



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**“INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PARA LA CONVERSIÓN DE
RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN ENERGÍA LOCALIZADA EN COPIULEMU”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION PARA LA
GLOBALIZACIÓN**

MARCELA ESCOBAR CARRASCO

PROFESOR GUIA:

JORGE LARA BACCIGALUPPI

MIEMBROS DE LA COMISION:

ENRIQUE JOFRÉ ROJAS

JAVIER VENEGAS NUÑEZ

SANTIAGO DE CHILE

2013

Resumen ejecutivo

El objetivo de esta tesis fue evaluar económicamente la instalación de una planta de tratamiento de basura para su conversión a energía en Copiulemu. Actualmente éstas son instalaciones de Reinvent donde existe un relleno sanitario para la zona de Concepción que dispone 200 ton/año. Reinvent ve una oportunidad de negocio debido a la potencial venta de la gestión verde de residuos, y a la venta de energía producida con estos desechos.

Por parte del mercado eléctrico, Chile está viviendo un déficit energético importante que conlleva altos costo de generación. Existen tres leyes que apoyan el desarrollo de nuevas tecnologías de generación: ley 19.940 que exime a los pequeños generadores (<9MW) del pago del peaje eléctrico y asegura el acceso a los canales de distribución; ley 20.257 impone una multa a las grandes generadoras que no cumplan con la cuota asociada a la generación de ERNC (Energía Renovable No Convencional) de 5% a 10%, en el corto plazo, la exigencia podría aumentar a un 20%; y finalmente el decreto 244 asegura a los pequeños generadores a vender toda la energía producida a precio de nudo.

Por parte de la gestión de residuos, los habitantes cada vez más se oponen a la construcción de nuevos rellenos sanitarios cercanos a sus propiedades. Se observa una mayor conciencia ecológica en la población que incentiva a las empresas a invertir en proyectos verdes que mejoren su imagen. Esto constituye una oportunidad para quienes deseen colaborar o impulsar estas iniciativas.

Antes de comenzar la evaluación se tuvo que analizar las distintas tecnologías del mundo disponibles para el tratamiento de basura. Dentro de las que se destacaron quema, pirolisis y gasificación. Se decidió trabajar con la última debido a que es la tecnología más probada del mundo que además cumple con las exigencias ambientales de la OCDE. La empresa proveedora de la tecnología es ENERGOS, líder en desarrollo e implementación de plantas de gasificación.

El modelo de negocios de este proyecto se basó por una parte en la Gestión Verde de Residuos y por otra en la venta de energía ERNC. Dentro de las fuentes de ingreso se consideraron: disposición de la basura, venta de energía eléctrica y potencia instalada. El proyecto estima una planta de 8,3MW que procesa 90.000 toneladas de basura al año. La inversión inicial es de USD87 millones de dólares. La tasa de descuento del proyecto es de 25%, ya que es la exigida por los inversionistas de Reinvent. Luego de hacer la evaluación se obtiene un VAN negativo de USD 64 millones, con un TIR de 9,85%.

En conclusión, si bien el proyecto no es rentable con las condiciones de tasa de descuento impuestas por los inversionistas de Reinvent, podría ser interesante para otro perfil de inversionistas. Además si el proyecto es relocalizado en zonas urbanas donde el costo de disposición sea mayor, el proyecto tiene mayores posibilidades de ser rentable. Se estima que, al igual que en EEUU y en Europa, los proyectos de este tipo deben tener un apoyo gubernamental tanto en acceso a permisos ambientales como en posibles subsidios a la inversión inicial.

Tabla de Contenido

1.1.	Introducción	7
1.2.	Justificación de la oportunidad de negocio	8
1.3.	Alcance.....	8
1.4.	Objetivos	9
1.5.	Metodología	9
2.	Macro ambiente de negocios: análisis PESTEL	10
2.1.	Político	10
2.1.1.	Política energética y gestión de residuos	10
2.1.2.	Coyuntura política	12
2.2.	Económico.....	12
2.3.	Social.....	16
2.4.	Tecnológico.....	17
2.5.	Ambiental	18
2.6.	Legal.....	19
2.7.	Conclusiones generales PESTEL.....	23
3.	Diagnóstico de la Industria	23
3.1.	Revisión de residuos generados en Chile.....	23
3.2.	Revisión de tecnologías W2E.....	24
3.3.	Selección y descripción del proyecto.....	25
3.4.	Manejo de Residuos Sólidos Municipales	26
3.4.1.	Historia	26
3.4.2.	Marco Institucional- Normativo	26
3.4.3.	Responsabilidad de Manejo de la basura en Chile	28
3.4.4.	Recolección, transporte y disposición final de la basura municipal	28
3.4.5.	Estado de reciclaje/compostaje	29
3.5.	El proyecto en Reinvent	29
3.6.	Análisis de las fuerzas de Porter	30
3.6.1.	Porter en industria “Manejo de la Basura Domiciliaria”	31
3.6.2.	Porter en industria “Energías Renovables no Convencionales”	35
4.	Modelo de negocios y evaluación económica.....	39
4.1.	Modelo de negocios.....	39
4.1.1.	MODELO DE NEGOCIOS: Gestión de residuos verde	40
4.1.2.	MODELO DE NEGOCIOS: ERNC menores a 9MW	42
4.2.	Plan de operaciones	48

4.2.1.	Flujo de operaciones	48
4.2.2.	Plan de producción y adquisiciones	49
4.2.3.	Infraestructura física	51
4.2.4.	Personal de operación	52
4.2.5.	Controles a realizar	52
4.3.	Modelo de Globalización e Internacionalización	52
4.4.	Evaluación Económica	54
4.4.1.	Financiamiento	56
4.4.2.	Análisis de sensibilidad	57
5.	Resultados y Conclusiones	58
6.	Bibliografía	60
7.	Anexos	61
7.1.	Anexo A: Tipos de Residuos generados en Chile y su Disponibilidad	61
7.2.	Anexo B: Cálculo de poder calorífico de acuerdo a composición de basura.....	65
7.3.	Anexo C: Tecnologías de conversión de residuos en energía	67
7.3.1.	Tecnologías Térmicas: Incineración.....	67
7.3.2.	Tecnologías Térmicas: otras opciones	70
7.3.3.	Tecnologías no térmicas	72
7.3.4.	Plantas de incineración de residuos domiciliarios en Europa.....	74
7.3.5.	Plantas de incineración de residuos domiciliarios en EEUU.....	75
7.4.	Anexo D: Matriz residuo-tecnología	76
7.5.	Anexo E: Preguntas para definición de Modelo de Negocios	84
7.6.	Anexo F: Flujo de Caja tasa de descuento de 25%	85
7.7.	Anexo G: Flujo de Caja apalancado tasa de descuento de 18,94%	88

Índice de Figuras

Figura 1: Generación de residuos sólidos en Chile. Año 2000 al 2009.....	13
Figura 2: Generación de Residuos Industrial por PIB. Años 2000 al 2009.....	13
Figura 3: Demanda de energía eléctrica y crecimiento. CNE.....	14
Figura 4: Tendencia Internacional de Consumos. Fuente: CNE.....	15
Figura 5: Generación eléctrica por fuente 2007. CNE.....	15
Figura 6: Evolución de costo marginal y precio de nudo para el caso del SIC. CNE.....	16
Figura 7 Emisiones de CO2 en toneladas métricas per cápita. Fuente World Bank Database.....	19
Figura 8: Modelo de recolección basura domiciliaria.....	28
Figura 9: Valorización de Residuos Sólidos Municipales Asociado a Gestión Municipal. CONAMA.....	29
Figura 10: Modelo de valorización de las fuerzas de Porter.....	31
Figura 11: Resumen Porter en industria “Manejo de la Basura Domiciliaria”.....	35
Figura 12: Resumen Porter en industria “Energías Renovables no Convencionales”.....	39
Figura 13: Potencia Instalada SIC según tipo de energía. CDEC SIC.....	43
Figura 14: Costos de operación en porcentaje.....	47
Figura 15: Modelo de operación Planta de Gasificación. Energos.....	49
Figura 16: Vista aérea de Copiulemu y áreas disponibles.....	51
Figura 17: Cálculo de TIR: VAN versus Tasa de descuento.....	56
Figura 18: Análisis de Sensibilidad: Impacto en VAN al variar diferentes factores de análisis.....	58
Figura 19. Planta de incineración de Spittelau ubicada en el centro de Vienna, es una de varias plantas que proveen electricidad y calefacción domiciliaria en la capital de Austria.....	68
Figura 20. Esquema de una planta de incineración de parrilla móvil.....	69
Figura 21. Diagrama esquemático del proceso Plasco.....	72

Índice de Tablas

Tabla 1: Balance de energía primaria en Chile en el año 2009. Fuente Comisión Nacional de Energía, BNE 2008.	10
Tabla 2: Estimación de demanda de ERNC. Universidad Católica.	43
Tabla 3: Costos operacionales Planta de Gasificación.	47
Tabla 4: Resumen Modelo de Negocios.	48
Tabla 5: Detalle de costos de Recursos Humanos.	52
Tabla 6: Composición de la basura a tratar.	52
Tabla 7: Detalle de Inversiones.	54
Tabla 8: Otros supuestos flujo de caja.	55
Tabla 9: Composición de la basura en Chile.	61
Tabla 10: Generación de residuos por industria.	62
Tabla 11: Residuos con potencial de BIOGAS.	63
Tabla 12: Poder calorífico de la basura en Concepción.	65
Tabla 13: Plantas de incineración de residuos domiciliarios en Europa.	74
Tabla 14: Plantas de incineración de residuos domiciliarios en EEUU.	75

1.1. Introducción

Una de las tendencias mundiales en materia energética es la búsqueda de nuevas formas de generación de energía renovables, que permita la independencia de combustibles fósiles que suben de precio día tras día y que cada vez son más escasos. Es por esta razón que muchos países desarrollados ya utilizan sus residuos de diverso origen para transformarlos en energía.

Por su parte, nuestro país está viviendo una crisis en esta materia. La matriz de energía se encuentra poco diversificada y depende principalmente de carbón, petróleo y gas que se importan a un altísimo costo. Adicionalmente el gobierno se ha puesto la meta de que un 20% de la matriz esté compuesta por energías renovables no convencionales. Es por ello, que la transformación de residuos a energía es una oportunidad a explorar. Si bien Chile no tiene experiencia al respecto, debido a su reciente unión con la OCDE, se ha comprometido a cumplir con normas medioambientales exigentes lo que implica una búsqueda de soluciones sustentables al manejo de los residuos.

Reinvent, es el dueño actual de dos empresas relacionadas con la gestión de residuos: Hidronor que maneja residuos peligrosos, y Copiulemu que posee un relleno sanitario en Concepción. La empresa desea buscar oportunidades de inversión para la conversión de residuos a energía que tengan potenciales sinergias con su proceso actual, y también adelantarse en materias relacionadas con medioambiente.

La tesis que se propone a continuación es la búsqueda de una solución para transformar residuos municipales a energía en Copiulemu. Este análisis contempla dos etapas, en la primera se realizará una búsqueda sobre el potencial energético/disponibilidad de los residuos en Chile, y paralelamente se unirá a la de tecnologías comercialmente probadas en el mundo. Luego de esta primera mirada se comenzará el análisis del proyecto y la elección de la tecnología para ser implementado en Chile. En este modelo Reinvent/Copiulemu es el cliente que desea traer tecnologías del extranjero para transformar los residuos municipales a energía de forma que sea viable económicamente. La empresa nos entregará información acerca de su actual know how como también los contactos con potenciales proveedores.

Dentro de la bibliografía existente se ha hecho énfasis en: el estudio del manejo de residuos municipales [Referencias (1) y (2)], de las regulaciones ambientales [Referencia (3,4,5,6)], de la metodología de la generación del modelo económico [Referencia (7)] y en la captura de información de los proyectos de empresas en funcionamiento. Además se dispondrá de información de las empresas de Reinvent, que provendrá de los contactos comerciales y técnicos que se vayan generando en la investigación.

1.2. Justificación de la oportunidad de negocio

La oportunidad de negocio se basa en la posibilidad de generar energía a un costo competitivo utilizando desechos de otras industrias, y aprovechando el incentivo que el Estado otorga a las energías no convencionales.

Actualmente en Chile se generan 16,9 millones de toneladas de residuos, aumentando a una tasa del 4% anual, dato correlacionado al crecimiento económico de los últimos años. Desde un punto de vista ambiental, esta situación y la reciente incorporación a la OCDE con altos estándares impone un desafío a la gestión de residuos del país. Por otra parte, se ha producido un incremento significativo de los costos de disponer basura debido principalmente al incremento de cantidad basura a disponer, escasez de lugares cercanos a la ciudad y/o sectores productivos, y aumento de regulaciones sanitarias, que exigen mejores condiciones a los rellenos sanitarios. El costo sólo por disponer una tonelada de basura en Chile, varía entre los USD15 a los USD80 dependiendo de la región.

