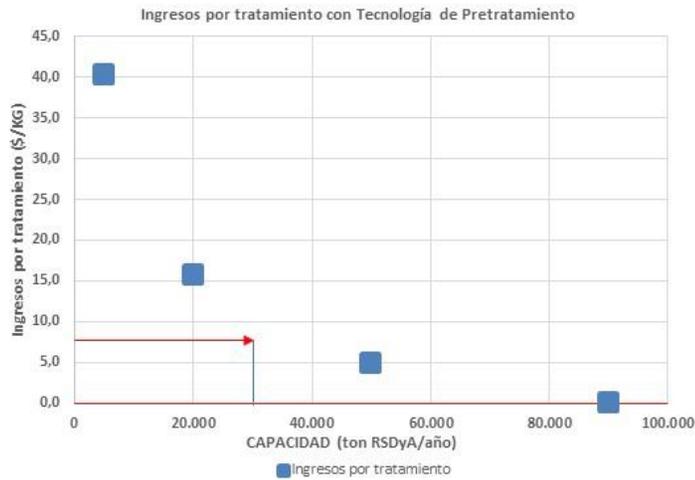
VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Centro.

Macrozona Centro



VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Centro.

Ingresos por tratamiento - Viña del Mar

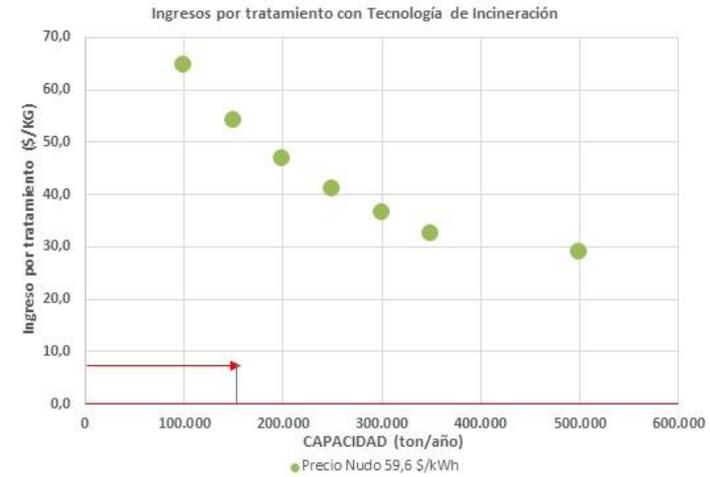
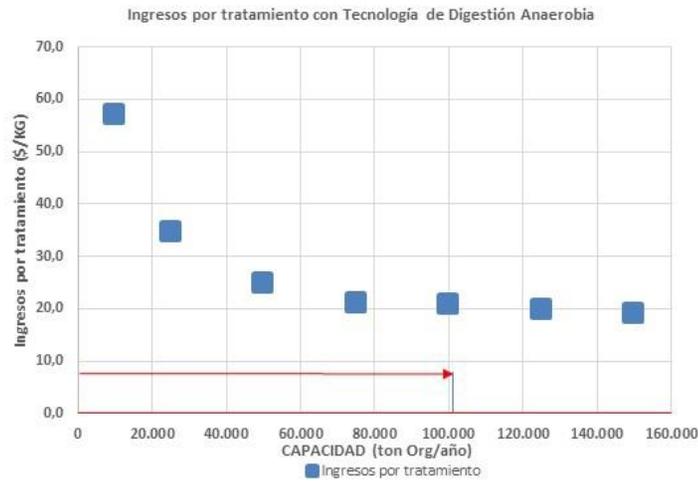


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Viña del Mar

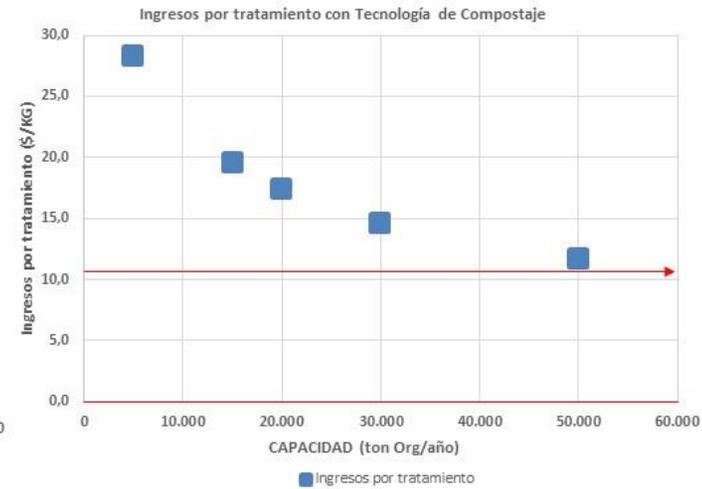
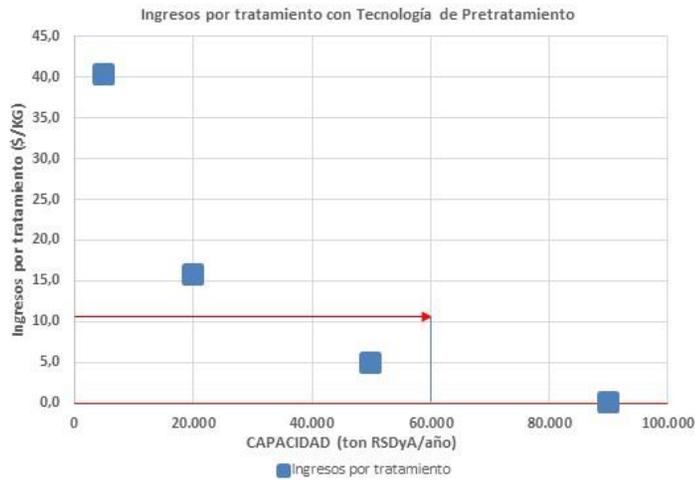


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Puente Alto

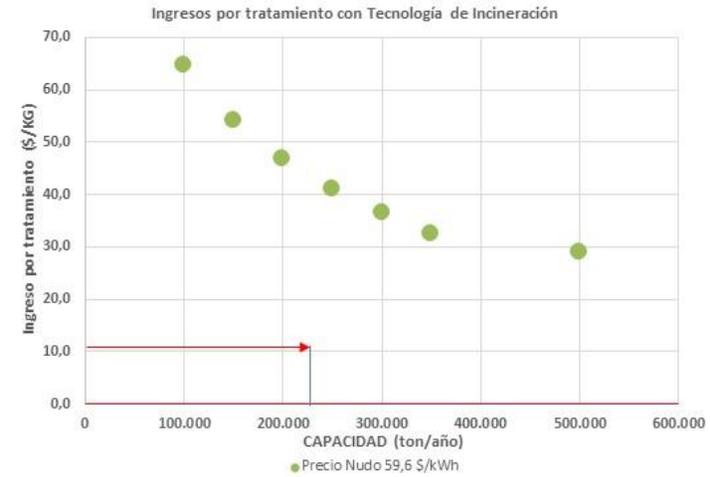
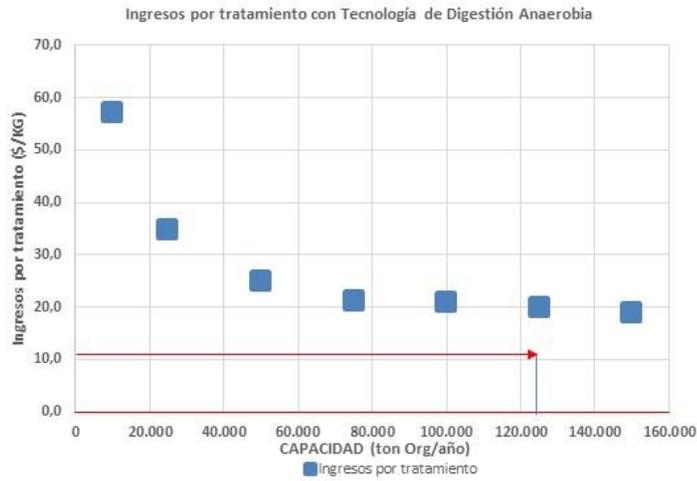


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Puente Alto

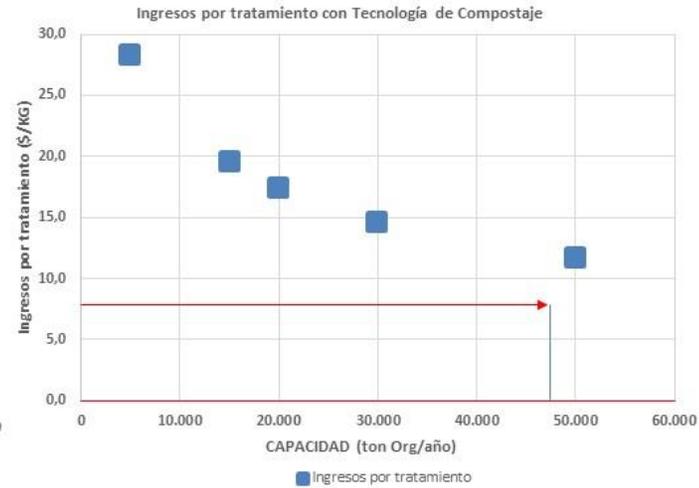
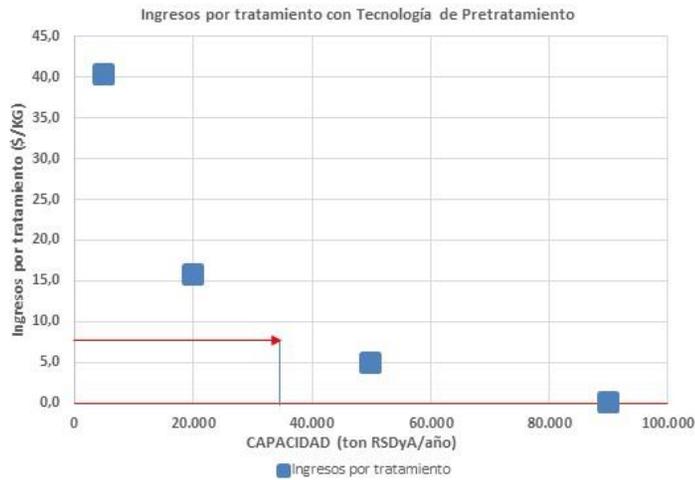


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Rancagua

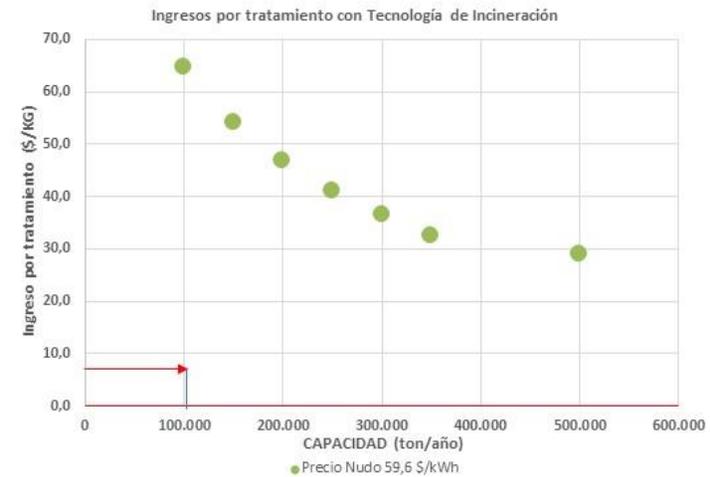
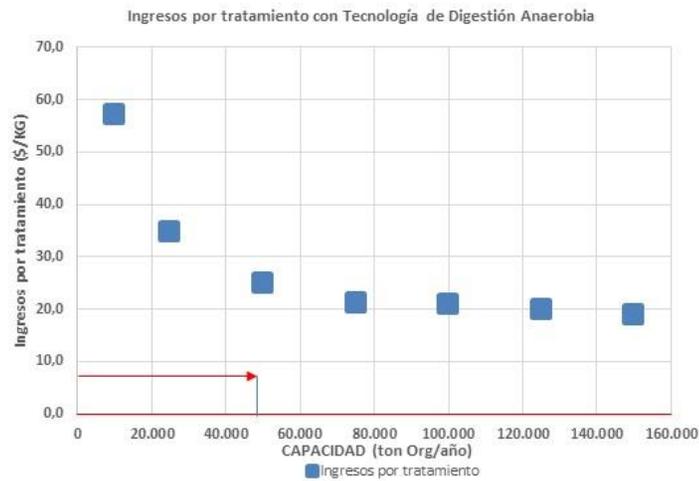