Desde otro punto de vista, Chile es uno de los países con los costos energéticos más altos de la región, en 8 años su valor se ha multiplicado 4,5 veces. Variadas son las razones de este comportamiento, principalmente es la baja diversificación de la matriz energética, dependiendo de insumos importados; el crecimiento económico; y la baja popularidad (y por ello bajo apoyo político) para construir nuevas centrales que tengan impactos ambientales, como embalses y centrales hidroeléctricas de gran escala. El Gobierno ha apoyado nuevas iniciativas con algunas leyes a las ERNC (Energías Renovables no Convencionales) y generación de pequeña escala.

Estas dos situaciones coyunturales del país generan un ambiente apropiado para la proliferación de proyectos que combinen el uso apropiado de los residuos con la generación de energía. Sin embargo, Chile carece de la experiencia en esta materia, debido a la baja inversión en tecnología, y a la aún baja conciencia y conocimiento de técnicas amigables con el medio ambiente.

Así surge una oportunidad de globalización en la siguiente tesis: al analizar, comparar y evaluar la tecnología y experiencia desarrollada en países que ya han enfrentado problemas similares, adaptándolo a la problemática nacional.

1.3. Alcance

El alcance de esta tesis es el análisis de una solución específica para la implementación de una planta que trate basura municipal, considerando normativas ambientales, nivel de desarrollo de la tecnología, factibilidad técnica de la implementación, evaluada con las condiciones económicas actuales del país.

1.4.Objetivos

Identificar opciones probadas de transformación de Residuos Municipales en energía, que puedan aplicarse en Chile y evaluar la factibilidad económica de su instalación en Copiulemu.

1.5.Metodología

La metodología se divide en dos etapas. La primera consta de un análisis genérico de las tecnologías/ residuos posibles a considerar. Con esta información se construirá una matriz que permitirá tener una orientación de cuáles son las tecnologías/residuos con mayor potencial en Chile. La segunda etapa consta del análisis detallado de la tecnología/residuo elegido en conjunto con su evaluación económica.

La primera etapa se describe a continuación:

- **Análisis de la Industria:** Se utilizarán diversos instrumentos para analizar el atractivo de la industria y el ambiente de negocios en Chile. Además se analizará más en profundidad la legislación chilena en materia medio ambiental.
- **Matriz comparativa de residuos en Chile versus tecnología en el mundo:** se realizará una investigación sobre la potencialidad de residuos disponibles en Chile versus de casos probados comercialmente en el mundo respecto de tecnologías de conversión de residuos a energía o “Waste to Energy”. En este análisis se utilizarán dimensiones cuali-cuantitativas para la detección de oportunidades tales como potencial calórico, disponibilidad, estado de desarrollo de la tecnología, niveles de inversión, entre otros.
- **Selección de tecnología:** en esta etapa y en conjunto con Reinvent se seleccionará la tecnología a utilizar con mayor potencial.

La segunda etapa se compone de:

- **Selección de proveedor-tecnología:** En conjunto con Reinvent se seleccionará el proveedor de la tecnología elegida.
- **Modelo de Negocios:** Comprensión del modelo de negocios propuesto.
- **Desarrollo de Proyecto:** propuesta de un proyecto que garantice la correcta implementación del modelo de negocio y su posterior análisis económico.
- **Evaluación y análisis económico:** Análisis de rentabilidad económica usando VPN, TIR. Análisis de break-even operacional y margen de contribución. Sensibilidad.

2. Macro ambiente de negocios: análisis PESTEL

2.1. Político

Desde su independencia Chile construyó una reconocida tradición republicana. Esta tradición, junto con la estructura política interna y la imagen internacional del país se vieron profundamente afectadas por la dictadura militar de los años 70 y 80. Desde el regreso a la democracia en 1990, Chile ha reconstruido la estabilidad y la salud del ambiente político y la capacidad del país para fijar objetivos y acciones que trasciendan al gobierno actual. Como muestra de este proceso de recuperación, la solidez del manejo institucional chileno permitió que el país se integrara a la OCDE el año 2010.

Dentro de este contexto general, se han producido en los últimos diez años, diversos ajustes institucionales gatillados por la necesidad tener mejores herramientas para la gestión ambiental y energética del país. Estos ajustes se han acelerado debido a los requerimientos que exige la OCDE.

2.1.1. Política energética y gestión de residuos

Chile es un importador neto de energía y tiene una altísima dependencia del crudo extranjero y sus derivados y gas natural. De acuerdo a la Comisión Nacional de Energía (CNE), Chile importa más del 60% de la energía primaria consumida en el país. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (IEA), en 2009 Chile ocupó la posición número 22 en la lista de países importadores de energía¹.

	Producción	Importación	Total
Petróleo Crudo	1,397	108,806	110,204
Gas Natural	19,695	7,287	26,982
Carbón	2,765	43,400	46,165
Hidroelectricidad	21,496	0	21,496
Eólico	33	0	33
Leña	51,170	0	51,170
Total	96,556	159,493	256,049
Unidades: Tetracalorías			

Tabla 1: Balance de energía primaria en Chile en el año 2009. Fuente Comisión Nacional de Energía, BNE 2008.

¹ International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2009.

Para enfrentar el tema energético el Estado chileno ha tomado diversas medidas. Por ejemplo, a comienzos del año 2005, el Gobierno Chileno creó la Programa Nacional de Eficiencia Energética (PPEE) con el objetivo de establecer una política permanente de uso eficiente de los recursos energéticos del país. En el año 2008, el PPEE pasó a ser dependiente de la Comisión Nacional de Energía (CNE) y su importancia se ve reflejada en el hecho que hoy el PPEE constituye uno de los pilares de la actual política energética del Estado. En el mismo año 2008, se promulgó la ley de fomento a las energías renovables no convencionales (Ley ERNC N° 20.257) con el objetivo de acentuar los esfuerzos por diversificar la matriz energética del país.

Para reforzar la política energética el Gobierno actual creó en 2010 el Ministerio de Energía y ha continuado impulsando medidas para avanzar en asegurar el suministro energético, dentro de éstas se encuentra el perfeccionamiento de la Ley General de Servicios Eléctricos y la implementación de instrumentos de apoyo directo a iniciativas de inversión en ERNC incluyendo el proyecto de ley que eleva la meta a 20% de energía ERNC inyectada al año 2020.

En materia ambiental el Informe de Evaluación del Desempeño Ambiental realizado por la OCDE para el período 1990-2004 incluyó una serie de recomendaciones al Gobierno de Chile, estas incluyeron la necesidad de establecer de un órgano de inspección ambiental. Ante este requerimiento el Gobierno creó en 2010 el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia de Medio Ambiente.

Para el período 2010-2014, la programación del MMA incluye acciones específicas en el tema de gestión de residuos con el objetivo de robustecer la política de reducción, reciclaje y reutilización de los mismos. Estas políticas, conocidas internacionalmente como “políticas de 3R”, reportan importantes ganancias ambientales, disminuyendo la presión en el uso intensivo de algunos recursos naturales y evitando la generación de nuevos pasivos ambientales y otros tipos de residuos con altos costos en la reparación.

Las propuestas específicas del MMA incluyen la preparación de la futura Ley General de Residuos o Ley 3R, la elaboración de los reglamentos relacionados con la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), la implementación de un Sistema de Información Integral de Residuos y la revisión de la legislación asociada a la gestión de residuos sólidos domiciliarios incluyendo Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades y Ley de Rentas II.

La futura ley 3R pretende crear un marco legal único que compile en un solo cuerpo las distintas leyes y reglamentos que actualmente afectan la gestión de residuos. La Ley 3R tiene como objetivo crear un marco legal que oriente la gestión integral de residuos a través de una estrategia jerarquizada que priorice la reducción en la generación de residuos y en caso de no ser posible esto, la reutilización, el reciclaje, la valorización energética y como alternativa final el tratamiento y disposición final de los residuos.

La Responsabilidad Extendida de Productor pretende ampliar las obligaciones en la gestión de productos para incluir el manejo adecuado de los residuos generados durante la vida útil de los mismos. Los reglamentos para la ejecución de esta iniciativa se aplicarán a productos de consumo masivo incluyendo entre otros a los envases, neumáticos, refrigeradores, vehículos, baterías, aceites y productos electrónicos.

2.1.2. Coyuntura política

El quehacer político en los últimos años ha estado muy marcado por grandes eventos. El actual Gobierno asumió funciones con un país sacudido por unos de los más grandes sismos registrados en la historia, el terremoto del 27 de Febrero de 2010 y el proceso de reconstrucción marcaron en inicio del nuevo Gobierno. El terremoto fue seguido por los esfuerzos de rescate de 33 mineros que quedaron atrapados a 750 metros de profundidad por más de 100 días. El año 2011 fue marcado por una de las más largas movilizaciones estudiantiles de la historia de Chile, movilizaciones que inundaron el día a día por casi todo el año y que lograron, en su exigencia por mejorar la calidad y el acceso a la educación, un apoyo ciudadano transversal y muy elevado². Estos eventos obligaron a rehacer la agenda política al mismo tiempo que marcaron un divorcio entre la ciudadanía y la clase política, el cual se vio reflejado en bajísimos niveles de aprobación tanto del Gobierno como de la oposición, aprobación que cayó bajo el 30% y el 20% respectivamente³. En este escenario y en la antesala de la carrera presidencial para las elecciones presidenciales de 2014, los esfuerzos políticos estarán enfocados en la reconquista del electorado y muy probablemente dejarán de lado las materias que tengan bajo impacto público.

En resumen, en Chile existe hoy una presión no menor por diversificar la matriz energética y por otro lado exigencias internas y compromisos externos para mejorar la gestión de residuos. En ambas materias, el ingreso de Chile a la OCDE, exige soluciones ambientalmente sustentables las que crean un ambiente favorable para las tecnologías renovables no convencionales. Chile cuenta con una institucionalidad sólida y existe además la voluntad política para avanzar en estos temas, tal como lo marcan por ejemplo, los objetivos definidos por el Ministerio de Medio Ambiente. Sin embargo la coyuntura política, muy marcada por grandes eventos como el sismo de Febrero de 2010 o la movilizaciones estudiantiles de 2011, y el desapruebo mayoritario de la población a la actividad política, tendrán muy por seguro como consecuencia que la legislación específica necesarias para promover las tecnologías de conversión de residuos a energía queden postergadas en el corto plazo y solo se pueda contar con ellas en el mediano a largo plazo.

2.2. Económico

En este capítulo revisaremos el impacto del crecimiento de la economía chilena en la generación de residuos sólidos y la industria energética.

Desde la década de los 90 Chile ha tenido un sostenido incremento de su economía, lo que ha provocado un aumento en la basura creada por año, y por otro lado un déficit energético debido a una creciente demanda.

Desde el punto de vista de los residuos generados, han aumentado la generación tanto de residuos sólidos industriales como municipales en el país. Como se observa en el gráfico, en el periodo del

² <http://www.americaeconomia.com/analisis-opinion/2011-un-ano-de-movilizaciones-y-cambio-politico-en-chile>

³ Adimark GfK, Encuestas de Opinión Pública. <http://www.adimark.cl/es/estudios/index.asp>

2000 al 2009, los residuos sólidos totales aumentaron 4,7 millones de toneladas, que corresponden a un alza del 40%.

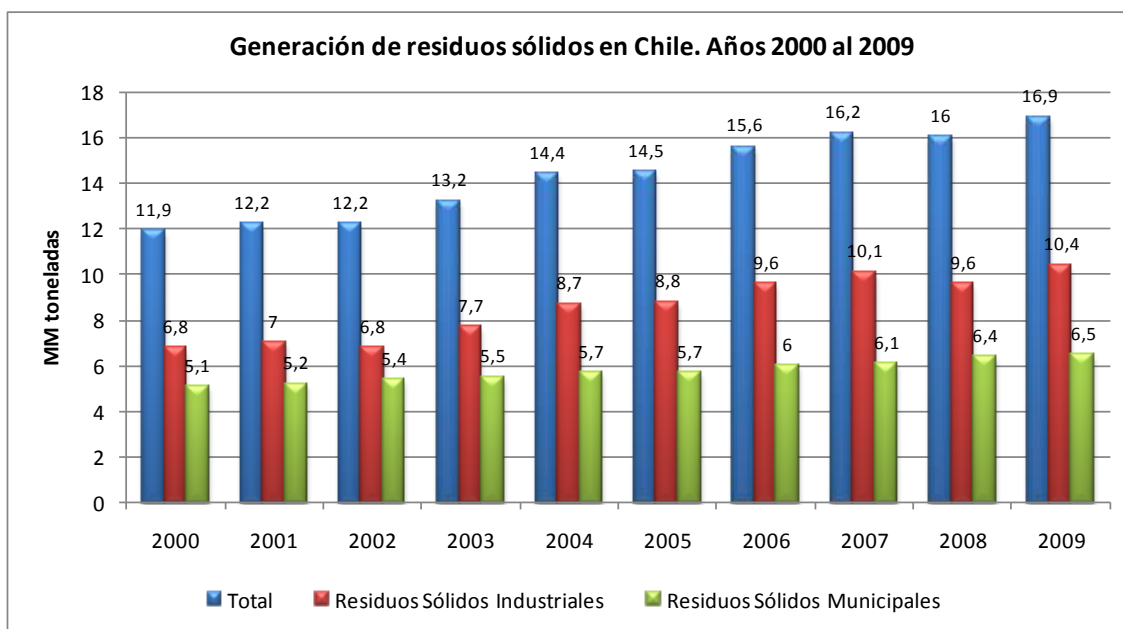


Figura 1: Generación de residuos sólidos en Chile. Año 2000 al 2009.

Desde otro punto de vista se puede relacionar el PIB con la generación de basura con la razón Kg/1.000 dólares producidos. El siguiente gráfico muestra cómo Chile ha mejorado esta razón desde el año 2000 al 2009, teniendo los últimos años un promedio de 62Kg/1.000 dólares, razón más cercana a los países de la OCDE.

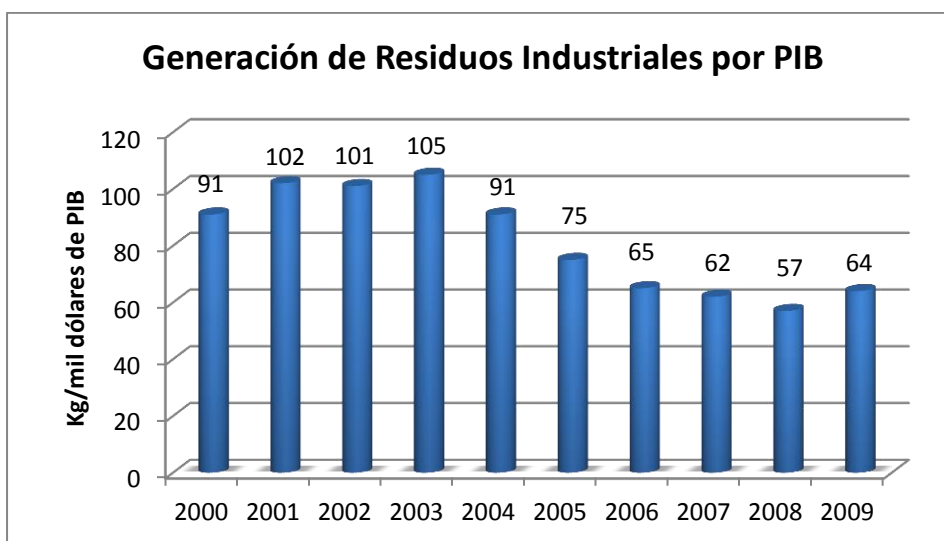


Figura 2: Generación de Residuos Industrial por PIB. Años 2000 al 2009.

Ahora si se analiza el caso particular de la basura municipal, ésta se incrementó de 326 Kg por habitante en el año 2000 a 384 Kg por habitante en el año 2009. Este dato implica un alza de la generación de este tipo de residuo que aún es más bajo que lo producido por un país en promedio OCDE. Adicionalmente, la población chilena en este periodo también creció a una tasa del 1,2%⁴.

Si se analiza otro tipo de residuos particulares como los neumáticos vemos que entre el 2009 y 2010 hay un crecimiento del 7,8%⁵ del parque automotriz. Esto significa una creciente necesidad de disposición o reutilización de aquellos neumáticos que cada año se van dejando fuera de uso.

Otro panorama similar lo representa la industria energética en el país, donde de acuerdo al crecimiento del PIB también ha aumentado la demanda por energía. En el siguiente gráfico se muestra la creciente necesidad de energía eléctrica de los últimos años.

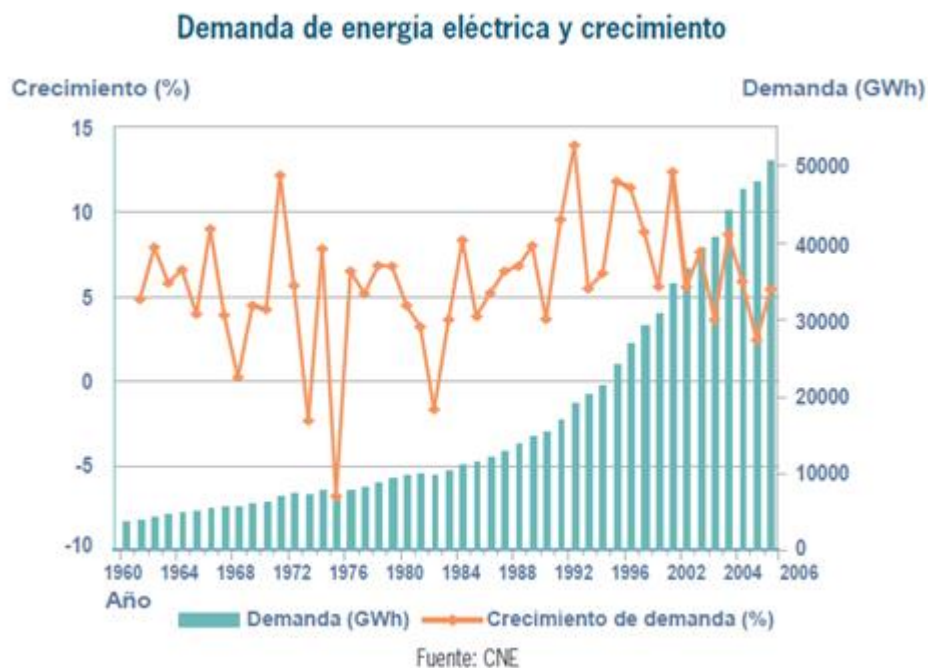


Figura 3: Demanda de energía eléctrica y crecimiento. CNE

Si Chile logra crecer al nivel de los países desarrollados, más aún se hace necesaria la expansión de las inversiones energética en Chile, debido al incremento del consumo. De acuerdo a este gráfico hay una relación directa entre los kwh per capita consumidos y el PIB per cápita. Si Chile crece en términos económicos entonces necesitará consumir más energía.

⁴ Datos Unicef, http://www.unicef.org/spanish/infobycountry/chile_statistics.html

⁵ <http://diario.latercera.com/2011/05/29/01/contenido/pais/31-70816-9-parque-automotriz-crece-78-y-tacos-se-agudizan-en-capitales-regionales.shtml>

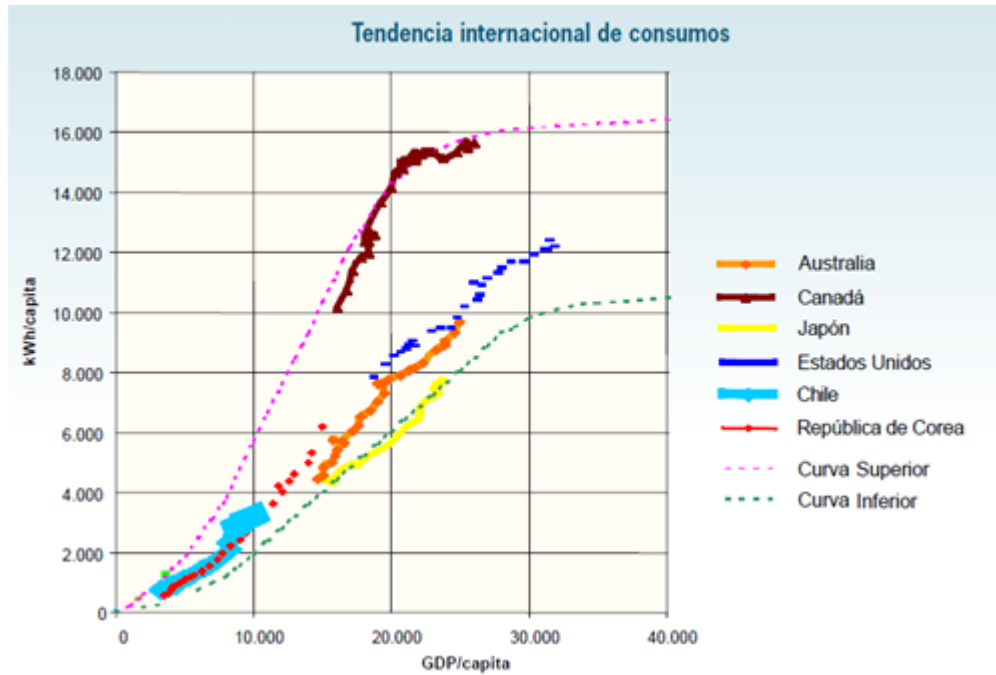


Figura 4: Tendencia Internacional de Consumos. Fuente: CNE.

Por otro lado, si analizamos la matriz energética chilena, vemos que ésta no está diversificada. Podemos visualizar que aproximadamente el 60%⁶ de la generación eléctrica proviene de insumos que el país actualmente no posee en forma natural, como petróleo, carbón y gas natural. Esto significa que la electricidad producida en Chile es altamente dependiente de las variaciones de precios internacionales de combustibles “commodities”.

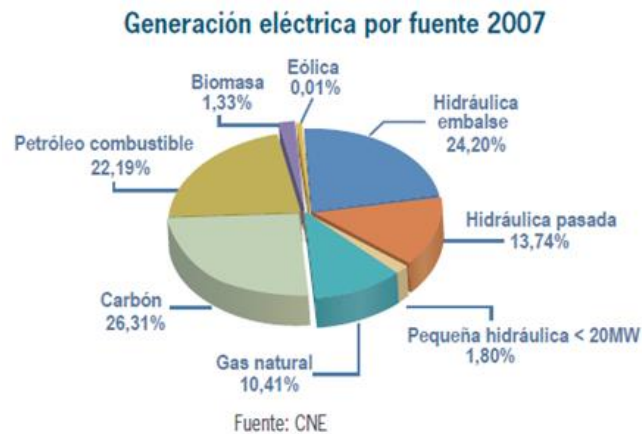


Figura 5: Generación eléctrica por fuente 2007. CNE.

⁶ Reporte de Energías Renovables No Convencionales en el Mercado Chileno.

Es por ello, que la electricidad en Chile los últimos años ha incrementado su valor. Tal como lo muestra el siguiente gráfico el valor de la electricidad ha ido aumentando y su costo marginal de generación. Según el presidente de Asimet⁷, Chile tiene uno de los precios más altos de la energía del mundo, ya que en 8 años el precio se ha multiplicado 4,5 veces⁸.



Figura 6: Evolución de costo marginal y precio de nudo para el caso del SIC. CNE.

Dentro de este marco de análisis surge la oportunidad para la economía chilena de analizar la generación de electricidad a partir de los residuos, como una tendencia de países que van hacia el desarrollo. Por otra parte, el alto costo de la energía en Chile podría facilitar la entrada de estas tecnologías al país, para ofrecer una fuente independiente de insumos de combustible extranjero.

2.3.Social

En este capítulo revisaremos el impacto social de una creciente clase media y junto a ello una mayor conciencia respecto a temas de medioambiente.

Como analizamos en el capítulo anterior existe un aumento de los residuos generados en el país, que va de la mano con el crecimiento de la economía. Más aún, el florecimiento económico ha impulsado también a una clase media que ha ido ganando terreno en términos monetarios. Mayor información y educación ha hecho que gran mayoría de la población que cada día sea más exigente en temas medio ambientales. Esta situación puede generar dos mayores problemas a la disposición de la basura.

⁷ ASIMET: Asociación de Industrias Metalúrgicas y Metalmeccánicas

⁸ <http://www.biobiochile.cl/2010/09/30/asimet-chile-tiene-uno-de-los-precios-de-la-electricidad-mas-altos-del-mundo.shtml>

El primer problema es que en ningún lugar de las grandes ciudades los habitantes están dispuestos a que cerca de su casa se construya un vertedero o relleno sanitario. Algunos de los riesgos percibidos son las enfermedades por descomposición de la basura, contaminación de aguas, aire y suelo, y el efecto en el paisaje cercano a este tipo de instalaciones. Todo lo anterior hace que las familias estén preocupadas tanto por los efectos en la salud como por la desvalorización de sus propiedades.

En segundo lugar, han surgido grupos ecológicos con mayor poder y movilización social que han impedido o al menos han puesto trabas a nuevas inversiones en materia energética o que generen residuos de empresas. Por ejemplo, el año 2011 en Chile hubo bastantes movilizaciones sociales en contra de la construcción de una central hidroeléctrica en el Sur de Chile. Aún con los graves problemas energéticos del país, el gobierno ha estado presionado por la población para no seguir apoyando este proyecto, noticia que ha traspasado las fronteras nacionales, con titulares en todo el mundo. No sólo existen casos emblemáticos en el área de generación de energía, sino de contaminación de aguas por empresas como es el caso Celco, que con sus desechos contaminó aguas y causó la muerte de cisnes de la Región de la Araucanía.