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Rancagua

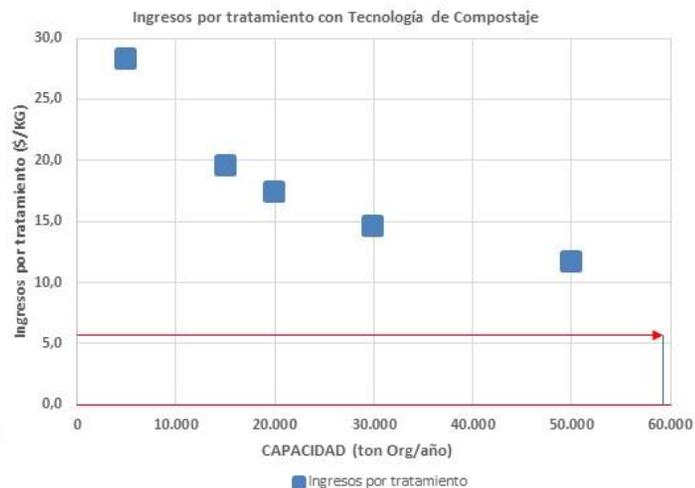
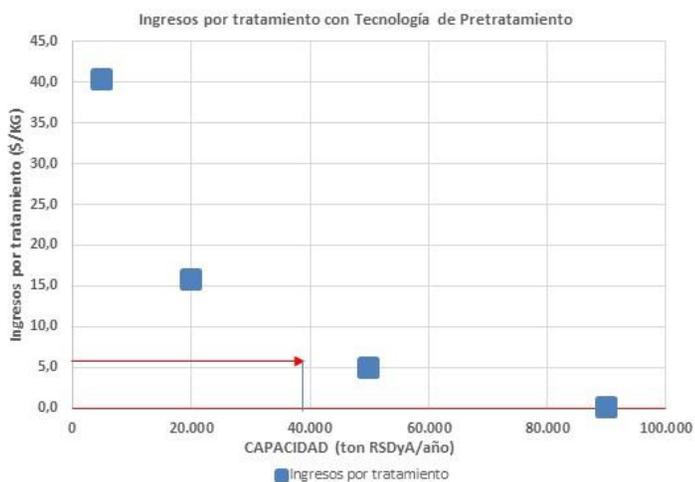


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Talca

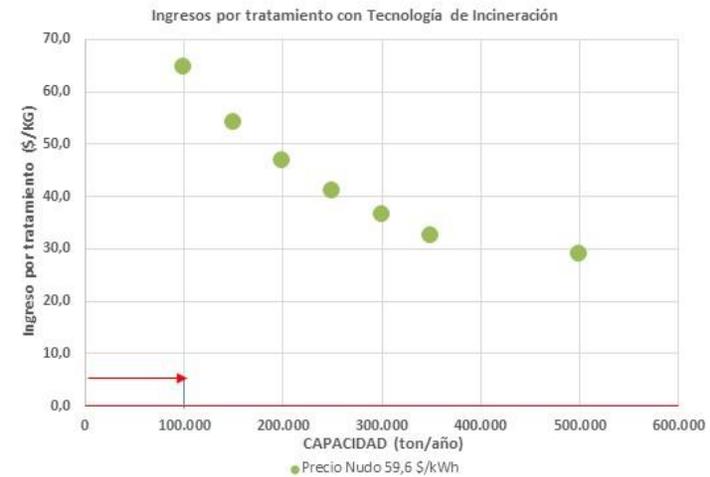
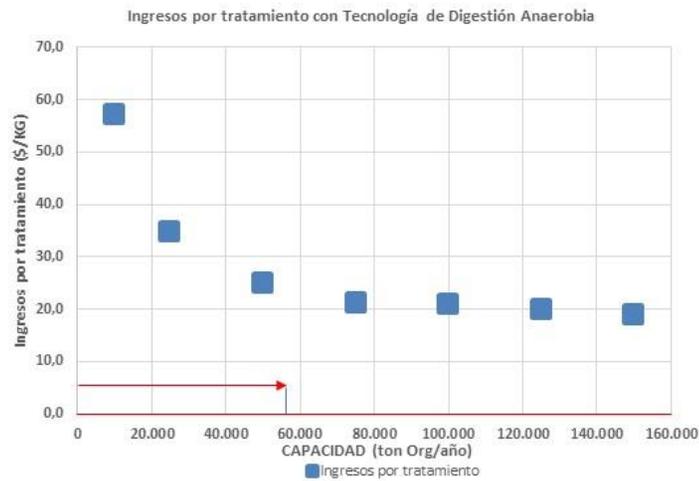


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Talca



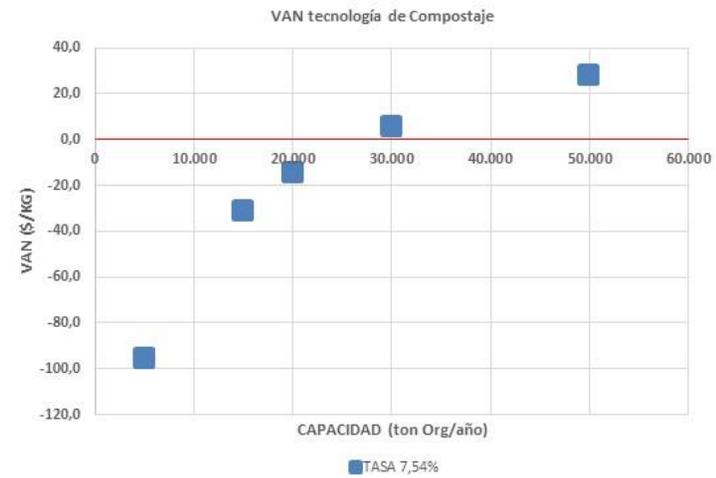
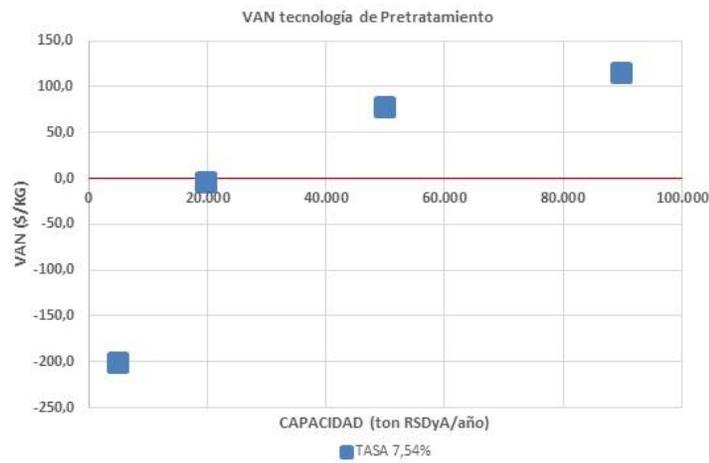
**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición en la Comuna

Disponibilidad del residuo

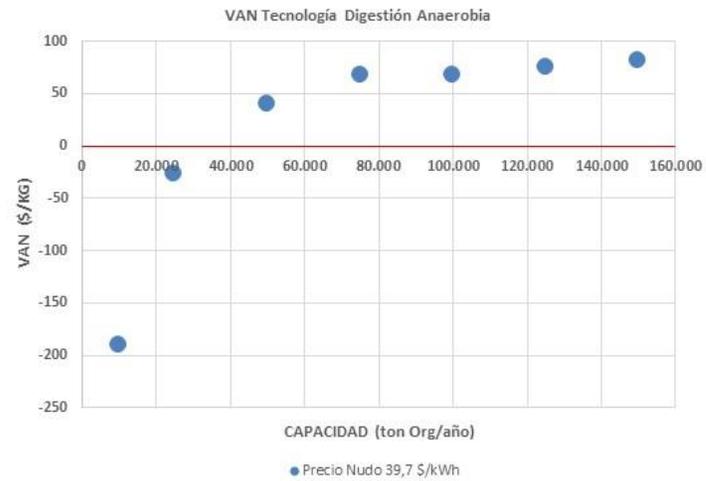
Macrozona Sur

Macrozona Sur



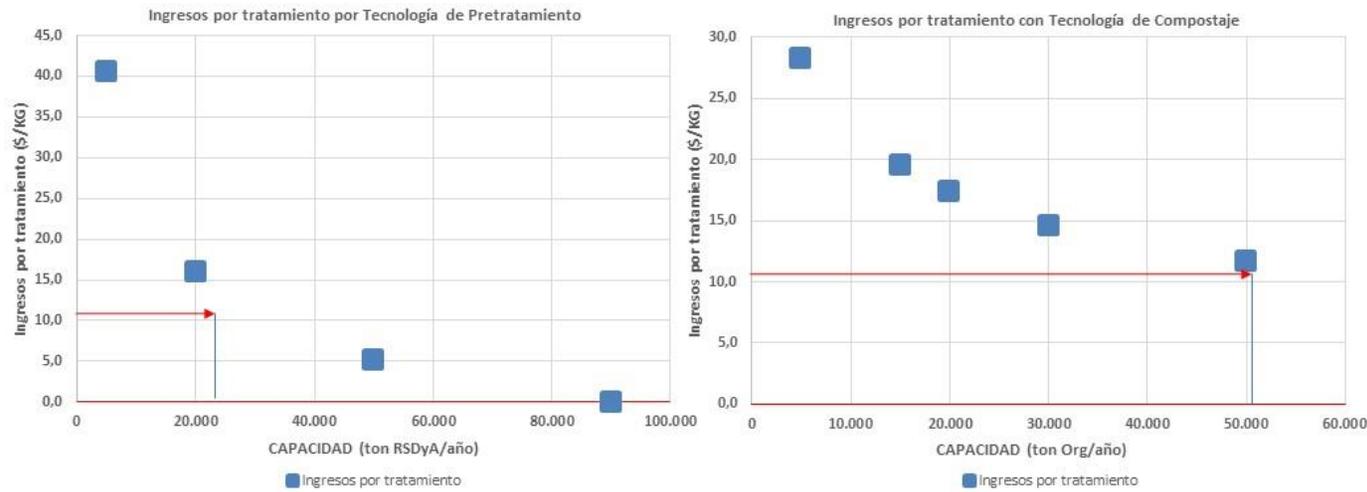
VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Sur.

Macrozona Sur



VAN de las tecnologías de tratamiento de residuos en la Macrozona Sur.