Todos estos incidentes han hecho que la sociedad chilena esté más atenta a cualquier nuevo proyecto relacionado con energía y manejo de residuos. Esta mayor conciencia podría ser una oportunidad o una amenaza para transformación de basura en energía. Es positivo si el proyecto se percibe como una ayuda en la disminución nuevos vertederos o rellenos sanitarios, y a su vez se ve como una energía renovable que ayude al medioambiente. Sin embargo, podría ser una amenaza si la tecnología usada se percibe como contaminante. Es por ello, que en cualquier caso debería haber un estricto control ambiental que permita dar confianza a la sociedad sobre las emisiones y los efectos ambientales.

2.4. Tecnológico

La transformación de residuos a energía es una realidad hace más de 20 años en países desarrollados como Estados Unidos y países de Europa. Tecnologías de incineración y biogás son las más antiguas, sin embargo, la pirólisis, gasificación y arco de plasma han surgido como nuevas promesas que ofrecen tecnologías limpias con el medioambiente.

Sin embargo, Chile se ha mantenido al margen de este desarrollo mundial. No es de extrañar si por una parte Chile tiene muy bajo nivel de inversión en R&D, pero por otra parte los inversionistas en Chile no quieren invertir en proyectos que sean en alguna medida riesgosos.

Actualmente Chile no tiene ningún proyecto Waste to Energy a gran escala, sólo algunos intentos por productores avícolas por generar biogás, o Cemento Melón que utiliza los neumáticos como combustible secundario en sus procesos industriales.

Es por ello, que en esta materia se ve que invertir en Chile con tecnología extranjera es la única posibilidad y a la vez oportunidad para el país.

2.5.Ambiental

Durante ya un par de décadas y acorde con las tendencias mundiales, Chile ha incrementado notablemente su preocupación por el medio ambiente. Este cambio de actitud está presente tanto en los ciudadanos como en el aparato institucional. Este último aún requiere de reformas para alcanzar los estándares de la OCDE, pero el avance es indiscutible.

En el año 1994 se presentaron los primeros signos de este cambio institucional, con la promulgación de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente y la creación de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), la cual sin suprimir las competencias de los servicios públicos sentó las bases para una institucionalidad de tipo transversal. Otro ejemplo de este avance ocurrió en el año 2005, cuando Chile firmó el protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Por su parte, la OCDE en su Informe de Evaluación del Desempeño Ambiental del período 1990-2004, recomendó al Gobierno de Chile fortalecer las instituciones ambientales en los ámbitos nacional y regional, con especial énfasis en el cumplimiento y la fiscalización. Además, el mismo informe destacaba en sus recomendaciones la importancia de incluir políticas de eficiencia energética en el desarrollo de la nación.

Como respuesta a las necesidades indicadas por la OCDE el Gobierno de Chile dio inicio al Programa Nacional de Eficiencia Energética y en el año 2010 se da creación al Ministerio del Medio Ambiente (MMA), al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), estableciéndose un sistema único de fiscalización ambiental.

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en su Informe Ambiental Semestral del 2011 resaltó el progreso en la protección ambiental en Chile desde que el país se convirtió en miembro de la OCDE. El informe destacó la reforma ambiental institucional que se lleva a cabo en el país, la que incluye además del MMA, la SEA y la SMA la creación de Cortes Ambientales (proyecto actualmente en trámite legislativo) y otros avances importantes como la inclusión de aspectos regulatorios ambientales para las mayores industrias del país tales como minería, industria forestal y pesqueras.

Siguiendo el protocolo de Kioto, Chile participa en el Programa de Reducción Certificada de Emisiones (Bonos de Carbono) y muchas de las grandes compañías chilenas destacan públicamente su huella de carbono y los planes para reducirla, ayudando a crear y aumentar la conciencia pública aún cuando Chile tiene un bajo nivel de emisiones per cápita, de hecho mucho menor que el resto de los países miembros de la OCDE.

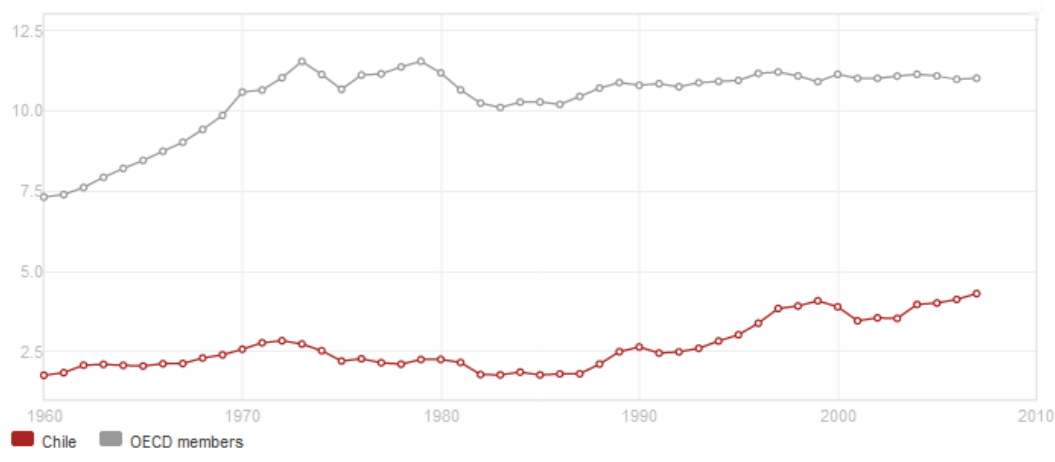


Figura 7 Emisiones de CO2 en toneladas métricas per cápita. Fuente World Bank Database.

En los últimos años un importante aumento en la participación pública en temas ambientales, educación ambiental y promoción por el cuidado del medio ambiente ha tomado lugar en Chile. Entre otras cosas las noticias asociadas al medioambiente aparecen permanentemente en los medios y la ecología es parte del currículo escolar. La población chilena se ha vuelto bastante receptiva al impacto ambiental del desarrollo humano, esta actitud ha ganado posición gatillada por temas puntuales tales como la alta polución del aire en Santiago o el debilitamiento de la capa de ozono, la cual tiene alto impacto en Chile. Aunque el PNUD ha advertido que el nivel de conciencia ambiental está positivamente correlacionado con el nivel de ingreso y el nivel de educación, la opinión pública general ha sido fuerte y transversal en varios casos tales como la oposición pública a grandes proyectos de infraestructura cuyo impacto ambiental es alto o poco claro, como por ejemplo en el caso del proyecto Hidroaysen en el cual las encuestas de opinión⁹ registraron un nivel de oposición del 70% basado en el impacto ambiental sobre las áreas protegidas y los Parques Nacionales.

Como conclusión se puede decir que el país se mueve desde los ámbitos político, institucional y social hacia un nivel más alto de conciencia ambiental. Estas condiciones crean un escenario adecuado para la penetración de tecnologías limpias o que aborden temas complejos como el del manejo de los residuos. Sin embargo, son necesarios mayores esfuerzos para promover estas tecnologías y hacerlas conocidas a la población.

2.6. Legal

Residuos

Chile no tiene una institución con competencia específica ni exclusiva sobre la gestión de residuos, en su lugar la estructura pública pertinente se compone de múltiples organismos sectoriales que incluyen de una u otra manera y de forma parcial, el tema de los residuos como uno más de sus ámbitos de competencia.

⁹ <http://diario.latercera.com/2011/05/15/01/contenido/reportajes/25-69083-9-74-rechaza-hidroaysen.shtml>

Más aún, la normativa legal actual se considera dispersa e incompleta¹⁰ lo que dificulta la coordinación de los distintos organismos que participan en la gestión de residuos y crea inseguridad jurídica. Esto, obviamente, acarrea múltiples trabas para una efectiva y eficiente gestión de residuos en el país.

La Ley de Bases Generales del Medio Ambiente no aborda el tema de forma específica y es por eso que en enero del año 2011 fue sometido a consideración en el Consejo Consultivo Nacional el documento borrador de la Ley General de Residuos. Este proyecto de Ley busca regular la gestión sustentable de residuos, con el objeto de prevenir su generación y aumentar su aprovechamiento como materia prima secundaria y como fuente de energía alternativa para procesos productivos, disminuyendo así la cantidad de desechos dispuestos en rellenos sanitarios, con la finalidad última de proteger el medio ambiente.

Uno de los principales temas incorporados en el proyecto de ley se refiere a la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), como mecanismo para mejorar la gestión de residuos masivos aplicándolos a determinados productos prioritarios a través de un cambio en los derechos de propiedad de determinados productos que obliga a los productores a responsabilizarse de los residuos derivados de sus productos al término de su vida útil. Esto significa que un productor (o importador) se debe hacer cargo, o ser como mínimo co-responsable, de un producto una vez terminada su vida útil. Esta responsabilidad abarca todo el ciclo de vida de un producto, empezando con la extracción de la materia prima necesaria, el diseño de un producto, su producción, distribución y uso, y terminando con la eliminación adecuada de los residuos generados por el producto. Con este propósito se han realizado estudios que demuestran la factibilidad económica, ambiental y social de la REP así como se han llevado a cabo una serie de iniciativas tanto públicas como privadas para avanzar en cada uno de los productos fuera de uso, entre ellos los neumáticos¹¹.

El proyecto de Ley también contempla que todo gestor de residuos deberá presentar al Ministerio del Medio Ambiente una póliza de seguro que asegure y garantice que contará con los recursos económicos suficientes para hacer frente a cualquier contingencia y al pago de daños al medio ambiente y a terceros que se pudieran causar durante el manejo de los residuos y/o financiar el control después del cierre de la instalación de manejo. Para tales efectos, la calidad de beneficiario y asegurado le corresponderá a la Superintendencia del Medio Ambiente, y la cantidad y suma asegurada ingresará a su patrimonio para los efectos establecidos en el artículo 14 del Artículo Segundo de la ley N° 20.417, que crea la Superintendencia del Medio Ambiente y fija su ley orgánica.

Los avances institucionales y legales en este tema se aceleraron con el ingreso de Chile a la OCDE el año 2010. Durante el trabajo previo a su ingreso Chile debió suscribir una serie de compromisos en diversos ámbitos para poder cumplir con los requerimientos de la organización.

¹⁰ Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, pag 21.

¹¹ OCDE Evaluación de Desempeño Ambiental Chile 2005, Evaluación de Medio Término 2011, Ministerio del Medio Ambiente.

En el ámbito del Medio Ambiente la OCDE persigue el objetivo de mejorar el hábitat con uso de tecnologías y aplicando mecanismos de mercado que generen incentivos adecuados.¹²

Energía

La institucionalidad asociada a la energía en Chile es está centralizada en el Ministerio de Energía, cuyo objetivo general es “elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector energético”¹³. Para cumplir este objetivo, el Ministerio de Energía coordina las actividades de la Comisión Nacional de Energía (CNE) y de la Súper Intendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). La función de la CNE es analizar los precios, tarifas y normas técnicas del sector energía, mientras que la SEC es el organismo encargado de supervigilar el mercado de la energía en Chile.

El mercado de la energía en Chile es muy dinámico y uno de los de mayor crecimiento en el país. El sector en Chile es eminentemente privado, sobre todo en el área de la electricidad, y el rol del Estado se limita a la regulación, fiscalización y eventualmente a la entrega de subsidios a los consumidores.

El dinamismo del mercado de la energía se ha potenciado, principalmente, gracias a tres cuerpos legales: las leyes cortas I y II que afectan a la industria de la energía eléctrica y la ley ERNC. En conjunto estos tres cuerpos legales han perfeccionado la regulación en una industria, que es monopolio natural, para que se comporte de la forma más parecida posible a un mercado competitivo¹⁴.

La Ley Corta I o Ley 19.940, fue promulgada en Marzo del año 2004 para regular el mercado de la transmisión eléctrica, definiéndolo como un servicio público y siguiendo un esquema de regulación de operación técnico-económica de empresa modelo. Esta definición permitió que se definieran de manera más clara los costos de peaje por transmisión de energía eléctrica, lo que a su vez permitió que los grandes consumidores pudieran comprar energía de empresas distribuidoras, aunque estas no estuvieran en su zona geográfica. Como consecuencia se aumentó la competencia y los incentivos a la inversión en generación.

Otro punto importante de la Ley Corta I es que los pequeños generadores¹⁵ están eximidos del pago de peaje por transporte de energía y además pueden exigir ser conectadas a los distribuidores en caso de no poder acceder a las redes de distribución troncales. En la práctica esta disposición beneficia a las ERNC, que antes de la ley no estaban en condiciones de competir en un mercado dominado por grandes generadoras.

¹² www.ecosistemas.cl/1776/fo-article-87133.pdf

¹³ www.minenergia.cl/ministerio/objetivos-y-funciones.html

¹⁴ www.bcn.cl/carpeta_temas_profundidad/ley-corta-1-2-electricidad

¹⁵ El costo de peaje va desde 0%, para generadoras de menos de 9 MW, hasta 100% para las generadoras de 20 MW y más.