Ingresos por tratamiento - Concepción

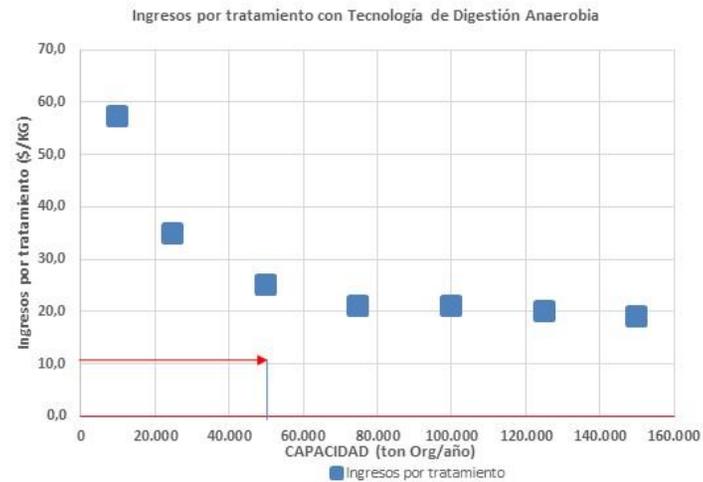


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Concepción

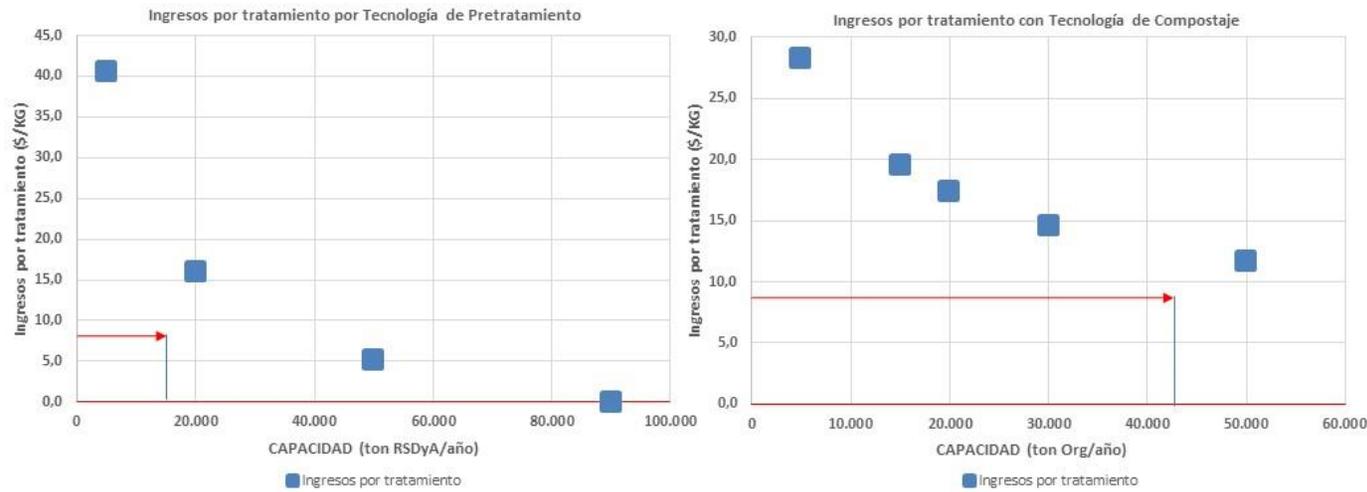


Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Chillán

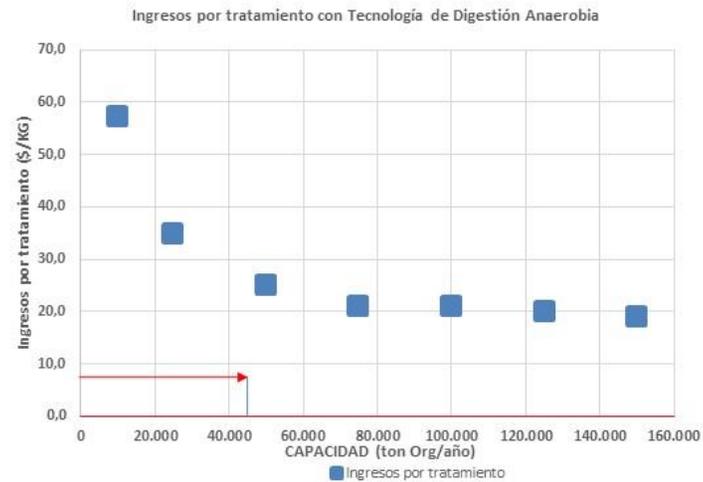


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Chillán

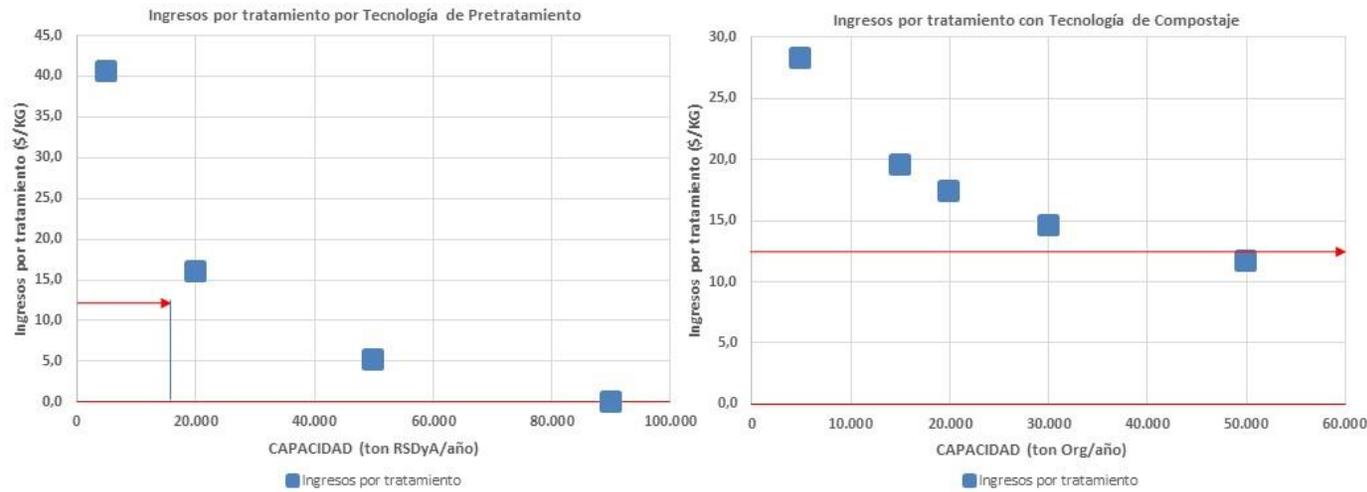


Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Temuco

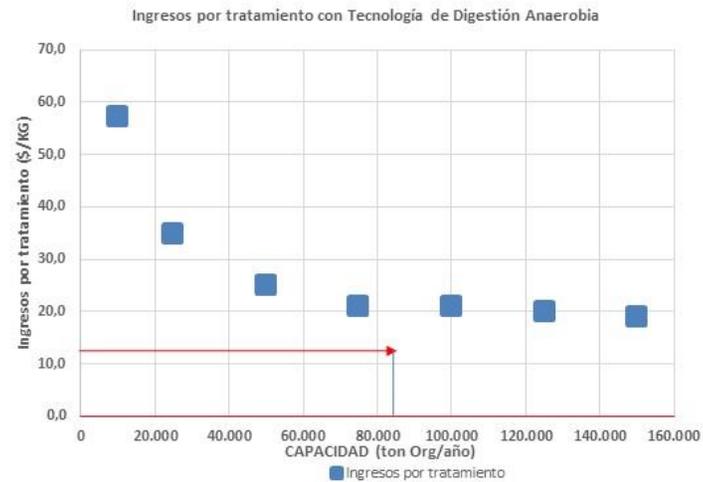


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Temuco

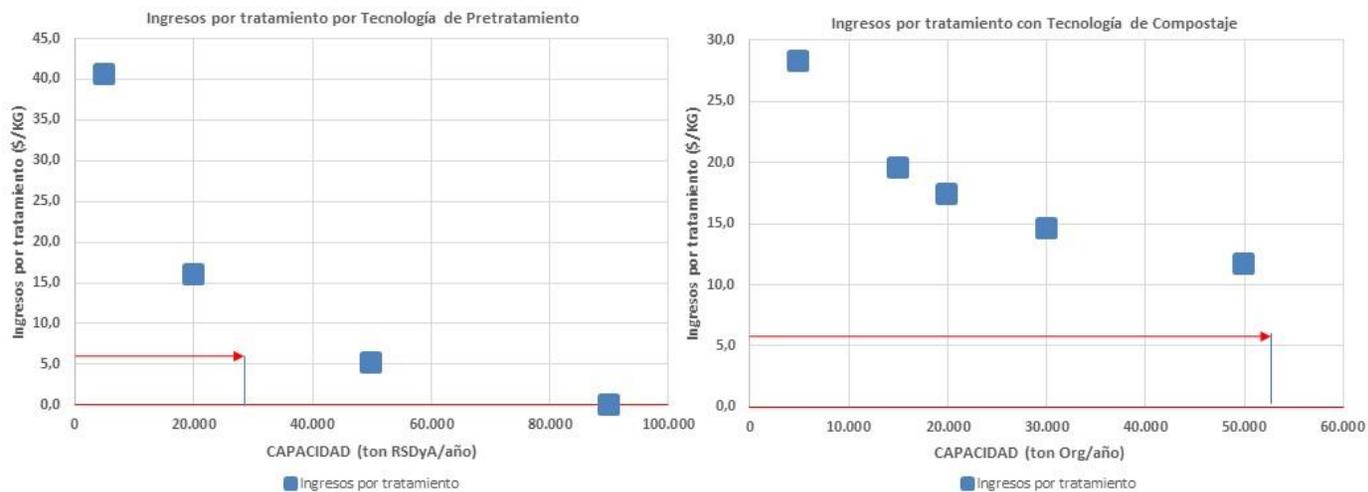


Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Valdivia

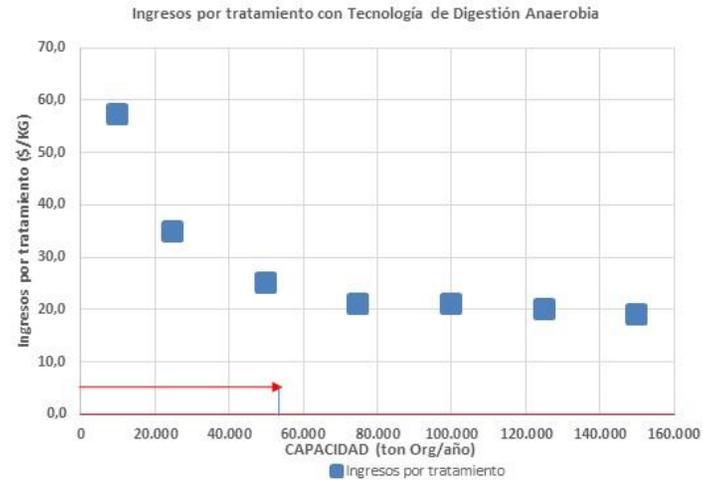


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Valdivia

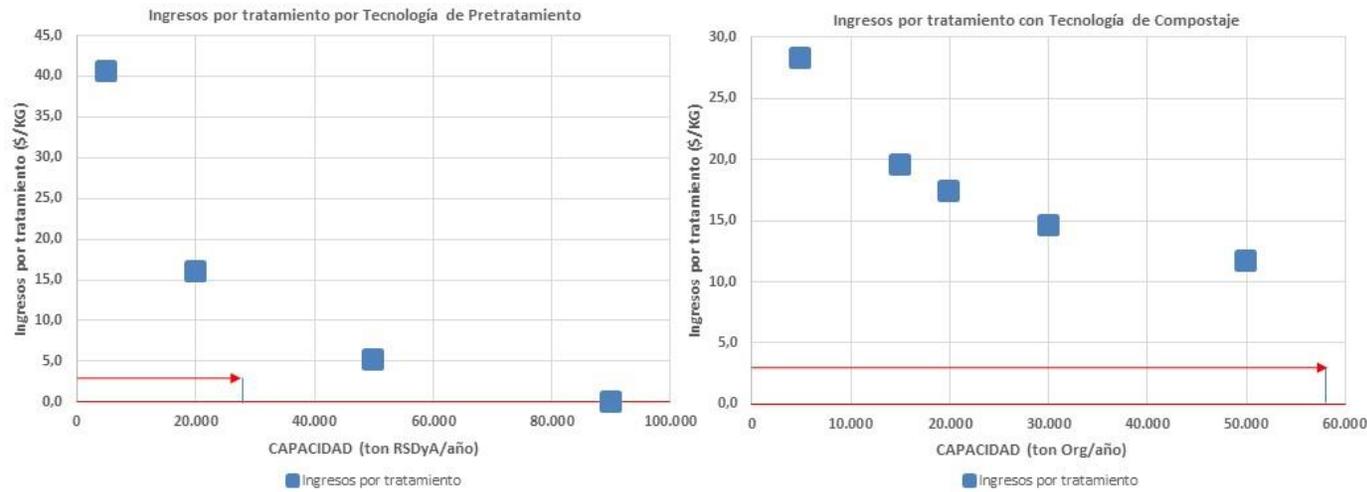


Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Osorno

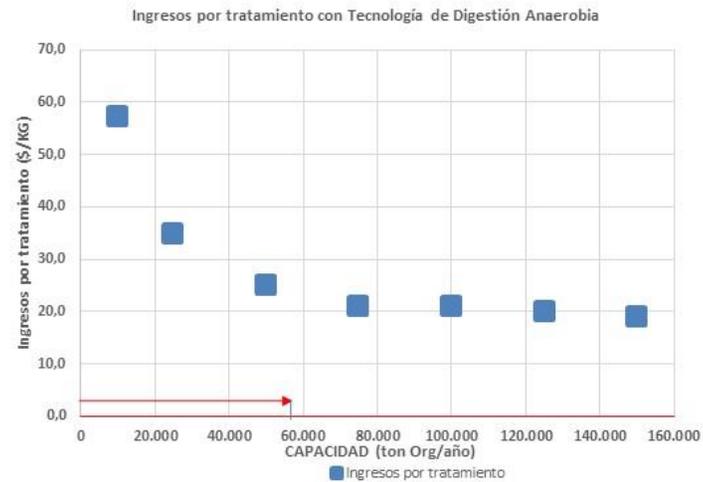


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Osorno

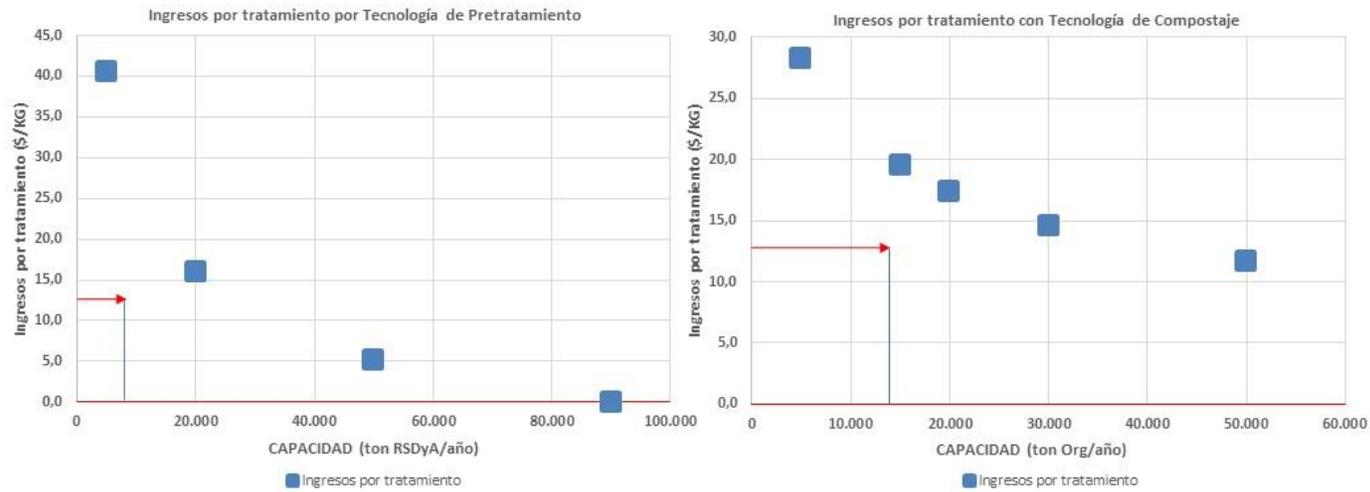


Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Coyhaique



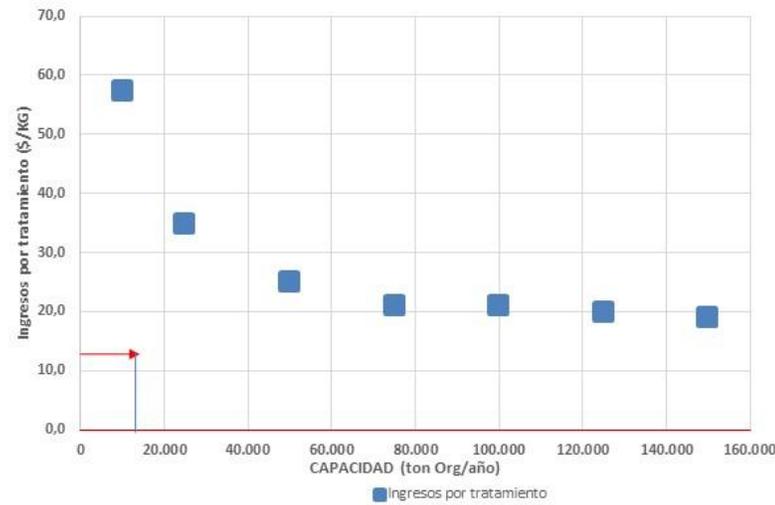
**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Coyhaique