Por otro lado, la Ley Corta II o Ley 20.018, promulgada el año 2005 define un sistema de licitaciones competitivas para la generación de energía eléctrica. Estas licitaciones, al asegurar el precio de la energía por una cantidad de tiempo determinado, reducen la incertidumbre sobre los proyectos incentivando la inversión.

Finalmente, la Ley ERNC o Ley 20.257 establece cuotas de energía renovable no convencional para grandes generadores de energía eléctrica, esto es actores con capacidad superior a 200 MW. Los generadores están obligados a que un 5% de la energía que comercializan provenga de fuentes no convencionales, esta exigencia aumentará año a año hasta alcanzar un 10% en el año 2024. Por su parte los grandes clientes deben certificar que al menos un 10% de la energía que consumen en un año venga de una fuente no convencional. Actualmente se discute en el congreso un proyecto de ley que pretende aumentar la exigencia de energía no convencional a 20% a partir del año 2020, el proyecto es conocido como “Ley 20/20”.

En conjunto, estas tres leyes crean un escenario comercialmente muy favorable para el florecimiento de proyectos de generación de pequeño y mediano tamaño basadas en tecnologías renovables no convencionales tales como la mayoría de las tecnologías de transformación de residuos a energía.

2.7. Conclusiones generales PESTEL

A modo de resumen se puede apreciar la siguiente tabla:

Político	Estabilidad política incentiva inversiones. Ingreso a OCDE el año 2010. Falta de políticas claras respecto de gestión ambiental. Creación de un órgano de inspección ambiental (Ministerio del Medio Ambiente). Bajo apoyo del gobierno de la población. Dentro del foco del Gobierno como prioridad en la agenda política la de terminar los proyectos en curso.
Económico	Tendencia de aumento de la cantidad de basura generada por habitante. Aumento de la demanda con energía. Todo logado al crecimiento del PIB.
Social	Habitantes no desean Rellenos Sanitarios cerca. Preocupados por desvalorización de propiedades y por salud. Poco conocimiento del reciclaje.
Tecnológico	Existen muy pocos proyectos, hay oportunidades pero sólo con tecnología extranjero. Nulo R&D en el país
Legal	En medioambiente baja regulación, aunque se ve una tendencia de mayor preocupación. En temas energéticos se han creado leyes que incentivan las ERNC, aunque son bajos los subsidios comparados con experiencias en Europa.

En conclusión, se puede decir que el país se encuentra en un entorno medianamente favorable para acoger nuevos proyectos de energías renovables con tecnologías provenientes del extranjero. Si bien, las leyes actuales incentivan la proliferación de estos proyectos, aún faltan mayores exigencias para incentivar aún más la inversión en ERNC. Por parte de la gestión de residuos también se observa una falta de definición de la ley de Responsabilidad Extendida del Productor que daría un incentivo para apoyar la disposición de estos residuos de manera más segura. Finalmente, no existe una conciencia social aún demasiado desarrollada de la responsabilidad de la generación de residuos en los habitantes, siendo el reciclaje hoy una actividad marginal dentro de la población.

3. Diagnóstico de la Industria

3.1. Revisión de residuos generados en Chile

En esta sección se resumirá qué tipos de residuos se generan en Chile y su disponibilidad. El detalle del análisis se encuentra en el Anexo A.

Residuos sólidos municipales: el año 2009 se generaron 6,5 millones de toneladas de este tipo de residuo con un crecimiento del 2,3% anual. Está compuesto en promedio por un 53% de

materia orgánica, con un poder calorífico de 8.490 Kj/Kg¹⁶. Este valor tenderá a aumentar en un futuro dado que el aporte del plástico se incrementará. Adicionalmente sólo 1% del total de la basura generada se recicla, usa en compostaje o incinera.

Residuos Industriales: Chile ha experimentado un crecimiento económico importante desde los años noventa a la fecha lo que ha impactado en la generación de residuos industriales según la actividad económica. Hasta el año 2009 se producían 10,4 toneladas de residuos industriales, con un crecimiento anual de 4,8%.

Residuos industriales con potencial de Biogás: Una de las áreas donde se considera mayor potencial energético es en los residuos orgánicos con los que se genera biogás. Actualmente en Chile las grandes procesadoras de residuos orgánicos como las empresas de celulosa son de las pocas que generaran energía para autoabastecerse de sus residuos. En Chile se generan más de 6 millones de toneladas con este tipo de residuos, sin embargo, existen muchos tipos y varían en facilidad de recolección, disponibilidad y poder calorífico. En el Anexo de residuos se analiza en más detalle cada una de estas variables. Luego de analizarlos se determinó que la mayor potencialidad se encuentra en el estiércol avícola, el estiércol porcino, y los lodos.

Aceites usados: Dentro de este tipo de residuo están incluidos los aceites de motores de automóviles, cajas de cambios, transmisores, barcos y aviones. Se excluyen los aceites de origen vegetal y grasas. En Chile se generan 130.300m³ de aceites al año. De estos aceites un 50% se pierde en combustión de motores o fugas, quedando 65.000m³, de éstos un 72% es eliminado en instalaciones autorizadas y el resto es dispuesto en destinos desconocidos. A pesar del alto poder calorífico del aceite 40.000KJ/m³, no existe disponibilidad de este residuo actualmente para ser utilizado en valorización energética, o bien ya lo están utilizando actualmente como combustible alternativo.

Neumáticos: Actualmente en Chile se disponen al año 42.000 toneladas de neumáticos. Adicionalmente se generan 12.000 toneladas anuales que desecha la industria minera. Estos dos tipos de neumáticos se distinguen debido al tamaño y su manipulación posterior para reutilización¹⁷. Chile tiene un problema respecto de la disposición de este residuo que actualmente se dispone en un 90% en lugares desconocidos. Por otra parte, los neumáticos poseen un poder calorífico de 33.000KJ/ton lo que hace atractivo pensar en una alternativa energética en este aspecto. Respecto de su recolección la gran mayoría lo posee los talleres mecánicos, sin embargo, cualquier evaluación al respecto debe considerar este desafío.

3.2.Revisión de tecnologías W2E

La conversión de residuos en energía es, en un sentido estricto, cualquier tratamiento con recuperación de energía de cualquier fuente de residuos que de otra forma habrían sido dispuestos

¹⁶ Ver Anexo A donde se muestra cálculo de este dato.

¹⁷ Debido al gran tamaño los neumáticos mineros se apilan y no pueden aún ser reutilizados, o revalorizados energéticamente.

en un relleno. La recuperación de energía puede ser en forma de electricidad, calor o alguna forma de combustible.

Las tecnologías para este tipo de tratamiento de residuos pueden clasificarse en dos grandes grupos: tecnologías térmicas y tecnologías no térmicas.

Dentro del primer grupo destaca la incineración, la cual es la tecnología más probada y usada a gran escala, con múltiples ejemplos de grandes plantas en operación tanto en Europa como en Estados Unidos. Otros procesos térmicos utilizan calor, bajo condiciones controladas para desintegrar los componentes orgánicos de los residuos y utilizar los hidrocarburos resultantes como combustible líquido o gaseoso. La mayoría de estas tecnologías no han alcanzado el nivel de madurez suficiente para ser alternativas viables comercialmente.

Las tecnologías no térmicas son variadas y su enfoque general es crear condiciones que optimicen el proceso natural de degradación del material orgánico presente en los residuos. Destacan entre estas tecnologías la digestión anaeróbica y la fermentación, procesos que se consideran comercialmente maduros y para los cuales existen múltiples ejemplos de plantas en funcionamiento alrededor del mundo.

Muchas de las tecnologías de conversión de residuos en energía se encuentran aún en etapa de desarrollo o en un estado pre comercial; las patentes que protegen estos desarrollos de tecnología hacen difícil acceder a los detalles técnicos de los mecanismos de operación, al mismo tiempo que no abundan los ejemplos de plantas operativas a gran escala. Detalles sobre las tecnologías de conversión de residuos en energía y su estado de desarrollo puede encontrarse en el Anexo C.

3.3. Selección y descripción del proyecto

Después de una investigación de las potencialidades de los residuos en conjunto con la tecnología disponible se llegó al desarrollo de la matriz residuos tecnología¹⁸, donde se detallan la potencialidad de cada residuo versus su tecnología. Se identificaron varios puntos de análisis para la comparación entre ellos como: residuo, valor calórico, disponibilidad total, disponibilidad libre, legislación favorable, proceso o tecnología, energía producida, valor de la energía, valor de la inversión, casos en el mundo, entre otros.

En el caso de esta tesis en particular se analizará la basura municipal como fuente energética. De acuerdo a los resultados de la matriz, de las 7 tecnologías analizadas que tratan este tipo de residuo, sólo cuatro de ellas tenían plantas comerciales: incineración masiva, pirolisis, landfilling gas, y gasificación.

La primera de ellas es la incineración, la cual es la más extendida y probada en el mundo. Sin embargo, existen muchos grupos opositores a este tipo de tecnología por el bajo control de sus emisiones ambientales.

¹⁸ Anexo B

La pirolisis es una tecnología bastante innovadora, no obstante, no se pudo encontrar proveedores que desarrollaran comercialmente esta tecnología aún, a pesar de existir plantas funcionando.

La opción de “landfilling gas” o gas de vertedero no se pudo seguir desarrollando pues Copiulemu, actual cliente, ya tenía desarrollado parte de esta tecnología, y sólo faltaría conectar un generador eléctrico en su relleno en vez de quemar el gas metano como lo hacen el día de hoy.

Finalmente, la gasificación es una tecnología probada y ofertada comercialmente que cumple con los estándares de emisiones de la OCDE y por ello se eligió como opción para desarrollar esta tesis.

En los siguientes capítulos se analizará ya más en detalle el proyecto de implementar una planta de tratamiento de residuos y convertirlos a energía, sin embargo, antes es importante analizar cómo hoy se manejan los residuos sólidos municipales.

3.4. Manejo de Residuos Sólidos Municipales

En este capítulo se explicará cómo se maneja en Chile los Residuos Sólidos Municipales, junto al marco regulatorio y legal, modelo de operación y usos alternativos de estos Residuos.

3.4.1. Historia

Hasta el año 1990, toda la basura municipal generada en el país era dispuesta en basureros ilegales. El año 1994 se decreta la Ley de Bases del Medio Ambiente donde se establece que toda basura municipal debe ser dispuesta en rellenos sanitarios. Así es como el día de hoy un 60% de los residuos es dispuesto en rellenos sanitarios. Estos residuos no son separados en su origen ni existe una ley que facilite el reciclaje aún.

Un gran paso en el manejo de los residuos sólidos en Chile se dio el año 2005 cuando se creó la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos cuyo objetivo es desarrollar una institucionalidad pública capaz de coordinar a todos los interlocutores en materia de manejo de residuos sólidos, haciendo una política sustentable con el medio ambiente.

Adicionalmente, el 2007 se aprueban las Normas de Emisión para Incineración y Co-Incineración. Y finalmente el año 2008 se aprueba el reglamento sobre condiciones sanitarias y seguridad básicas en los rellenos sanitarios.

3.4.2. Marco Institucional- Normativo

Marco Institucional

Desde el año 2010, Chile tiene un nuevo marco institucional ambiental lo cual implica un cambio de foco y de escenario en el manejo de residuos en Chile. Este está compuesto por las siguientes entidades:

Ministerio de Medio Ambiente: tiene como objetivo el desarrollo y aplicación de variados instrumentos de gestión ambiental en materia normativa, protección de los recursos naturales, educación ambiental y control de la contaminación, entre otras materias.

Superintendencia de Fiscalización: tiene como objetivo ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las Resoluciones de Calificación Ambiental, de las medidas de los Planes de Prevención y/o de Descontaminación Ambiental, del contenido de las Normas de Calidad Ambiental y Normas de Emisión, y de los Planes de Manejo, cuando corresponda, y de todos aquellos otros instrumentos de carácter ambiental que establezca la ley

Servicio de Evaluación Ambiental tiene como objetivo tecnificar y administrar el instrumento de gestión ambiental denominado “**Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental**” (SEIA), cuya gestión se basa en la evaluación ambiental de proyectos ajustada a lo establecido en la norma vigente, fomentando y facilitando la participación ciudadana en la evaluación de los proyectos. Además está en proceso la creación de un Tribunal Ambiental cuya función es resolver las controversias medio ambientales.

Marco Normativo Residuos Sólidos

En esta sección se exponen las distintas leyes cronológicamente que rigen la disposición de los residuos sólidos.

1968: Se dicta el Código Sanitario. Este rige los temas de “fomento, protección y recuperación de la salud de los habitantes, y regula aspectos específicos asociados a higiene y seguridad del ambiente y de los lugares de trabajo”¹⁹

1992: rige el Decreto Supremo N°685 donde se ratifica el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos fronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

1994: entra en vigencia la Ley 19.300: Bases Generales del Medio Ambiente. Según el Artículo 1°: se regulará “El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental”.

2000: Decreto Supremo N°594 sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.

2005: Decreto Supremo N°148 sobre Manejo de Residuos Peligrosos.

2007: Decreto Supremo N°45. Establecimiento de la norma de emisión para la incineración y co-incineración.

2008: Decreto Supremo N°189. Regulación de las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios.

¹⁹ Primer Informe de Residuos Sólidos CONAMA

2010: Decreto Supremo N°4 para el manejo de lodos generados en plantas de tratamientos de aguas servidas, y el Decreto Supremo N°6 que rige el manejo de residuos sólidos generados en establecimientos de salud.

3.4.3. Responsabilidad de Manejo de la basura en Chile

La división política-administrativa de Chile está compuesta de 3 unidades: Región, Provincia y Comuna. Si bien existe el Ministerio del Medio Ambiente y otras instancias institucionales para regir el Manejo de la Basura, es cada Municipalidad (Asociada a cada comuna) la que es responsable por la recolección de los Residuos Sólidos Municipales. A nivel nacional las Municipalidades contratan a empresas privadas para hacerse cargo de esta gestión. El cobro por el retiro de la basura debe ser pagado por cada familia que habite en un domicilio. Sin embargo, las municipalidades en Chile han enfrentado diversos problemas a lo largo del país debido a una mala gestión asociada a la cobranza de este servicio, y otro asociado a la ineficiencia de la gestión de recolección. Respecto de este último punto las variaciones en el costo por tonelada se diferencian en 100 veces en los casos extremos. En promedio las municipalidades sólo alcanzan a cubrir un 50% de los costos por esta gestión.

3.4.4. Recolección, transporte y disposición final de la basura municipal

El modelo es el siguiente:

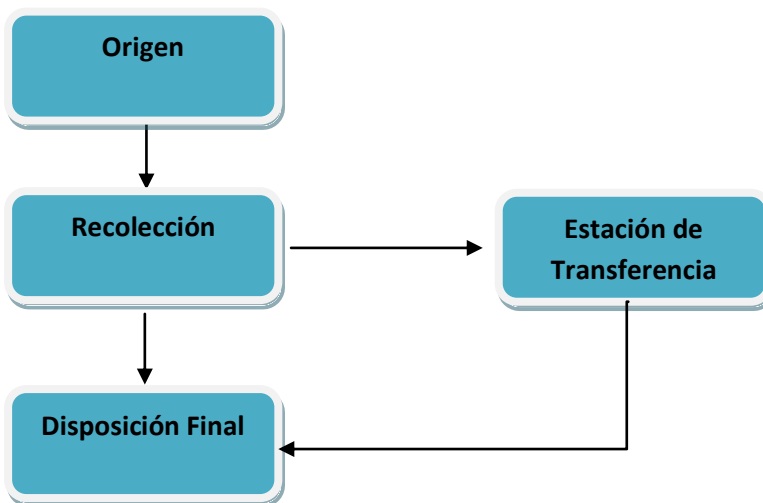


Figura 8: Modelo de recolección basura domiciliaria.

Origen: es el domicilio donde se produce la basura. Esta no es separada.

Recolección: la mayoría se realiza a través de camiones de empresas privadas contratadas por municipalidades 3 veces a la semana.

Transporte: dependiendo de la distancia al relleno sanitario o vertedero algunos camiones cargan la basura hasta las estaciones de transferencia. Estos son camiones grandes que luego disponen el residuo en el destino final.

Disposición Final: pueden ser rellenos sanitarios o vertederos.

3.4.5. Estado de reciclaje/compostaje

Actualmente en Chile se valoriza un porcentaje menor al 1% de la basura que se genera. Sin embargo, es importante analizar las tendencias.

Como se puede apreciar en el gráfico de más abajo la mayor actividad de valorización es el compostaje y luego le sigue el reciclaje que va creciendo a tasas del 35% anual.

Si bien esto muestra un crecimiento intensivo aún es incipiente para el nivel de basura generada anualmente y para el incremento de residuos generados per cápita.

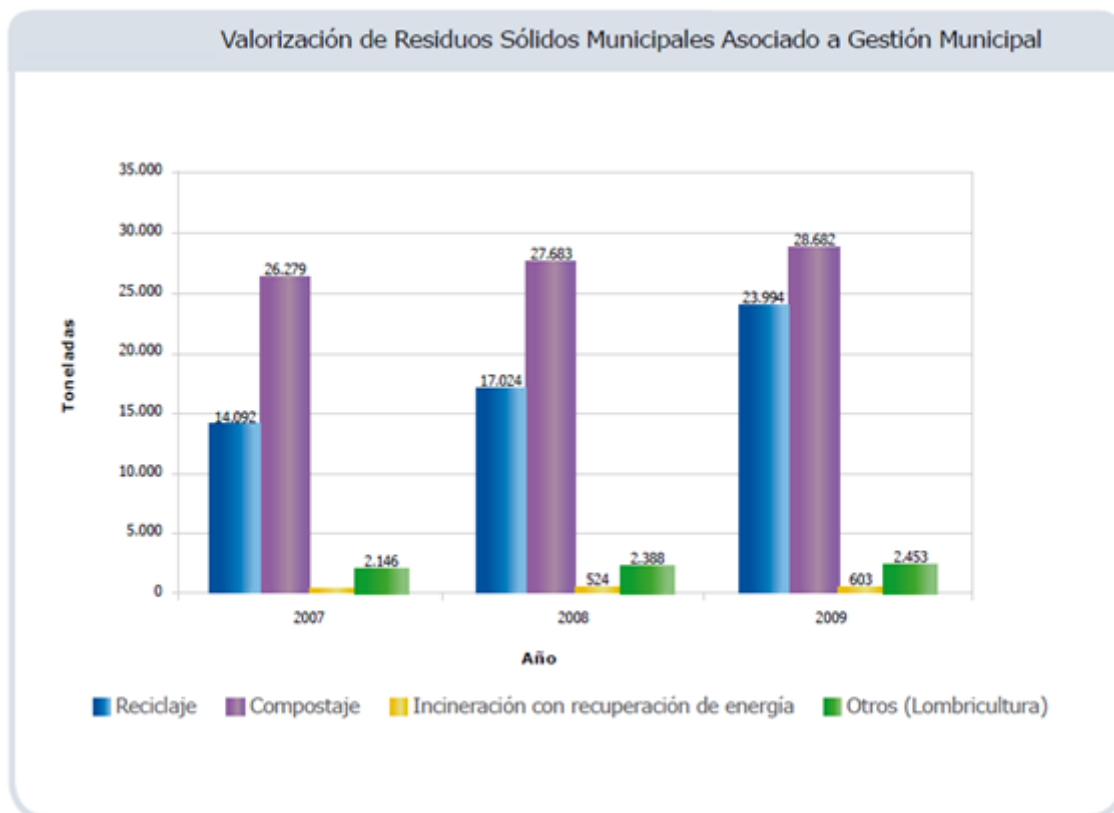


Figura 9: Valorización de Residuos Sólidos Municipales Asociado a Gestión Municipal. CONAMA.

3.5.El proyecto en Reinvent

Reinvent es un fondo de inversiones que tiene experiencia en manejo en la disposición de residuos peligrosos y residuos domiciliarios. Respecto del último negocio actualmente posee un relleno sanitario en Concepción, llamado Copiulemu.

Ellos manejan actualmente contratos para recolección de municipalidades como Talcahuano, Hualpén y Lota. En total de las municipalidades ellos transfieren 190.000 toneladas anuales a su relleno sanitario.

El objetivo de este proyecto es instalar una planta de tratamiento de basura que transforma ésta en energía en las áreas disponibles del proyecto. Se aprovecha la ubicación geográfica ya que no habría que transportar la basura a otro lugar sino que se instala en el mismo lugar geográfico. Esta planta contará con un módulo de gasificación y luego la conexión a generadores eléctricos. Estos generadores serán conectados a la línea de transmisión de mediana tensión (15KV) para la venta de energía final.

La planta de gasificación produce gas y vapor. El vapor producido podía ser vendido a una fábrica local, sin embargo, la más cercana está a 40 kilómetros desde Copiulemu. Esto hace descartar la posibilidad de venta de vapor y también de la venta del gas, por el alto costo de transporte que esto significaría.

3.6. Análisis de las fuerzas de Porter

La industria analizada a continuación se define como:

“Transformación de basura domiciliaria en energía eléctrica clasificada dentro de las ERNC.”

Esta industria tiene la característica que a nivel de insumos compite con el tratamiento de residuos y a nivel de producto final compite con aquellos generadores a pequeña escala que se denominan “energías renovables”.

Es por esta razón que el análisis de Porter se hará en dos niveles. En primer lugar se analizará la industria del “Manejo de la Basura Domiciliaria”. En segundo lugar se analizará la industria de las “Energías Renovables no Convencionales”.

Se utilizará la siguiente valoración para poder analizar la fuerza que estamos midiendo. Se puntuará cada componente analizado dentro de las fuerzas (-2;-1;0;+1;+2), luego se realizará un promedio para determinar la puntuación total de la fuerza a analizar.

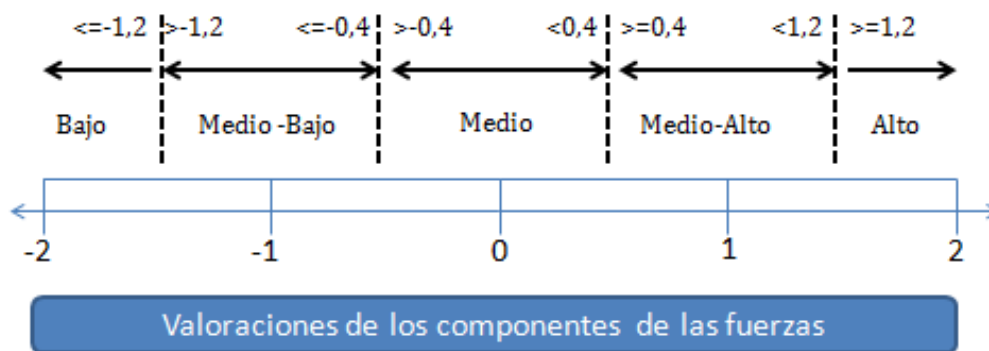


Figura 10: Modelo de valorización de las fuerzas de Porter.

3.6.1. Porter en industria “Manejo de la Basura Domiciliaria”

En esta industria se compite geográficamente por los mercados. Es decir, un relleno sanitario en Santiago no compite con uno dispuesto en Concepción. Por ello, se busca que un relleno sanitario pueda satisfacer las necesidades de varias localidades. En este sentido, los competidores son otros rellenos cercanos, y vertederos que aún estén funcionando. Los compradores son las municipalidades. Los proveedores están relacionados principalmente con los servicios de transporte de basura, y con algunos proveedores de insumos y energía eléctrica. Los sustitutos pueden ser las acciones de reciclaje, y la reutilización de la basura. Finalmente los nuevos entrantes, sólo pueden ser rellenos sanitarios (ya no se dan permisos a vertederos), u otras formas de revalorización de la basura.

Amenazas de entrada de Nuevos competidores

Los requerimientos de capital son medianos a altos al desarrollar un relleno sanitario adicional. Hay inversiones altas en terreno y además en la preparación del terreno para que califique con las normativas ambientales. Cada vez se hace más difícil obtener nuevos terrenos para instalar rellenos debido, principalmente, a la oposición de la comunidad y a la escasez de los mismos. Por esta razón la amenaza de nuevos competidores en la disposición de basura domiciliaria es mediano a bajo. (-1).

Economías de escala: En esta industria existen economías de escala, debido a que se debe construir un “hoyo” lo suficientemente grande para poder hacerlo rentable y manejar los contratos con las municipalidades. Por ello, creemos que la amenaza en este caso es baja (-2).

Efecto de las curvas de aprendizaje: El negocio del manejo de la basura, no es un negocio de conocimiento tecnológico. En términos simples, es disponer de un “hoyo” adecuado para poder ir disponiendo la basura. En este sentido las amenazas son altas (2).

Diferenciación del producto: Actualmente los rellenos sanitarios municipales no diferencian sus productos, aunque esto podría darse en un futuro. La elección de la disposición es principalmente dada por la cercanía a la localidad. Competencia en este punto puede existir por otros vertederos

que no cumplen la normativa actual. Sin embargo, las municipalidades tienen presiones legales para hacer que esto se cumpla. En este sentido la fuerza es mediana a baja (-1).

Acceso a canales de distribución: El acceso al canal de distribución es difícil. Una vez que se hizo el contrato con la municipalidad los costos de cambio son altos. En este caso, los canales de distribución están dados por el transporte de la basura domiciliaria. Estos contratos se negocian con empresas dedicadas a la recolección. Sin embargo, estos acuerdos se hacen a través de la municipalidad que es el ente que media. Es por ello que el acceso a los canales de distribución no son fáciles. Por esto la amenaza es mediana a baja (-1)

Legislación: construir un relleno sanitario no es fácil, no sólo por encontrar un terreno apropiado, si no que es larga la obtención de los permisos municipales y ambientales. Dada las exigencias actuales respecto de la disposición de la basura se hace cada vez más difícil entrar, a pesar de la necesidad de contar con lugares apropiados ambientalmente. Sobre este aspecto las amenazas son medianas a bajas (-1).