Ingresos por tratamiento con Tecnología de Digestión Anaerobia

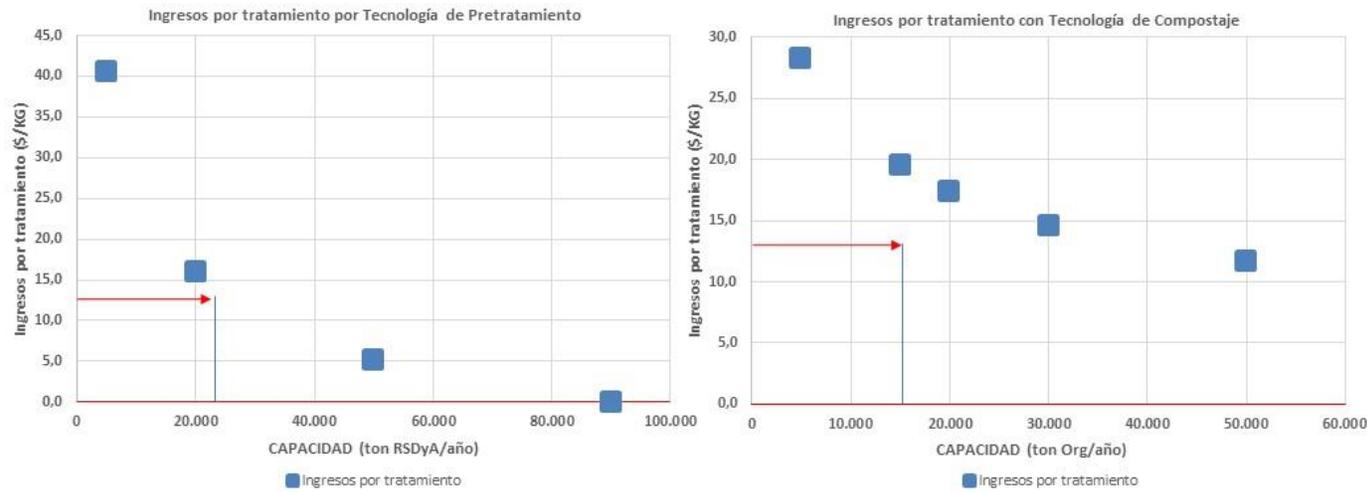


Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición

| Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Punta Arenas

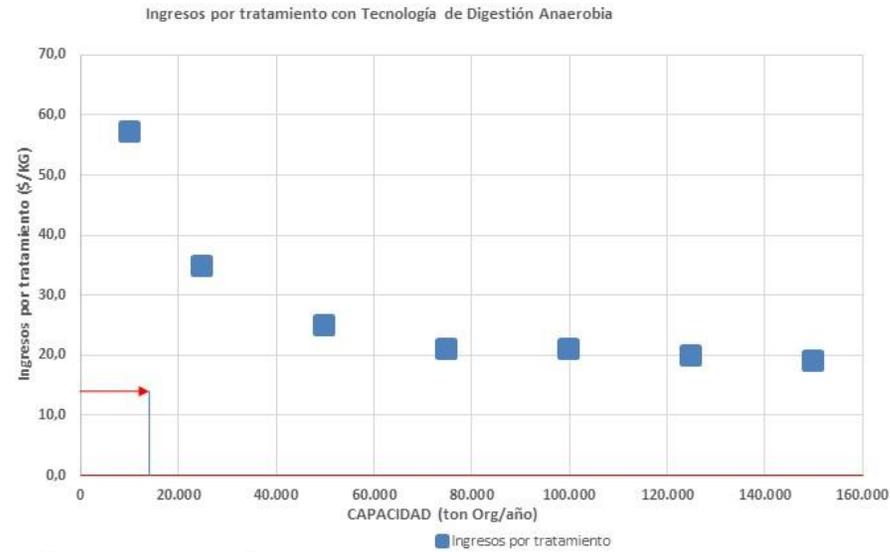


**Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.**

→ Cobro por disposición

Disponibilidad del residuo

Ingresos por tratamiento - Punta Arenas



Ingresos por tratamiento.
Equilibrio de Ingresos, costos e inversiones, para VAN=0.

→ Cobro por disposición

Disponibilidad del residuo



Recomendaciones y Conclusiones

Conclusiones



1. El diagnóstico realizado en el país muestra que existe una solución sanitaria de los residuos sólidos urbanos y asimilables aceptable con los Rellenos Sanitarios, existiendo aun brechas.
2. Los países desarrollados, especialmente Europa, tienen estrategias propias de una Economía Circular. En Chile aun no se tiene una política pública en este sentido para los residuos urbanos y especialmente los orgánicos.
3. El enfoque debe ser sistémico, siguiendo el ciclo de vida de los residuos, aplicando en cada etapa soluciones que tengan por objetivo que la disposición sea la mínima posible. Para ello, la segregación en origen es importante para aplicar intensivamente el principio 3R.
4. Las nuevas tecnologías están diseñadas para hacer frente a este proceso. De esta forma, por ejemplo, tecnologías como la Digestión Anaerobia sólo procesa residuos orgánicos

Conclusiones

5. Se requiere mejorar los modelos de gestión de recursos para el tratamiento de residuos, para disminuir la brecha que se ha identificado entre los ingresos por aseo y ornato, y costos por gestión de residuos.
6. La siguiente prioridad después de la minimización de generación de residuos y del reciclaje, es el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos, lo cual se puede realizar por técnicas como compostaje, digestión anaerobia, incineración, gasificación y pirólisis.
7. De acuerdo al nivel de madurez, factibilidad técnica, ambiental, legal e institucional, actualmente, las principales técnicas de tratamiento de residuos que pueden ser implementadas son el pretratamiento, compostaje, digestión anaerobia e incineración.

Conclusiones

8. Debe existir una continuidad de políticas de gestión de residuos que permitan trabajos Intercomunales y tratamiento valorizado de residuos.
9. El estudio realizado demuestra que hay tecnologías comerciales posibles de ser implementadas en Chile, que estas requieren una visión sistémica, donde hay tamaños adecuados, para lo cual se requieren recursos y/o definir tarifas que pueden subir el costo de manejo, pero no sustancialmente.
10. La Ley REP es un inicio positivo, fomenta buenas prácticas y acerca al país al modelo europeo, sin embargo, es necesaria una estrategia integral.
11. En resumen, existe un portafolio de posibles tecnologías y su aplicación requiere de un enfoque país orientado hacia la sustentabilidad.
12. En general, se debe ir hacia modelos centralizados que permitan economías de escala, lo que implica también una gestión de recolección y manejo centralizado e integral.

Conclusiones

13. No obstante, existen casos particulares en donde tecnologías como compostaje y digestión anaerobia pueden ser atractivas.
14. Si bien las tecnologías de tratamiento de residuos poseen particularidades para su implementación, el desarrollo actual permite que dentro de las tecnologías escogidas, Compostaje, Pretratamiento y Digestión Anaerobia puedan ser implementadas en todo el territorio chileno. Debido a la humedad, carga orgánica y cenizas de los residuos, la implementación de las tecnologías térmicas se puede realizar solo en las Macrozonas Norte y Centro del país.
15. Es posible para casos específicos, desarrollar un modelo descentralizado con manejo y tratamiento in situ, minimizando los costos principalmente de transporte.
16. Se debe desarrollar una estrategia con un modelo sistémico de economía circular para los residuos urbanos y asimilables, que considere acciones en todo el ciclo de vida.

Conclusiones

17. Las tecnologías de gasificación y pirólisis pueden ser implementadas, pero requieren de mayores estudios de aplicación a las características del territorio chileno, para poder evaluar las inversiones requeridas.
18. Una vez incrementada la cobertura total de la disposición de residuos en los sitios legalmente establecidos, la implementación de las tecnologías de tratamiento de residuos permitirán cambiar la visión de la disposición de residuos hacia su valorización, cambiando el foco desde la gestión de residuos a gestión de recursos.
19. La información levantada para la ejecución de este proyecto, podrá ser empleada como pauta para el desarrollo de guías de evaluación de proyectos de valorización de residuos

Recomendaciones



- Emplear máquinas expendedoras inversas, para residuos de la categoría envases y embalaje.
- Reducción de impuestos a empresas de tratamiento de residuos.
- Pago obligatorio para la disposición de residuos, proporcional a la generación y nivel socioeconómico.
- Aplicación de un impuesto o cargo por eliminación anticipada a productos prioritarios para ser tratados.
- Aplicación de tasa de impuestos a otros servicios básicos (agua y/o electricidad).
- Establecimiento de porcentajes de residuos destinados a diferentes alternativas de tratamiento.

Recomendaciones



- Continuidad de políticas de gestión de residuos que permitan trabajos Intercomunales y tratamiento valorizado de residuos.
- Impulsar creación de empresas de reciclaje, mediante la extensión de la normativa actual vigente. Esto permitirá que no se genere la concentración de empresas en la zona central de Chile.
- Priorizar el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos y de residuos con alto potencial calorífico.
- Aplicación de subsidios a tecnologías de tratamiento de residuos para obtener una factibilidad económica que permita su aplicación, y en el caso de las tecnologías de generación energética, aplicar un subsidio proporcional que permita subsanar variaciones en el precio de venta de energía.

Recomendaciones



- Aplicar en los planes de ordenamiento territorial, definición de sectores destinados para el tratamiento de residuos y su disposición, para que no hayan poblaciones cercanas y disminuyan las inversiones asociadas a compra de terreno.
- **Ampliar el texto del DFL 1/2019** – Texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695, sobre Municipalidades, para evaluar el traspaso de responsabilidades de gestión de residuos que poseen las Municipalidades, a los Gobiernos Regionales. Esta iniciativa debe considerar una evaluación de la gestión de residuos, determinando las capacidades actuales y planes para disminuir brechas generadas por la diferencia entre los ingresos y costos de la gestión de residuos.



Jornada Taller

Jornada de Taller

- Juntarse en grupos de acuerdo a los colores asignados durante la acreditación.
- Emplear Post-it Amarillos para observaciones y Post-it verdes para adiciones a las recomendaciones y conclusiones.
- Un representante por equipo debe exponer los puntos de vista.





GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA EMPRESA

MUCHAS GRACIAS

www.nbcpucv.cl

Análisis PORTER



PODER DE NEGOCIACIÓN DE LOS PROVEEDORES

- Los proveedores de servicios para el reciclaje pueden establecer estándares limitantes al desarrollo del negocio.
- Dada la forma en que se genera el residuos, se requiere de una segregación en origen o una acumulación en determinado punto o contenedor. Esta situación lleva a negociar con la empresa informal, hoy conocidos en la ley como recicladores base.
- Los consumidores deben ser vistos como agentes activos del desarrollo de esta industria. Es necesaria su participación en la segregación en origen y en el desarrollo de una cultura de reciclaje y economía circular.
- Los Municipios sólo tienen poder de negociación en el llamado a propuesta para cumplir con el mandato por ley que tiene el alcalde.

Análisis PORTER

PODER DE NEGOCIACIÓN DE LOS PROVEEDORES

- La situación actual de trabajo les impide usar tecnologías de punta, por falta de planes de manejo que definan las MTD, además de no contar con los recursos para la implementación.
- El poder negociador sólo se basa en los adicionales que oferta la empresa.
- Se requiere de un rol proactivo del estado, para fomentar el uso de las tecnologías de tratamiento de residuos.

Análisis PORTER

RIVALIDAD ENTRE COMPETIDORES

- El mercado de RSDyA es prácticamente monopólico, donde hay escasos competidores. La valorización de residuos ofrece espacio para competidores, todo ello dependiendo de la escala de producción. Es importante generar capacidades de asociación (cluster) que permitan la economía de escala.
- La rivalidad observada por la empresa, no se centra en la valorización. El valor del negocio está en adjudicarse la recolección y la disposición final, lo que obviamente al ser licitados por las toneladas recogidas, recolectadas o dispuestas, no genera un interés por parte de la empresa, para establecer una minimización. Esta situación solo impulsa a que pueda evolucionar a la recogida segregada, situación que no se desencadena al no observarse una clara demanda por cada una de las fracciones.
- Se observa una competencia entre empresas, las que se implementan bajo el alero de “beneficios” (Coaniquem) las que concentran en determinados puntos o contenedores, la cantidad que hace rentable en primer lugar el transporte y luego los subproductos.

Análisis PORTER

RIVALIDAD ENTRE COMPETIDORES

- Existen múltiples empresas nacionales e internacionales que tratan de capturar el negocio de más alta rentabilidad, el cual se lleva un 70% del costo de la gestión de residuos. Este negocio corresponde al transporte de residuos.
- El transporte, al igual que la disposición, servicios que se pagan por tonelada, no incentivan a la minimización, ni menos al reciclaje.

Análisis PORTER



AMENAZAS DE ENTRADA DE NUEVOS COMPETIDORES

- De las empresas que involucran al sector, ninguna de ellas alcanza una rentabilidad atractiva. Por este motivo se observa mínima venta de tecnología y un mercado incipiente para nuevos negocios.
- La negociación entre proveedores es muy baja. No existen antecedentes que muestren esta posibilidad, no hay registros de conflictos entre competidores, salvo algunas situaciones hace años en la Región Metropolitana de Santiago. Cabe considerar que los proyectos no responden a una evaluación privada y son considerados proyectos sociales.
- Las empresas dedicadas a tratamiento de residuos deben ser innovadoras, no solo en tecnología, sino en su gestión comercial, donde pueden ofrecer nuevos tratos a Municipalidades y usuarios. Este planteamiento aún no se observa, lo que limita el desarrollo de proyectos.

Análisis PORTER

AMENAZAS DE ENTRADA DE NUEVOS COMPETIDORES

- En el mercado mundial se observa un sostenido crecimiento del número de empresas dedicadas a residuos, que además van abriendo nuevos mercados con productos novedosos. Es esperable que esta situación se replique en Chile.
- Los tipos de contratos limitan la entrada de nuevos competidores.
- Se dificulta el ingreso de nuevas tecnologías, debido al costo del servicio y la magnitud de la inversión requerida.

Análisis PORTER

AMENAZAS DE PRODUCTOS SUSTITUTOS

- Si el producto es energía, la amenaza más cercana son todas las fuentes de ERNC, y en particular la biomasa. En la medida que los precios de ERNC de viento y sol bajan, se hace difícil competir con tecnologías de tratamiento de residuos que generan energía.
- En la tecnología de reciclaje no existe una amenaza de otros productos reciclados. Es importante ofrecer una amplia gama de opciones, con distintos productos.

Análisis PESTEL



VARIABLES POLÍTICAS

- El acuerdo de Cooperación Ambiental Chile Canadá impulsa el estudio y la aplicación de tecnologías de valorización de residuos, enfocados al tratamiento de la materia orgánica. Bajo este enfoque, se está potenciando en Chile el uso del Compostaje y la Digestión Anaerobia.
- El plan de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014 al 2018 del Ministerio de Medio Ambiente, limita la implementación de tecnologías que emitan MP10 y MP2,5.
- Chile ha firmado diferentes convenios internacionales para apalancar el abatimiento de la materia orgánica, el principal problema en la gestión de residuos. Un ejemplo de un convenio internacional, corresponde a NAMAS.

Análisis PESTEL



VARIABLES POLÍTICAS

- Desde el punto de vista institucional, existe un gran impulso hacia las ERNC, a lo que se suman las políticas ambientales y sociales que se realizan a través del Estado, todo lo cual favorece el desarrollo de proyectos relacionados con residuos, incluyendo los urbanos. Se estima que se crearán nuevas empresas de reciclaje con apoyos Municipales de distintos Ministerios. Por otra parte, la gestión de RSDyA que se efectúa en Chile está a cargo de las Municipalidades, al igual que la mayoría de los países desarrollados, siendo coincidencias algunos de los problemas que se han identificado.
- Respecto de subvenciones, no existe una política explícita hacia estos mecanismos de apoyo a la industria, sin embargo, se hacen esfuerzos para mejorar las condiciones de las PYMES, algunas de las cuales podrían buscar un espacio de desarrollo en el reciclaje. En general, la recogida de RSDyA esta financiada por el estado.

Análisis PESTEL



VARIABLES POLÍTICAS

- Las resistencias locales son escasas y más bien apuntan hacia la dificultad de disponer residuos en comunas por la oposición de las comunidades, sin embargo, la población va adquiriendo progresivamente mayor conciencia ecológica.

Análisis PESTEL

VARIABLES ECONÓMICAS

- De acuerdo con datos del SEIA, los principales proyectos corresponden a Rellenos Sanitarios y Centros de Tratamiento. Las inversiones que están dispuestos a realizar llegan a los 20 millones de dólares, cifra relativamente modesta frente a la problemática nacional de gestión de residuos y el valor de los proyectos de valorización.
- Las tecnologías de Incineración, Gasificación, Pirólisis y Digestión Anaerobia generan energía mediante el tratamiento de los residuos. Estas tecnologías se encuentran con una barrera en su implementación, debido al costo de la venta de electricidad. La inclusión de las tecnologías renovables en el mercado Spot, ha hecho que disminuya fuertemente el Costo Marginal. Actualmente, su valor se encuentra entre 41,26 a 34,61 USD/MWh.

Análisis PESTEL



VARIABLES ECONÓMICAS

- Según el SEA, en los últimos 7 años, la inversión total de proyectos de valorización de residuos corresponde a 14,38 millones de dólares y la inversión en proyectos de disposición final, de 58,84 millones de dólares. Las Municipalidades y empresas han invertido por proyecto, montos entre 1,25 a 20 millones de dólares. Estas inversiones permite la aplicación de tecnologías de valorización que poseen un menor nivel tecnológico, requiriendo de mayores inversiones para tecnologías térmicas y para la Digestión Anaerobia.
- Respecto de factores macroeconómicos, no existen elementos de juicio para definir qué factores podrían estar afectando a la industria, sin embargo, temas contingentes que afectan a todo emprendimientos se refieren al efecto de impuestos y de las reformas tributarias, además de la disponibilidad de recursos que exista en el país.

Análisis PESTEL

VARIABLES SOCIALES

- El reciclaje y el compostaje son medidas de valorización de residuos conocidas por la población, que permiten que se involucren las personas en la cadena de la gestión de los residuos y conocer directamente los impactos generados.
- Los habitantes no se sienten cómodos viviendo cerca de focos de generación de malos olores. La generación de malos olores se puede producir por la operación de vertederos y basurales, al igual que durante el tratamiento biológico de los RSDyA y otros, cuando se controlan variables operativas y durante su almacenamiento.
- El factor más complejo es la oposición de la población hacia rellenos sanitarios en sus cercanías. Existe una mala imagen de estas empresas que contribuye negativamente a su aceptación social, lo que se refuerza por eventos que han causado alarma pública, como vertidos, incendios y bajo control de vectores.

Análisis PESTEL



VARIABLES SOCIALES

- Un elemento a favor es la mayor conciencia ecológica de la población, lo que puede generar disminución de residuos, aumento de reciclaje y menor oposición a proyectos ambientalmente sustentables.

Análisis PESTEL



VARIABLES TECNOLÓGICAS

- Las tecnologías de Compostaje, Reciclaje, Digestión e Incineración son las más ampliamente empleadas en el tratamiento de residuos a nivel mundial, parte de las cuales son conocidas en Chile, incluyendo usos más bien a nivel piloto.
- La disponibilidad de proveedores de tecnología no es un factor limitante del desarrollo, existen muchas opciones para su adquisición, que incluso están operando en el país. Se estima que aumentará la inversión en proyectos relacionados con RSDyA, tanto por un mejoramiento sanitario del país, como por efecto del desarrollo económico que exige soluciones de mejor calidad y servicio.
- Se observa una ausencia de proyectos de I+D+i+e que aborden temáticas propias del país, entre las cuales cabe considerar la necesidad de disponer de tecnologías factibles a pequeña escala, atendiendo a localidades alejadas y que no cuentan con servicios adecuados para desarrollar proyectos.

Análisis PESTEL

VARIABLES ECOLÓGICAS

- Al no comprender las medidas mínimas sanitarias, los vertederos y basurales son focos de problemas ambientales y a la salud. En Chile, actualmente hay un total de 90 vertederos y basurales sin considerar los microbasurales.
- Se deben controlar las emisiones de las tecnologías térmicas. Adicionalmente, no se pueden localizar plantas en las zonas declaradas como saturadas, sin la previa compensación de emisiones.
- La protección ambiental es una exigencia cada vez más fuerte en la sociedad, lo cual conlleva a generar nuevos estándares a las actividades. Es esperable respuestas más efectivas frente al cambio climático y aumento de reciclajes y procesos sustentables.

Análisis PESTEL



VARIABLES ECOLÓGICAS

- La sustentabilidad local muestra una tendencia positiva tanto en Chile como en países desarrollados, donde se promueven técnicas de reciclaje, compostaje, y reuso de materiales, todo lo cual está fortaleciendo en comunas del país, con un rápido crecimiento de organizaciones ecológicas de carácter productivo.

Análisis PESTEL



VARIABLES LEGALES

- La Ley 20.920 establece el marco para la Gestión Responsable de los Residuos por parte del productor o importador del producto, mediante el fomento del reúso, reciclaje y valorización de los residuos. Esta medida permitirá disminuir la cantidad de residuos que son destinados a Rellenos Sanitarios, y por consiguiente, aumentar su vida útil. Este marco legal es un hecho muy favorable que abre expectativas para negocios propios de la sustentabilidad, incluyendo aplicaciones basadas en el Principio de las 3R (reúso, reducción y reciclaje).
- El Decreto Supremo 29/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, regula las emisiones de las tecnologías térmicas, situación muy favorable en la gestión de residuos.

Análisis PESTEL

VARIABLES LEGALES

- Para poder comercializar el compost y aplicarlo a todo tipo de suelos, se debe cumplir con la categoría de Compost de clase A, de la NCh 2.880, situación que merece mayor análisis para una mayor implementación.
- La correcta operación de las plantas de digestión anaerobia se encuentra regulada por el Decreto 119 del Ministerio de Energía. El decreto establece como operar la seguridad de las plantas de biogás, considerando: la recepción, preparación y almacenamiento de las materias primas, y la producción, almacenamiento, transferencia, tratamiento, suministro y uso del biogás.
- La resolución de calidad ambiental otorgada a los proyectos de disposición final está impedida de separar la materia orgánica para ser compostada.

Análisis PESTEL

VARIABLES LEGALES

- El marco legal chileno sobre propiedad intelectual, leyes laborales, tributación y requerimientos ambientales está en desarrollo, con cambios que pueden afectar a las empresas, sin embargo, el clima de negocios es favorable y no existen impedimentos para la instalación de empresas en el ámbito de los tratamientos de RSDyA.



E. ANEXO 5: BIBLIOGRAFÍA

Asset. 2017. Méritos económicos, riesgos y análisis de competencia en el mercado eléctrico chileno de las distintas tecnologías de generación de electricidad. Ministerio de Energía.

2015/0276 COD. Parlamento Europeo. Directiva del Parlamento y el Consejo, rectificando la Directiva 94/62/EC, sobre los desechos provenientes de los envases y embalajes.

Abrelpe (2014). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014.

Aguilera, K., Muñoz, B., Aubad, A., Yáñez, B., de la Cruz, S. 2009. Primera experiencia chilena de tratamiento mecánico biológico para la gestión integral de residuos sólidos urbanos. Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental.

AIT/UNEP. 2010. Municipal Waste Management Report: Status-quo and Issues in Southeast and East Asian Countries, Bangkok.

Aleluia, J., Ferrao, P. 2017. Assessing the costs of municipal solid waste treatment technologies in developing Asian countries. Waste Management.

Alexander Klein, Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal Solid Wastes. Tesis. Columbia University 2002.

Alibaba. Plástico pirólisis reactor plástico planta de pirólisis de neumáticos fabricantes de China. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/plastic-pyrolysis-reactor-plastic-tyre-pyrolysis-plant-manufacturers-from-china-60466251129.html>

Alto Hospicio. 2019. Centro de Tratamiento Integral de Residuos Sólidos de Alto Hospicio. Visitado el 01-03-2019. Disponible en: http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2142101538

American Recycler News. Anaerobic Digestion: The last frontier for municipal solid waste. Visitado el: 15-04-2019. Disponible en: <http://www.americanrecycler.com/1213/2391anaerobic.shtml>

Amtorg. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <https://www.amtorg.cl/#features>

Andriamanohiarisoamanana, F., Matsunami, N., Yamashiro, T., Iwasaki, M., Ihara, I. y Umetsu, K. 2017. High-solids anaerobic monodigestion of riverbank grass under thermophilic conditions. Journal of Environmental Sciences, (52), 29 a 38.

ANIR. 2018. Análisis del comité estadístico en base información recolectada mediante entrevistas, encuestas, estudios a empresas asociadas y actores relevantes del sector. Vidrio, plástico PET, plástico PP y PE, neumáticos, cartón, baterías, aluminio, aceite.

ANIR. Socios. Visitado el 01-03-2019. Disponible en: <http://www.anir.cl/socios>

Ansorena, J. Batalla, E., y Merino, D. 2016. Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos. Fraisoro.