Después de analizar y valorizar se obtiene un promedio de -0,67, por ello la amenaza de nuevos competidores en la industria del “Manejo de la Basura Domiciliaria” es mediana a baja.

Rivalidad en la Industria

Número de competidores: como se mencionó anteriormente la competencia es geográfica. Debido a la baja disponibilidad de terrenos, no existe competencia significativa dentro de una misma localidad. Por ello el número de competidores es bajo y a veces nulo. En este caso, la rivalidad de la industria es baja (-2).

Crecimiento de mercado: este es un mercado en crecimiento debido a que la disposición de basura domiciliaria per cápita sigue creciendo. Tal como se discutió en el Pestel el crecimiento económico del país tiene una correlación con el consumo, hábitos y la generación de basura. En este aspecto, la rivalidad es alta (2).

Diferenciación de producto y costos de cambio: El servicio en este caso no tiene gran diferenciación, sin embargo, los costos de cambio son altos debido a los contratos. Por ello la rivalidad es mediana (0).

Sobre capacidad y barrera de salida: actualmente no hay sobre capacidad en la industria, sin embargo, las barreras de salida son altas debido a los contratos. La rivalidad es mediana (0).

Diversidad de competidores: Los competidores son más bien homogéneos y compiten de acuerdo a las mismas condiciones del mercado. La rivalidad es baja (-2).

El promedio de las valoraciones es -0,4, la rivalidad de la industria se estima que es mediana a baja en el límite con mediana.

Poder de los Proveedores

Concentración de los proveedores: los proveedores de la industria de disposición de basura son poco concentrados a nivel total, pero concentrados por zona geográfica. Por esta razón su poder de negociación es mediano (0).

Volumen de los proveedores: el negocio de transformar basura en energía depende de su único insumo principal “basura”. El único proveedor de importancia es el recolector de basura, sin embargo, no es directo del relleno sanitario sino que depende de la municipalidad. Por ello en este sentido el poder es mediano a bajo (-1).

Diferenciación de productos/ costos de cambios: siguiendo la misma línea anterior no hay diferenciación de producto, ni costos de cambio. Por la misma razón del punto anterior el poder es mediano a bajo (-1).

Insumos sustitutos: en este caso no existen insumos sustitutos significativos para la operación. El poder es alto (2).

Amenaza de integración hacia adelante: en este caso los proveedores no tienen incentivos de integrarse hacia adelante, ya que no son una industria cerca a su negocio principal. El poder es bajo (-2).

En promedio, la valoración de esta fuerza es - 0,4. El poder de los proveedores es mediano a bajo, en el límite con mediano.

Poder de los Compradores

Concentración y volumen del comprador: los compradores son reducidos y concentrados, y a su vez generan grandes volúmenes cada uno. Por ello, su poder es alto (2).

Información del comprador: el comprador conocer la industria y puede manejar los precios, por esto su poder es alto (2).

Diferenciación del producto/ costos de cambio: el producto no está diferenciado, sin embargo existe un alto costo de cambio por la falta de proveedores y por los contratos asociados. En este aspecto su poder es mediano (0).

Amenaza de integración hacia atrás: existe una alta amenaza de que las municipalidades se integren hacia atrás. En Chile no ocurre, pero ejemplos en otras partes del mundo ya han ocurrido. Por proyectos de la propia Municipalidad han surgido plantas de tratamiento de basura. Por ello, su poder es alto (2).

Importancia de la calidad del producto: esto no es tan relevante. Si bien el relleno sanitario debe cumplir las normativas, una vez cumplidas el servicio es simple. Poder de los compradores alto (2).

Posición del margen de los compradores: la disposición de la basura es clave para una Municipalidad representando entre el 20% al 30% de su presupuesto. Se estima que el poder en este aspecto es alto (2) debido a que es un gasto importante para el comprador.

En resumen, el poder de los compradores en esta industria es alto, el promedio de 1,67.

Amenaza de Sustitutos

Número de alternativas e igual en precio: no existen muchas alternativas costo-efectivas para esta industria como sustitutos. Podría ser el caso del reciclaje, pero en este momento tiene un costo elevado. También está la posibilidad de incineración de la basura, sin embargo, esto tiene un costo elevado en contaminación y es una práctica casi inexistente en Chile. La amenaza, por lo tanto, es baja (-2).

Costo de cambio: el costo de cambio es alto. Existen contratos asociados. Sin embargo, nada puede detener a las municipalidades a incentivar el reciclaje, y generar menos cantidad de basura. La amenaza es mediana (0).

No hacer nada: no existe la posibilidad de no hacer nada con la basura. Es un problema contingente de todas las municipalidades. La amenaza es baja (-2).

Sensibilidad al precio: las municipalidades son muy sensibles al precio. Actualmente el costo de disponer la basura se cobra al domicilio. Este no depende de cuánta basura se genere, sino que es un costo promedio. Las comunas de mayores ingresos no tienen problemas, sin embargo aquellas donde el ingreso medio de la población es bajo, tienen dificultades para pagar. En este caso, el poder es mediano a alto (1).

En resumen, la valoración es -0,75, la amenaza de los sustitutos es mediana a baja.

Resumen de Porter

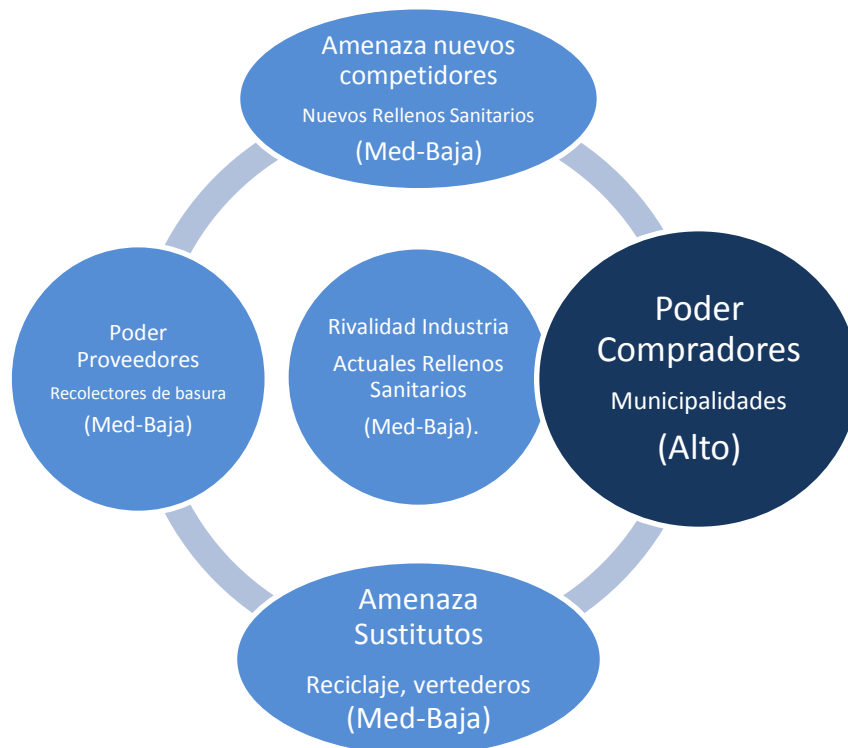


Figura 11: Resumen Porter en industria “Manejo de la Basura Domiciliaria”

En conclusión, según el análisis de Porter la industria tiene un atractivo mediano. Este negocio está en crecimiento pero tiene la desventaja que es difícil entrar debido a los contratos con Municipalidades. Un factor no conversado en este análisis, es que la capacidad de los actuales proveedores debe llegar a un límite para la disposición de basura. En algunas comunas de Santiago, ya se ha comenzado a incentivar el reciclaje debido a los altos costos de disposición. En Europa el costo por generar basura es 5 veces en costo promedio en Chile debido a la falta de terrenos. El poder de los compradores es alto, y este aumentaría si las municipalidades logran asociarse para generar economías de escala y obtener mejores contratos. Muchas de ellas tratan de solucionar sus temas de manera aislada para no perder autonomía y esto las hace perder poder de negociación y de encontrar soluciones más sustentables en el largo plazo. Por otra parte, Los habitantes están cada vez más exigentes y no desean que sus propiedades se desvaloricen, por ello no desean un relleno sanitario al lado. Es por ello que el mayor desafío de esta industria es proponer soluciones que disminuyan el volumen de la basura, ya sea a nivel de generación como de disposición.

3.6.2. Porter en industria “Energías Renovables no Convencionales”

Tal como se discutió en el PESTEL legal, al aparecer la ley 20.257, se creó un nuevo mercado. Las energías renovables no convencionales (ERNc) siempre han existido, sin embargo, el alto costo de generación no hace competitivo la inversión en Investigación y Desarrollo de estas

tecnologías. En esta ley se obliga a las grandes generadoras y a los grandes consumidores a contar con un porcentaje de su generación/ consumo proveniente de ERNC. Este nuevo mercado en Chile tiene la siguiente estructura: como competidores están todas las ERNC desde las pequeñas hidroeléctricas de pasada, como la actividad geotérmica, gasificación, eólica entre otras. Los proveedores de tecnología e insumos dependen principalmente del proceso llevado a cabo. Estos pueden ser desechos, carbón, cal, lodos, entre otros. Los clientes principalmente son aquellos que están regidos por la ley 20.257 (grandes consumidores y grandes generadores). Finalmente, en esta industria se encuentran pocos sustitutos, quizás la generación eléctrica regular es el sustituto, sin embargo, no cumple con la normativa exigida en la Ley.

Amenazas de entrada de Nuevos competidores

Los requerimientos de capital son medianos en esta industria: La inversión realizada por MW en promedio es grande (entre 5 a 12 Millones de dólares). Sin embargo, las inversiones totales comparadas con los grandes proyectos energéticos son muy menores. Por ello, se valora este componente como mediano (0).

Economías de escala: En esta industria existen economías de escala, sin embargo, los niveles de producción son de pequeña escala que varían entre los 0 a 9MW. Por ello las fuerzas de economías de escala no se aprecian significativamente. En este caso, la fuerza es mediana a baja. (-1).

Efecto de las curvas de aprendizaje: Este es un negocio nuevo, en el cual hay muy poca experiencia en Chile. Esto es una oportunidad para quienes deseen entrar como primeros a la industria y obtener aprendizaje en la industria, por ello la amenaza es baja (-2).

Diferenciación de productos: Si bien existen muchas formas de producir la energía, el producto final es el mismo: energía eléctrica. Sin embargo, podrían haber diferenciaciones dependiendo de si el proceso contamina más o menos. Otra distinción es la entrega constante de energía o no, por ejemplo, la energía solar es poco constante dependiendo del día, o temporada, al igual que la energía eólica. La amenaza en este aspecto es mediana (0).

Acceso a canales de distribución: El canal de distribución es el Sistema Interconectado Central, la ley favorece a que cualquier competidor independiente de su tamaño acceda a este canal de distribución. Si bien es de fácil acceso, siempre hay una inversión asociada al canal para poder conectarse. Por estas razones la amenaza es mediana a alta (1).

Legislación: la normativa vigente apoya la entrada de nuevos competidores, la facilita. Por ello, en este aspecto la amenaza es alta (2).

En promedio la valoración es 0, la amenaza de nuevos competidores es mediana en la industria.

Rivalidad en la Industria

Número de competidores: actualmente son muy pocos los actores en la industria, no existe un líder en el mercado. Por ello podemos decir que la rivalidad de la industria es baja (-2).

Crecimiento de mercado: El mercado está creciendo lentamente, si bien, existen muchos incentivos para que se desarrolle más rápidamente, existe mucha incertidumbre de la rentabilidad de los proyectos. En este aspecto, la rivalidad es mediana (0).

Diferenciación de producto y costos de cambio: Como se mencionó anteriormente, la diferenciación del producto final está en la constancia de la entrega de energía, y los niveles de contaminación o bien de intervención del medio ambiente. Hoy los costos de cambio son altos y están asociados a los contratos con los clientes sujetos a la ley, mientras no exista un mercado spot de ERNC seguirán de la misma manera. La rivalidad en este caso es mediana (0).

Sobre capacidad y barrera de salida: Actualmente no existe sobrecapacidad en la industria, y las barreras de salida son altas, debido a los contratos y a los niveles de inversión. Por ello la rivalidad es mediana (0).

Diversidad de competidores: Los competidores en esta industria son pocos, y se desconoce su actuar. Debido a que no sabemos las estrategias de los otros competidores aún diremos que la rivalidad en este aspecto es mediana (0).

En promedio es -0,4, por ello la rivalidad de la industria es mediana a baja, con el límite de mediana.

Poder de los Proveedores

Concentración de los proveedores: los proveedores de tecnologías que provean ERNC son pocos. En general son especializados por tipo de generación. Esto hace que haya poco espacio para negociar. Por ello, el poder en este aspecto es alto (2).