Arcadis. 2009. Assessment of the options to improve the management of Bio-Waste in the European Union. Final Report for European Commission DG Environment. 57pp.

Arcadis. 2017. Canada and Chile Program. Visitado el 01-03-2019. Disponible en: <https://www.reciclorganicos.com/program/>

ARCADIS. 2018. Compositng. Visitada el 19-02-2019. Disponible en: <https://www.reciclorganicos.com/composting-program/>

ArchDaily. Incineration Center of Domestic Waste Comprehensive Treatment Plant at Chaoyang District / Atelier Li Xinggang. Visitado el:15-04-2019. Disponible en: <https://www.archdaily.com/906994/incineration-center-of-domestic-waste-comprehensive-treatment-plant-at-chaoyang-district-atelier-li-xinggang>

Arena, U. 2012. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. Waste Management (32), 625 a 639.

Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F. y Lens, P. 2014. Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. Appl Energy, (123). 143 a 156.

Ashworth, D. Elliott, P. y Toledano, M. 2014. Waste incineration and adverse birth and neonatal outcomes: a systematic review. Environment International, (69), 120 a 132.

Asociación Municipalidades Llanquihue. 2017. Optimización de servicios municipales a través de una gestión integral de residuos sólidos en la Provincia de Llanquihue.

Austbo, T. Essilfie, A. (1995) Waste water treatment and waste management expenditure in Norway. Statistics Norway (Oslo-Kongsvinger). 16pp.

Awasthi, M., Pandey, A., Khan, J., Bundela, P., Wong, J. y Selvam, A. 2014. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. Bioresour. Technol.,168, pp. 214-221

Banco Mundial. 2018. "What a Waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050".

Banco Mundial. Desarrollo urbano sostenible, reciclaje y el caso de Curitiba. Visitado el 13-02-2019. Disponible en: <https://www.bcn.cl/observatorio/americas/noticias/desarrollo-urbano-sostenible-reciclaje-y-el-caso-de-curitiba>

Barriga, ME. 2011, Cost-benefit analysis of a waste to energy plant for Montevideo and waste to energy in small islands. Earth Engineering Center of Columbia University. 66pp.

Basu, P. 2010. Biomass Gassification and Pyrolysis. Practical Design Theory. Elsevier 166-188

Benston. Waste Plastic Pyrolysis Plant. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: <https://greenbeston.com/waste-plastic-pyrolysis-plant/>

Biblioteca Nacional de Chile. Clima y vegetación. Visitado el 09-04-2019. Disponible en: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/clima.htm>.

Biocycle. The State Of Organics Recycling In The U.S. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: <https://www.biocycle.net/2017/10/04/state-organics-recycling-u-s/>

Biofuels Academy. Municipal Solid Waste Gasification. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: <http://www.biofuelsacademy.org/index.html%3Fp=512.html>

CalRecycle. 2013. Bulding your own Composting Bin: Designs for your community. The department of Resources

Centro de Manejo Ambiental Ñuble Sustentable. 2017. Visitado el 01-03-2019. Disponible en: http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2132787255

Cerda, A., Artola A., Font, X., Barrera, R., Gea, T., Sánchez, A. 2017. Composting of food wastes: Status and challenges. en: *Bioresource Technology*.

Cesaro, A. Conte, A., Belgiorno, V. Siciliano, A. Guida, M. 2019. The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste. *Environmental Management* 232: páginas 264 a 270.

Chakraborty, D. y Mohan, S. 2018. Effect of food to vegetable waste ratio on acidogenesis and methanogenesis during two-stage integration. *Bioresour Technol*,(254), 256 a 263.

Chatterjee, B. y Mazumder, D. 2019. Role of stage-separation in the ubiquitous development of Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (104): 439 a 469.

Chemeng. 1990-2018. Economic Indicators: CEPCI archives. *Chemical Engineering Magazine*.

Chen, D., Yin, L., Wang, H. y He, P. 2015. Reprint of: Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. *Waste Management*, (37): 116 a 136.

Chen, L., De Haro, M., Moore, A., Falen, C. 2011. *The Composting Process: Dairy Compost Production and Use in Idaho CIS 1179*, University of Idaho.

Chen, R., Wang, Y., Wang, W., Wei, S., Jing, Z. y Lin. X. 2015. N₂O emissions and nitrogen transformation during windrow composting of diary manure. *J. Environ. Manage*, 160, pp. 121-127.

Chen, Y., Cheng, J., Creamer, K. 2008 Inhibition of anaerobic digestion process: A review. en: *Bioresource technology*(99), 4044 a 4064.

CIWM, Journal Online. European Waste Paper Sorting Market To Grow By 2025. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: <https://ciwm-journal.co.uk/european-waste-paper-sorting-market-to-grow-by-2025/>

Código Sanitario D.F.L. N 725/67. 31-01-68. Diario Oficial.

Coenrady, C. 1600 Waste to Energy Facilities Worldwide

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). 2010. Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile.

CompostChile. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <http://www.compostchile.com/>

Confederation of European Waste To Energy Plants (CEWEP). 2017. Landfill and taxes bans. Visitado el 01-05-2019. Disponible en: <http://www.cewep.eu/landfill-taxes-and-bans/>

Consonni, S., Lombardi, L. y Vigano, F. 2017. Municipal Solid Waste to Energy Techonology. Waste to Energy Technologies for Municipal Solid Waste.

Construcción Relleno Sanitario Comuna de Diego de Almagro. Visitado el 01-03-2019. Disponible en: http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2132568137

Convención de Basilea. 1989. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. International Environment House Of Basel Convention.

Coordinador Eléctrico Nacional. 2019. Visitado el 29-03-2019. Disponible en <https://www2.coordinador.cl/sistema-informacion-publica/portal-de-desarrollo/planificacion-de-la-transmision/costo-marginal-proyectado/>.

Córdova, C. 2006. Estudio de Factibilidad Técnico –económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. Universidad de Chile. Tesis para optar al grado de Ingeniero Forestal.

CORE aprueba \$1.380 millones para construcción del Centro de Residuos Sólidos de Tierra del Fuego. Visitado el 01-03-2019. Disponible en: <http://www.emb.cl/hsec/noticia.mvc?nid=20170706w12>

Corporación Ruta N. 2016. Observatorio CT+i: Informe N° 1 Área de oportunidad Waste-to-Energy – Residuos Sólidos Urbanos.

Cristal Chile. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <http://www.cristalchile.cl/>

CYTED. 2018. Manual técnico sobre tecnologías biológicas anaerobias aplicadas al tratamiento de aguas y residuos industriales. Red de Tratamiento y reciclaje de aguas industriales mediante soluciones sostenibles fundamentadas en procesos biológicos. (TRITÓN-316RT0506).

Czajczynska, D., Nannou, T., Anguilano, L., Kryzynksa, R., Ghazal, H., Spencer, N., Jouhara, H. 2017. Potentials of pyrolysis processes in the waste management sector. Thermal Science and Engineering Progress (3); 171 a 197.

D.F.L 1. 1978. Deroga Decreto N° 20, de 1964, y lo reemplaza por las disposiciones que indica. Ministerio de Minería.

D.S N° 38. 2014. Ministerio del Medio Ambiente. Norma de Emisión de Ruidos.

D.S N°1/2013. Reglamento del RETC. Ministerio del Medio Ambiente.

Dalmo, F., Machado, N., Quevedo, H., Medina, A., Nebra, S., Martins, G., Palacios, R. y de Mello Sant'Ana, P. 2018. Energy recovery overview of municipal solid waste in Sao Paulo State, Brazil. Manuscrito.

Decreto 119. 01 de Julio 2017. Aprueba reglamento de seguridad de las plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instaladores de gas. Ministerio de energía.

Decreto 128. 2008 Crea Comisión Asesora Interministerial en materia de biocombustibles en Chile. Ministerio de Minería.

Decreto 1991. 1996. Código Sanitario. Ministerio de Justicia.

Decreto Ley N° 3063/1979. Sobre rentas municipales.

Decreto Supremo 189. 05-01-2008. Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios. Ministerio de Salud.

Decreto Supremo 29. 2013. Norma de emisión para incineración, co-incineración y co-procesamiento y deroga decreto N° 45. Ministerio del Medio Ambiente

Decreto Supremo 4. 1992: Norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales del Ministerio de Salud. Ministerio de Salud.

Decreto Supremo 40. 30-10-2012. Reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental. Ministerio del Medio Ambiente

Decreto Supremo 594. 29-04-2000. Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Ministerio de Salud.

Decreto Supremo 7. 2017. Reglamento del fondo para el reciclaje. Ministerio del Medio Ambiente.

Decreto Supremo 89. 1998. Emisiones de polvo y material particulado. Ministerio de vivienda y urbanismo.

Decreto Supremo N° 148/2004 del Ministerio de Salud. Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.

Defra (2005) Advanced biological treatment of municipal solid waste at www.defra.gov.uk. 27pp.

DFL 1/2019. Texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.695 Orgánica Constitucional de las Municipalidades. Ministerio del Interior; Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.

DIA I. Agrícola Mollendo S.A. 2018. Modificación del sistema de compostaje y su aplicación - Agrícola Mollendo S.A.

DIA I. Municipalidad de Casablanca 2011. Planta de Compostaje Casablanca.

DIA I. Municipalidad de Temuco. 2017. Planta Waste To Energy Araucanía: Plantas de tratamiento y/o disposición de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios y clasificación que atiendan a una población igual o mayor a 5.000 habitantes.

Diaz, L., Bertoldi, M., Bidlingmaier, W y Stentiford, E. 2007. Compost Science and Technology. Waste Management Series. Volume 8.

Dimitrios, K., Konstantinos, K. y Avraam, S. 2014. Effect of organic matter and moisture on the calorific value of solid wastes: An update of the Tanner diagram. Waste Management, 34 (2): 249-255.

DIPRES. Informe de Finanzas Públicas del Proyecto de Ley de Presupuestos (histórico). Visitado el 30-04-2019. Disponible en: <http://www.dipres.gob.cl/598/w3-channel.html>

Doing. Recycling Pyrolysis Plant Manufacturer. Waste tyre recycling pyrolysis plant. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: https://www.recyclingpyrolysisplant.com/FAQ/pyrolysis_plant/pyrolysis-plant-reactor89.html

Domínguez, M. 2015. Pirólisis y gasificación de biomásas: Optimización del proceso de transformación energética mediante distintos sistemas de reacción. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Duque, H. 2017. Diseño de la planta d utilidades de un proceso de incineración de residuos sólidos urbanos-un case de estudio: Risaralda, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira

Ecoparque Vai a Ori. 2017. Visitado el 01-03-2019- Disponible en: http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2132346382

Ecoprog. The European Market for Plastic Sorting and Recycling. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: <https://www.ecoprog.com/publikationen/abfallwirtschaft/kunststoffrecycling.htm>

EEA. 2013. Managing Municipal Solid Waste—A Review of Achievements in 32 European Countries. European Environment Agency, Copenhagen.

Eggersmann. Convaero Bio-dry. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: https://www.eggersmann-group.de/fileadmin/media/downloads/Teaser_Convaero_EC_EN.pdf

Environmental Protection Agency (EPA). 1994. Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste.

EPA (1997) Full Cost Accounting for Municipal Solid Waste Management: A Handbook at www.epa.gov. 72pp.

ETC/SCP: Municipal solid waste management capacities in Europe. ETC/SCP Working Paper No 8/2014 (2014)

European Commission and Joint Research Centre. 2014. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals.

European Compost Network. Treatment of bio-waste in Europe. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: <https://www.compostnetwork.info/policy/biowaste-in-europe/treatment-bio-waste-europe/>

Eurostat: European Statistics, Visitado el: 19-02-2019. Disponible en: <http://ec.europa.eu/eurostat>.

Fernández, J., Pérez, M., y Romero, L. 2013. Comparison of mesophilic and thermophilic dry anaerobic digestion of OFMSW: Kinetic analysis. Chemical Engineering Journal, (232), 59 a 64.

FIC-R 2017. GasBas: Reducción de residuos sólidos en origen con recuperación energética. Código BIP 40004872.

Fuentealba, J. 2018. Plan de negocio planta de tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos urbanos. Universidad de Chile. Tesis para optar al grado de magíster en gestión y dirección de empresas.

Futaleufú. Municipio de Futaleufú desarrollará pionero sistema de gestión de residuos sólidos gracias a aportes de SUBDERE y GORE por \$1.300 millones. SUBDERE. Visitado el 01-03-2019. Disponible en: <http://www.SUBDERE.gov.cl/sala-de-prensa/municipio-de-futaleuf%C3%BA-desarrollar%C3%A1-pionero-sistema-de-gesti%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-gr>

GEAA Gestión Ambiental. Declaración de Impacto Ambiental Planta de Pirolisis Harting Aromas S.A. Manuel

Geociclos. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <https://www.geociclos.cl/>

GESCAM. 2017. Antecedentes Para La Elaboración De Análisis Económicos De Metas De Recolección Y Valorización Para Los Productos Prioritarios Neumáticos, Baterías Y Aceites Lubricantes, Contenidos En La Ley 20.920.

GESCAM. 2018. "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL NUEVO RELLENO SANITARIO MANCOMUNADO CARACTERIZACIÓN". Municipalidad de Alto Hospicio.

Ghosh, S., Henry, M., Sajjad, A., Mensinger, M. y Arora, J. 2000. Pilot-scale gasification of municipal solid wastes by high-rate and two-phase anaerobic digestion (TPAD). Water Sci Technol, (41), 101 a 110.

GIZ, Guía de Planificación para Proyectos de Biogas en Chile. 2012.

Global Methane Initiative, Overview of Anaerobic Digestion for Municipal Solid Waste, Updated: October 2016.

Gonzalez, R. 2015. Estudio preliminar de factibilidad y dimensionamiento de una planta de tratamiento anaerobio de residuos orgánicos a nivel urbano. Universidad Santo Tomas

GORE COVER. GORE® Cover For Organic Waste Treatment. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: <https://www.gore.com/products/gore-cover-for-organic-waste-treatment>

Greene, P. 2015. Anaerobic Digestion and Biogas. Natural Systems Utilities. A better way.

GTZ, Identificación y Clasificación de los Distintos Tipos de Biomasa disponibles en Chile para la Generación de Biogás (Anexo).2007.

Guitierrez, M. 1996. Ecología: Salvemos al planeta. ITEMS: Limusa, Noriega Editores.

Haraguchi, M. Siddiqi, A. Narayanamurti, V. (2019) Stochastic cost-benefit analysis of urban waste-to-energy systems. Journal of Cleaner Production 224(1): 751-765.

Hofenk, G., Lips, S., Rijkens, B. y Voetberg, J. 1984. Two-phase anaerobic digestion of solid organic wastes yielding biogas and compost. Informe final número: ESE-ER-040-NL. IBVL, Wageningen.

Hogg, D., 2006. Costs for Municipal Waste Management in the EU: Final Report to Directorate General Environment, European Commission. <http://ec.europa.eu/>

Holliger, C. 2008. Microbiologie et Biotechnologie Environnementale. Enseignements au 2iE. Lausanne: Swiss Federal Institute of Technologies Lausanne (EPFL).

Hoorweg, D. y Bhada-Tata, P. 2012. What a waste: a global review of solid waste management. Urban development series papers. Urban Dev. Local Gov. Unit World Bank 15

Huang, G., Wong, J., Wu, Q. y Nagar, B. (2004) Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. Waste Manage., 24, pp. 805-813

IFC. 2017. Converting biomass to energy – A guide for developers and investors. Banco Mundial, Washington, USA. 216pp.

IFC. A. Climate Investment Opportunities in Emerging Markets: An IFC Analysis. Visitado el 14-05-2019. Disponible en: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/51183b2d-c82e-443e-bb9b-68d9572dd48d/3503-IFC-Climate_Investment_Opportunity-Report-Dec-FINAL.pdf?MOD=AJPERES

IFC. B. IFC en América Latina y el Caribe. Visitado el: 14-05-2019. Disponible en: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/65883c49-d570-44ad-900c-10843c1a1ebf/IFC_LAC_Brochure_2017_ES.pdf?MOD=AJPERES

IMA. Funcionamiento de un separador magnético. Visitado el: 31-03-2019. Disponible en: <https://www.imamagnets.com/blog/como-funciona-separador-magnetico/>

Indiamart. Automatic, Semi-Automatic Tyre Pyrolysis Plant. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/tyre-pyrolysis-plant-15498116191.html>

Ingeniería Alemana S.A. 2011. Declaración de impacto ambiente (DIA) planta de compostaje Casablanca comuna de Casablanca. Manual de Operación

Innovación. Bancos de Inversión Verde Llegan a Chile para combatir el cambio climático. Visitado el 13-05-2019. Disponible en: <http://www.innovacion.cl/2019/03/bancos-de-inversion-verde/#>

Instituto Nacional de Estadísticas. 2017. Censo 2017 de Chile. Visitado el 28-01-2019. Disponible en: <https://www.censo2017.cl/>

Inversiones e Inmobiliaria Huanquilaf Ltda. 2018. Castro nacional de instalaciones de recepción y almacenamiento, e instalaciones de valorización de residuos en Chile. SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE.

Ionescu, G., Rada, E., Ragazzi, M., Marculescu, C., Badea, A., Apostol, T. 2013. Integrated municipal solid waste scenario model using advanced pre-treatment and waste to energy processes. Energy Convers. 76: página 1083 a 1092

ISWA. 2013. Waste-to-Energy State-of-the-Art-Report. Statistics 6th edn.

ITAD: Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. <https://www.itad.de/information/abfallverwertungsanlagen>.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank Group.

Kim, J., Cho, J., Lee, J., Hahm, K., Park, D. y Kim, S. 2002. Mass production of methane from food wastes with concomitant wastewater treatment. Biotechnology for fuels and chemicals, Humana Press., 753 a 764.

Kim, J., Han, G., Oh, B., Chun, Y., Eom, C. y Kim, S. 2008. Volumetric scale-up of a three stage fermentation system for food waste treatment. Bioresour Technol, 99 (10), 4394 a 4399.

Kim, J., Oh, B., Chun, Y., Kim, S. 2006. Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. J Biosci Bioeng, 102 (4), 328 a 332.

Kim, S., Park, J., Kim, J., Cho, J., Chun, Y., Lee, I., Lee, S., Park, J. y Park, D. 2000. Development of a modified three-stage methane production process using food wastes. Appl Biochem Biotechnol, 84–86: 731 a 741.

Kinnunen, H., Koskinen, P. y Rintala, J. 2014. Mesophilic and thermophilic anaerobic laboratory-scale digestion of Nannochloropsis microalga residues. Bioresource Technology, (155), 314 a 322.

Klein, A. 2002. Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal Solid Wastes. Universidad de Columbia. Tesis para optar al grado de Magister en Ingeniería de Recursos Terrestres.

Klinghoffer, N., Castaldi, M. 2013. Waste to energy conversion technology, Woodhead 735 Publishing Series in Energy.

Komilis, D. Kissas, K., y Symeonidis, A. 2014. Effect of organic matter and moisture on the calorific value of solid waste. Waste Management, 34(2): 249 a 255.

Komptech. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <https://www.komptech.com/en/>

Kucbel, M., Raclavsk+a, H., Ruzicjová, A., Svédová, B., Sassmanová, V., Drozdová, J., Raclavský, K. y Juchelková, D. 2019. Properties of compost from household food waste produced in automatic composters. *Journal of Environmental Management* (236): páginas 657 a 666.

Kumar, A. (2017) A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. *Waste Management* 69: 407-422.

Langen, M.y Mitchinson, J. 2010. Processing af Municipal Solid Waste Before Anaerobic Digestion - Qualities, Capex and Opex of Case Studies. 15th European Biosolids and Organic Resources Conference.

Ley 18.695. 31-03-1988. Ley orgánica constitucional de municipalidades. Ministerio del Interior; Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo

Ley 19.300. 09-03-1994. Bases generales del medio ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Ley 20.417. Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Ley 20.920. 2016. Ministerio del Medio Ambiente. Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento del reciclaje.

Li, X., Zhang, Y., Niu, B., Wang, Y. 2007. Studying on pyrolysis furnace and pyrolysis characteristics of solid wastes. *J. Huazhong Univ. Sci. Technol. (Nature Science)* (35), 99 a 102.

Lino, F. (2016) Evaluation of the Treatment of Municipal Solid Waste as Renewable Energy Resource in Campinas, Brazil. *Sustainable Energy Technology and Assessments*, 29: páginas 19 a 25.

Loayza, J. 2016. Cálculos básicos para la determinación de la vida útil de un relleno sanitario. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 9 (1).

Lucidchart. 2010. Desarrollado por Lucid Software Inc.

Lýón, E., Brugnoli, G., Wong, A. 2006. Planta de reciclaje de residuos sólidos domiciliarios mediante incineración. Universidad de Chile

Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., Thorne, R., Colón, J., Ponsá, S., Al-Mansour, F., Anguilano, L., Krzyżyńska, R., López, I., Vlasopoulos, A., Spencer, N. 2017. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe: 141: páginas 2013 a 2044.

Malkow, T. 2004. Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal. *Waste Manage.* (24): 53 a 79.

Martín Vermehren y Alfredo. Potencial estimado de biogás en XIV Región a base de residuos urbanos y agroindustriales. Agro Sur 44(1): 35-46, 2016

Martínez, G. y Cruz, M. 2015. Estudio preliminar de factibilidad y dimensionamiento de una planta de tratamiento anaerobio de residuos orgánicos a nivel urbano. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental. Bogotá.

Medina, A., Nordi, G., Palacios, M., Bereche, R., Gallego, A., Nebra, S. 2017. Evaluation of two different alternatives of energy recovery from municipal solid waste in Brazil. Waste Manag.

Mensaje presidencial. 2018. Situación de la Administración: Ministerio del Medio Ambiente.

Meyer-Kohlstock, D., Schmitz, T., Kraft, E., 2015. Organic waste for compost and biochar in the EU: mobilizing the potential. Resources, 4 , página. 457-475.

Micolucci, F., Gottardo, M., Pavan, P., Cavinato, C., y Bolzonella, D. 2018. Pilot scale comparison of single and double-stage thermophilic anaerobic digestion of food waste. J Clean Prod, (171): 1376 a 1385.

Ministerio de Desarrollo Social. 2013. Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables.

Ministerio de Desarrollo Social. Sistema Nacional de Inversiones. Visitado el 30-04-2019. Disponible en: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>

Ministerio de Energía. 2012. Guía de Planificación para proyectos de Biogás en Chile.

Ministerio de Medioambiente. 2017. Asesoría para la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP).

Ministerio de Medioambiente. 2018. Compostaje: Una tendencia para combatir el Cambio Climático. Visitado el 14-02-2019. Disponible en: <http://portal.mma.gob.cl/compostaje-una-tendencia-para-combatir-el-cambio-climatico/>

Ministerio de Salud de Costa Rica. 1997. Disposición correcta de la basura: El Relleno Sanitario.

Ministerio del Medio Ambiente. 2014. Planes de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014 al 2018.

Ministerio del Medio Ambiente. 2014. Planes de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014 al 2018.

Ministerio del Medio Ambiente. 2018. Política de Residuos 2018-2030. Visitado el 28-01-2019- Disponible en: <http://portal.mma.gob.cl/politica-nacional-de-residuos-2018-2030-se-encuentra-en-proceso-de-consulta-ciudadana/>

Ministerio del Medio Ambiente. Fondo para el reciclaje. Visitado el 30-04-2019. Disponible en: <http://fondoreciclaje.mma.gob.cl/inicio>

Ministerio del Medio Ambiente. Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017 – 2022. Visitado el 13-05-2019. Disponible en: https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf

MORALES, I. 2003. Factibilidad técnico económica de instalar una planta de compost para el tratamiento de residuos orgánicos industriales en la zona sur de Santiago. Memoria Ingeniero Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 90.

Moya, D., Aldás, C., López, G., y Kaparajau, P. 2017. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To Energy Technologies. Conference on Sustainability in Energy and Buildings: SEB-17: 5-7.

Nair, R., Lennartsson, P. y Taherzadeh, M. 2017. Bioethanol Production From Agricultural and Municipal Wastes," in Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, 157 a 190.

National Research Council. 2000. Waste Incineration and Public Health. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/5803>

NCh 2880. 2015. Instituto Nacional de Normalización. Compost – Requisito de calidad y clasificación.

Norma 1013. 2006. Shipment of waste. Parlamento y consejo Europeo.

Norma Chilena 3322:2014: 11-06-2014. Instituto Nacional de Normalización: Colores de Contenedores para Identificar Distintas Fracciones de Residuo. Ministerio de Medio Ambiente.

NBC. 2016. Implementación de Sistema de Biodigestión Anaerobia de RSU en la comuna de Pucón.

Núcleo biotecnología Curauma. 2003. Anexo ix factores de localización de los proyectos.

OCDE y CEPAL (2016). Evaluación de desempeño Ambiental: Chile 2016.

Ohmukai, Y., Hasegawa, I. y Mae, K. 2008. Pyrolysis of the mixture of biomass and plastics in countercurrent flow reactor Part I: experimental analysis and modeling of kinetics. Fuel (87), 3105 a 3111

ONU. 2018. Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe.

Onwosi, C., Igbokwe, V., Odimba, J., Eke, I., Nwankwoala, M., Iroh, I., Ezeogu, I. 2017. Composting technology in waste stabilization: on the methods, challenges and future prospects. Environ. Manag., 190 (2017), pp. 140-157.

Organización Panamericana de la Salud. Guía de Orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades. Visitado el: 23-01-2018. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guia/calde/3residuos/3-6residuos.htm>

Origina. Visitado el 13-03-2019. Disponible en: <http://originaenergia.com/es/2/empresa.html>

Parkinson, R., Gibbs, P., Burchett, S. y Misselbrook, T. 2004. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour. Technol.*, 91 (2), pp. 171-178

Peters, M. Timmerhaus, K. West, R. 2003. *Plant design and economics for chemical engineers*. McGraw Hill Chemical Engineering Series, 5th ed. USA. 1006pp.

PFAN. Accelerating Investment for Climate and Clean Energy. Visitado el: 14-05-2019. Disponible en: <https://pfan.net/>

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 2016. Estudio de biodigestión anaerobia: comunas de la Ligua, Pucón y Cabo de Hornos. Proyecto ejecutado para la Subdere.

POYRY – EBP. 2018. Estudio de Factibilidad de una planta waste to energy para la región Metropolitana. 1261-5-LP17. Ministerio Energía.

PROCYCLA. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <https://www.procycla.com/>

Raj, A. Chutima, P. 2018. Determination of waste treatment fee pricing mechanism for municipal solid waste by mechanical biological treatment method utilizing the public private partnership model in Thailand. *International Scientific of Engineering and Technology (ISJET)* 2(1): 11-19.

Rasapoor, M., Nasrabadi, T., Kamali, M. y Hoveidi, H. 2009. The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. *Waste Manage*, 29 (2), pp. 570-573.

Reciclo Orgánicos- Chile-Canada Program. Visitado el: 14-05-2019. Disponible en: <https://www.reciclogrganicos.com/>

Recovery. Glass recycling – Current market trends. Visitado el 17-04-2019. Disponible en: https://www.recovery-worldwide.com/en/artikel/glass-recycling-current-market-trends_3248774.html

REDWAVE. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <http://www.redwave.com/en>

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). Generador de residuos industriales no peligrosos, 2017. Visitada el 12-02-2019. Disponible en: <http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/disposicion-al-suelo>

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). Generador de lodos PTAS, 2017. Visitada el 12-02-2019. Disponible en: <http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/disposicion-al-suelo>

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). Residuos municipales según tipo de tratamiento a nivel nacional, 2017. Visitada el 04-02-2019. Disponible en: <http://www.retc.cl/disposicion-a-suelo/>

Reguant-Álvarez, M. y Torrado-Fonseca, M. 2016. El método Delphi. *Universitat de Barcelona. Institut de Ciències de l'Educació*. REIRE: 9(1).

Relleno Sanitario de Pica. Visitado el 01-03-2019. Disponible en:
http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2132339475

Relleno Sanitario Santa Inés. Visitado el 01-03-2019. Disponible en:
http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2132546468

Ren, Y. Yu, M. Wu, C. Wang, Q. Gao, M. Huang, Q. Liu, Y. (2018) A comprehensive review on food waste anaerobic digestion: Research updates and tendencies. *Bioresource Technology* 247: 1069-1076

Reporte Minero. Avanza la instalación de una Plataforma de Inversión Verde en Chile. Visitado el 13-05-2019. Disponible en: <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2019/03/avanza-la-instalacion-de-una-plataforma-de-inversion-verde-en-chile>

Resister. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <https://resiter.com/>.

Resolución Exenta N° 544. 2019. Anteproyecto de Decreto Supremo que establece metas de recolección y valorización y obligaciones asociadas de envases y embalajes. Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

Resolución 1003. 2000. Regulación de la Norma de Emisión para la incineración de residuos – Ministerio Secretaría General de la Presidencia y la Comisión del Medio Ambiente.

Resolución 1272. 2001. Anteproyecto de norma de emisión para la incineración y co-incineración de residuos. - Ministerio Secretaría General de la Presidencia; y la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Resolución 14841. 8 de Marzo del 2018. Procedimiento para el registro de plantas de biogás nuevas y en operación. Ministerio de energía; superintendencia de electricidad y combustibles. Derogada.

Resolución 15. 2010. Anteproyecto de revisión de la norma de emisión para la incineración y co-incineración - Ministerio del Medio Ambiente.

Resolución 7464. 2010. Revisión de la norma de emisión para incineración y co-incineración - Ministerio Secretaría General de la Presidencia y la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Resolución 94. 2015. Protocolo para validación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones [cems] en plantas de incineración, coincineración y coprocesamiento. - Ministerio del Medio Ambiente; Superintendencia del Medio Ambiente

Resolución N°2.444. 31-07-1980. Normas Sanitarias Mínimas para la Operación de Basurales, Minsal.

Reúso: Sostenibilidad. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <http://www.reuso.cl/services/domiciliario/>

Ríos, P. 2011. Proyecto de Biocombustible: Planta de Pirólisis. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Tesis para optar al grado de Ingeniero Industrial.

Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. 2013. Manual de Compostaje del Agricultor: Experiencias de América Latina.

Rondón, E., Santó, M., Pacheco, J., Contreras, E. y Gálvez, A. 2016. Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Manual de la Cepal, trabajado en conjunto con el Ministerio de Desarrollo Social.

Rosinski, S. (2012). Waste-to-Energy Technology Options Increase but Remain Underutilized. Visitado el: 17-04-2019. Disponible en: <http://www.powermag.com/waste-to-energy-technology-options-increase-but-remain-underutilized/?printmode=1>

Samaniego, J., Pérez-Murcia, M.D., Bustamante, M.A., Pérez-Espinosa, A., Paredes, A., López, M., López-Lluch, D., Gavilanes-Terán, Moral, R. 2017 Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: suitability of the obtained composts for seedling production. Clean. Prod., 141, página. 1349-1358.

Scarlat, N., Fahl, F., y Dallemand, J-F. 2018. Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe. Waste and Biomass Valorization.

Scarlat, N., Motola, V., Dallemand, J., Monforti-Ferrario, F. Mofor, L. 2015. Evaluation of energy potential of municipal solid waste from American urban areas. Renew Sustain. Energy: 50, páginas 1269 a 1286.

Schaefer, W. 1975. Disposing of solid wastes by pyrolysis. Environ. Sci. Technol. (9): 98.

Schievano, A., Tenca, A., Scaglia, B., Merlino, G., Rizzi, A., Daffonchio, D., Oberti, R. y Adani, F. 2012. Two-stage vs single-stage thermophilic anaerobic digestion: comparison of energy production and biodegradation efficiencies. Environ Sci Technol, (46), 8502 a 8510.

Schievano, A., Tenca, A., Lonati, S., Manzini, E. y Adani, F. 2014. Can two-stage instead of one-stage anaerobic digestion really increase energy recovery from biomass? Appl Energy, (124), 335 a 342.

SEA. 2019. Servicio de Evaluación Ambiental. Visitado el 01-03-2019. Disponible en: <https://www.sea.gob.cl/>

Selter. Sistemas magnéticos de separación para el reciclaje industrial y tratamiento de residuos. Visitado el 31-03-2019. Disponible en: <https://logismarketes.cdnwm.com/ip/selter-separadores-magneticos-para-reciclaje-industrial-y-tratamiento-de-residuos-separadores-magneticos-para-reciclaje-industrial-y-tratamiento-de-residuos-selter-861737.pdf>

Subdere (SGS-SIGA). 2018. Diagnóstico y Catastro Nacional de Sitios de Disposición Final e Instalaciones para la Gestión de Residuos Sólidos.

Shi, J., Wang, Z., Stiverson, J., Yu, Z. y Li, Y. 2013. Reactor performance and microbial community dynamics during solid-state anaerobic digestion of corn stover at mesophilic and thermophilic conditions. Bioresource Technology, (136) 574 a 581.

SII. Servicio de Impuestos Internos. Visitado el 12-06-2019. Disponible en: <http://homer.sii.cl/>

Silva, F., Mahler, C., Oliveira, L., Bassin, J. 2018. Hydrogen and methane production in a two-stage anaerobic digestion system by co-digestion of food waste, sewage sludge and glycerol. Waste Manag.

SINADER. 2017. Proporción entre valorización y eliminación de residuos municipales generados a nivel nacional, 2015 – 2017. Visitado el 28-01-2019. Disponible en datos estadísticos en: <http://www.retc.cl/disposicion-a-suelo/>

SLR. 2008 Cost of Incineration and Non-incineration Energy from Waste Technologies. Report to the Major of London.

Smith, A., Brown, K., Ogilvie, S., Rushton, K. y Bates, J., 2001. Waste management options and climate change: Final report, Rep. Prepared by AEA Technology for the European Commission, DG Environment, B4–3040/99/136556/MAR/E3.

Soheila Sadat Majidia y Hamidreza Kamalanb. Economic and Environmental Evaluation of Waste to Energy through Gasification; Case study: Tehran. Environmental Energy and Economic Research (2017) 1(1):113-124 DOI 10.22097/eeer.2017.46461.

Spuhler, D. Anaerobic Digestion. Seecon International GmbH. Visitado el 24-03-2019. Disponible en: <https://sswm.info/>

Stantec (2011) Waste to energy – A technical review of municipal solid waste thermal treatment practices. Final Report. 180pp.

Subdere. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. Visitado el 12-06-2019. Disponible en: <http://www.subdere.gov.cl/>

Suez. Visitado el 13-03-2019. Disponible en: <https://www.suez.com/en#>

SVDU: Les usines d'incineration d'ordures menageres en France. Syndicat national du traitement et de la Valorisation des Déchets Urbains et assimilés

Tchobanoglous, G. y Kreith, F. 2002. Handbook of Solid Waste Management. Second Edition. McGraw-Hill.

TECAM group. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <https://www.tecamgroup.com/exhaust-air-treatment/>

Tersa. Instalaciones. Visitado el: 15-04-2019. Disponible en: http://www.tersa.cat/ca/instal-lacions_328

Themelis, N., Elena, M., Barriga, D., Estevez, P., Velasco, M. 2013. Guidebook for the 796 application of waste to energy technologies in Latin America and the Caribbean. Páginas 1 a 228.

Thermoselect AG. Visitado el 13-03-2019. Disponible en: <http://www.viveracorp.com/1%20process%20description%20eng.htm>

Thompson, J., Antony, H. 2009. The health effects of waste incineration. Journal of Nutritional & Environmental Medicine (15) 115 a 156.

Tomra. Reverse vending machines for collecting drink containers for recycling. Visitado el 13-02-2019. Disponible en: <https://www.tomra.com/en/collection/reverse-vending#>

Tradebe. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <https://www.tradebetotalwastemanagement.com/>

TriCiclos. Punto Limpio. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <http://www.triciclos.net/es/>

Trulli, E., Ferronato, N., Torretta, V., Piscitelli, M., Masi, S., y Mancini, I. 2018. Sustainable mechanical biological treatment of solid waste in urbanized areas with low recycling rates. *Waste Management*, 71: páginas 556 a 564.

TwE. 2014 Gasification Technologies Review – Technology, Resources and Implementation Scenarios. Final Revised Report. Prepared by Talent with Energy for the City of Sydney's Advanced Waste Treatment Master Plan.

Tyagi, V., Güelfo, L., Zhou, Y., Álvarez, C., Romero, L. y Jern, W. 2018. Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Progress and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (93): 380 a 399.

UNEP-ISWA. 2015. Global Waste Management Outlook Abrelpe (2014). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014.

Urtubia, E. 2017. Centro de Clasificación de residuos Domiciliarios de Pequeño y Gran Volumen. Universidad de Chile. Tesis para optar al grado de Arquitecto.

US EPA: United States Environmental Protection Agency.

Waste Management. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: Curbside Trash Pickup. en: <https://www.wm.com/us/>

Waste To Energy Chile. Visitado el 11-03-2019. Disponible en: <http://www.waste2energy.cl/>

Waste to Energy Research and Technology Council. Visitado el 13-03-2019. Disponible en: <http://www.wtert.cl/principal>

Waste to energy. Visitado el 01-03-2019. Disponible en: <http://www.wtearaucaia.com/>

Weinstein, P. y Themelis, N. 2006. Waste-to-energy as a key component of integrated solid Waste management for Santiago, Chile. Thesis a la Columbia University.

WSP. 2013. Review of state of art waste to energy technologies, Stage two – Case Studies. Technical report for Waste Management Branch – Australia. 195pp.

WTER: U.S. and Global Waste-to-Energy Information. The Waste-to-Energy Research and Technology Council.

Wu, C., Huang, Q., Yu, M., Ren, Y., Wang, Q. y Sakai, K. 2018. Effects of digestate recirculation on a two-stage anaerobic digestion system, particularly focusing on metabolite correlation analysis. *Bioresour Technol*, (251), 40 a 48.

Wu, M., Lin, C. y Zeng, Z. 2014. Effect of waste incineration and gasification processes on heavy metal distribution. *Fuel Processing Technology*, (125), 67 a 72.

Xiao, B, Qin, Y., Wu, J., Chen, H., Yu, P., Liu, J. y Li, Y. 2018b. Comparison of single-stage and two-stage thermophilic anaerobic digestion of food waste: Performance, energy balance and reaction process. *Energy Convers Manag.* (156) 215 a 223.

Xiao, B., Qin, Y., Zhang, W., Wu, J., Qiang, H., Liu, J. y Li, Y. 2018 a. Temperature-phased anaerobic digestion of food waste: A comparison with single-stage digestions based on performance and energy balance. *Bioresour Technol.* (249): 826 a 834.

Xin-gang, Z., Gui-wu, J., Ang, L., Ling, W. 2015. Economic analysis of waste-to energy industry in China. *Waste Management*: 48, 604–618.

Yi, R., 2007. An Experimental Research on Catalytic Pyrolysis of Municipal Solid Waste. Master thesis, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 32 a 36.

Yuan, H., Zhu, Z. 2016. Progress in Inhibition mechanisms and process control of intermediates and by-products in sewage sludge anaerobic digestion. *Renewable Sustainable Energy*, 58: páginas 439 a 438.

Zhang, D., Huang, G., Xu, Y., Gong, Q. 2015. Waste-to-energy in China: key challenges and opportunities. *Energies*. 8: páginas 14182 a 1419.