Volumen de los proveedores: Para el proveedor de esta tecnología, este grupo de clientes son importantes, ya que consistiría en la entrada al mercado chileno. El poder es mediano a bajo (-1).

Diferenciación de productos/ costos de cambios: la diferenciación viene dada principalmente por cómo se genera la energía, y la constancia de la energía generada. Sin embargo, una vez decidido el tipo de energía a producir los costos de cambio son altos. El poder es alto en este caso (2).

Amenaza de integración hacia adelante: existe alta probabilidad de integrarse hacia adelante para los proveedores de tecnología. Ellos pueden instalarse con tecnología extranjera y producir su propio negocio. Sin embargo, esto podría tardar un poco por no tener los contactos suficientes. El poder medio a alto (1).

El promedio es 1, el poder de los proveedores es medio alto.

Poder de los Compradores

Concentración y volumen del comprador: los compradores son reducidos y concentrados, y a su vez generan grandes volúmenes cada uno. Por ello, su poder es alto (2).

Información del comprador: el comprador conoce medianamente la industria, desconoce el know how específico de la operación, por esto su poder es mediano (0).

Diferenciación del producto/ costos de cambio: el producto se diferencia en formas de producción y entrega constante de la energía. Por otro lado los costos de cambio son altos. En este aspecto su poder es alto (2).

Amenaza de integración hacia atrás: los clientes tienen grandes incentivos para integrarse hacia atrás, por necesidad y conocimiento del mercado en el caso de las generadoras eléctricas. Por ello, su poder es alto (2).

Posición del margen de los compradores: es una fracción mediana dentro de los otros costos que pueden tener los clientes. Por ello el poder en este caso es mediano (0).

En resumen, el poder de los compradores en esta industria es alto con un promedio de 1,2.

Amenaza de Sustitutos

Número de alternativas e igual en precio: no existen sustitutos en esta industria. La amenaza, por lo tanto, es baja (-2).

Costo de cambio: el costo de cambio es alto. Existen contratos asociados. La amenaza es baja (-2).

No hacer nada: no existe la posibilidad de no hacer nada con la generación de ERNC es una obligación. La amenaza es baja (-2).

Sensibilidad al precio: tanto los consumidores como los generadores de ERNC son sensibles al precio. Actualmente los precios de la energía son altos, y estas formas de generación no son baratas, por ello los clientes tratarán de negociar lo máximo posible. En este caso, el poder es mediano a alto (1).

El promedio de estos factores es -1,25, la amenaza de los sustitutos es baja.

Resumen de Porter

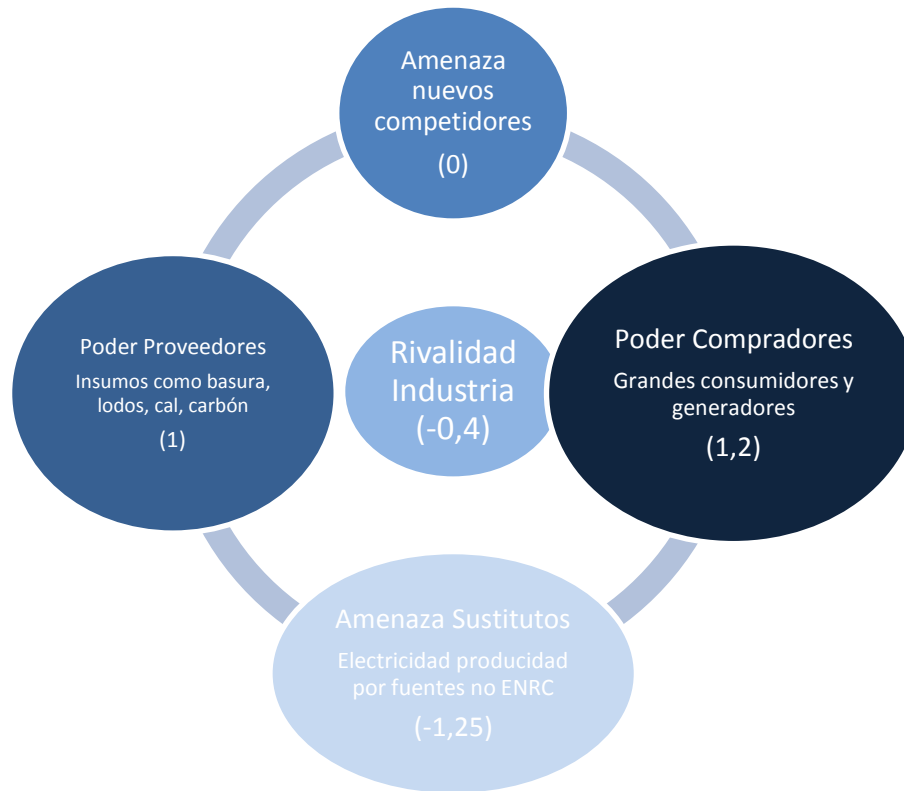


Figura 12: Resumen Porter en industria “Energías Renovables no Convencionales”

En conclusión el atractivo de esta industria es mediano. Si bien la rivalidad en la industria es aún baja, y la amenaza de sustitutos también, el poder de los compradores y proveedores es significativo. Esta es una industria que recién está comenzando a crecer. Aún hay pocos intentos para cubrir las necesidades de las ERNC, y quizás sea necesario aumentar los incentivos para que pequeños generadores puedan unirse a esta industria. Aún se genera espacio para poder generar utilidades, y se cree que los primeros que puedan entrar podrán adquirir el know how suficiente de un mercado que aún es poco conocido en Chile.

4. Modelo de negocios y evaluación económica

4.1. Modelo de negocios

Para poder analizar el modelo de negocios de esta tesis se utilizará la plantilla para generación de modelos CANVAS. Para ello se analiza en forma reiterativa cada uno de los componentes de la plantilla. Las preguntas utilizadas están en el Anexo E.

Se analizará de manera separada el negocio de la Gestión de Residuos y el negocio de la venta de ERNC.

4.1.1. MODELO DE NEGOCIOS: Gestión de residuos verde

Segmentos de clientes: Los clientes de este proyecto son Municipalidades de la Región del Bío-Bío que necesitan un lugar para disponer la basura domiciliaria en rellenos sanitarios. Específicamente aquellas que vean como valor una alternativa que permita revalorizar los residuos, disminuir el espacio, y finalmente evitar la construcción de un nuevo relleno sanitario en el corto plazo.

Propuesta de valor: En el caso de las Municipalidades, el hacerse cargo de la basura soluciona dos necesidades, la primera tiene que ver con la disposición de los residuos, la segunda tiene que ver con la mayor dificultad de construir nuevos rellenos sanitarios, y poder disminuir los futuros proyectos de rellenos sanitarios, ya que al pasar por la gasificación su tamaño se reduce en un 90%. Actualmente en Concepción el valor por disponer una tonelada de basura es de USD 25. Comparativamente con algunos países europeos este monto es muy inferior con los más de USD 140 que pueden llegar a pagar por tonelada. Sin embargo, en Chile aún existen muchas discusiones al respecto de que cada vez es más difícil encontrar lugares apropiados para este fin lo que podrá presionar para que en un futuro los precios se incrementen.

Por lo tanto, la propuesta de valor es ofrecer una solución “verde” a la disposición de residuos en la región del Bio Bio para las Municipalidades.

Canales de Comunicación y Distribución: Los canales de recolección de basura son dos: estaciones de transferencia y relleno sanitario.

Las estaciones de transferencia sirven de punto intermedio para poder facilitar la recolección de basura a las empresas que retiran los residuos de los domicilios. Actualmente se acopia un 90% de la basura en la empresa a través de esta metodología. Sólo un 10% llega directamente al relleno sanitario. Esta seguirá siendo la forma de operación para este proyecto. Sin embargo, se asumirá como un negocio separado para la simplicidad de análisis del proyecto. Esto es debido a que actualmente esta modalidad se cobra de manera separada como un negocio adicional. Nosotros consideramos esta modalidad como estratégica para facilitar y atraer nuevas Municipalidades.

Relación con los clientes: La relación con las Municipalidades son contractuales y a largo plazo. Al momento de invertir en grandes proyectos como los de conversión de basura a energía se espera asegurar el flujo por al menos 25 años.

Se espera poder vender el proyecto como “Gestión Verde de Residuos” a través de acciones de marketing y reuniones con clientes. Actualmente se tiene una buena relación con las Municipalidades, debido a los contratos actuales. Por esta razón, es factible obtener apoyo de Municipalidades interesadas.

Fuentes de Ingresos: Ingreso por disposición de la basura: como se comentaba en la sección de propuesta de valor, el precio actual de la disposición de la basura es de USD25/tonelada para el sector de Concepción. Este valor es aún muy bajo en comparación con países europeos. Teniendo en consideración que cada año existen menos lugares para disponer la basura (dado el cierre de vertederos ilegales), Reinvent estima un crecimiento mínimo del 5% anual de acuerdo a sus contratos actuales.

Existe la posibilidad de ofrecer este producto a un precio “Premium” para aquellos que deseen esta opción como verde, y así poder manejarlo a través de Publicidad positiva para la gestión de la Municipalidad. Se estima que se podría comenzar a cobrar USD 5 por tonelada como apoyo a las ERNC. Se cree que podría ser factible si el alcalde percibe esto como mejora a la imagen de la gestión de la Municipalidad. El precio de esta gestión no puede ser superior a un 20% ya que la elasticidad del precio es alta y no se podría competir con otros rellenos sanitarios.

Recursos claves: El primer recurso clave en este proyecto es la basura domiciliaria proveniente de los sectores aledaños a la localización del relleno sanitario. La inyección de basura debe estar asegurada por 25 años al menos para que el proyecto sea viable. Actualmente es factible esta relación debido a los contratos actuales (200tpa) y al aumento del flujo de basura anualmente (5% en promedio).

El segundo recurso clave es la localización de la planta. Esta debe estar cerca del relleno sanitario y además cerca de la operación actual de recolección de basura. Se estima que así en el modelo no habría costos adicionales por transporte.

El tercer recurso es la tecnología provista por Energos. Dada su experiencia y know how entregarían un paso seguro al éxito del proyecto. Dentro de la tecnología, se mencionan dos procesos fundamentales: el modelo de gasificación de basura, y el control de gases. Esta empresa se caracteriza por tener las plantas con menores emisiones de contaminantes en el mundo, cumpliendo los estándares de la Unión Europea.

Finalmente la operación de la planta debe ser entregada por personal capacitado por Energos. Este personal y la guía de Energos es clave en la eficiencia de operación de la planta

Actividades clave: Contratos con municipalidades para asegurar el flujo de basura y el pago por la disposición de ésta. Como se ha comentado anteriormente, generar una relación al largo plazo a través de un contrato con una o más municipalidades es clave para poner en marcha el proyecto. Como se explicaba en la sección de Relación con cliente, la idea es involucrar a la Municipalidad en el proyecto como Gestión de Residuos Verde, tema que ayudaría al posicionamiento de la gestión de la misma.

Se estima también necesario realizar acciones de lobby, reuniones con actores clave, y estar muy cercano al Ministerio del Medio Ambiente. Actualmente Reinvent está muy bien posicionado a nivel ministerial a través de la empresa Hidronor que maneja residuos peligrosos. Ellos son conocidos como un referente para las normas sanitarias en este aspecto. Por ello, existen contactos y una trayectoria que podrían facilitar las conversaciones sobre el proyecto.

Obtención de permisos ambientales: Antes de comenzar el proyecto este debe tener todos los certificados ambientales que permitan asegurar en el largo plazo la inversión.

Operación del flujo de la producción: Es clave que la planta tenga un factor mayor al 90% para que esté operativa la mayor cantidad de tiempo y así poder proveer la energía que asegurará el mayor flujo de ingresos. La forma de asegurar esto es la operación durante los primeros 5 años a través de Energos hasta que exista personal capacitado en Chile para continuar su operación.

Alianzas clave: Las alianzas claves en este proyecto son:

Proveedor de tecnología que entregarán el know how de operación y tecnología.

Municipalidades asegurarán el flujo y también podrían incentivar el desarrollo y mejora del proyecto debido a los intereses comunes.

Podría existir asociaciones ecológicas a través de las cuáles pedir ayuda. No sabemos a priori si existe actualmente alguna en particular que apoye la gestión de residuos, pero sería interesante para pedir apoyo de la población.

Estructura de costos: Se considerarán sólo los costos adicionales para este proyecto. No se considerará el costo de transporte porque ese servicio es adicional. Los USD 25 +5, son considerando sólo el servicio de disposición de basura. Se asumen costos adicionales cero el transporte asociado desde que llega al relleno sanitario hasta que se dispone en la planta.

Los costos de operación de la planta se señalan en el siguiente modelo de negocios.

4.1.2. MODELO DE NEGOCIOS: ERNC menores a 9MW

Segmentos de clientes: Definimos a nuestro cliente como el CDEC del SIC (Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central).

Para poder definir con claridad el tipo de cliente a abordar debemos analizar primero el estado de la Ley 20.257. Esta norma exige una cuota de energías renovables a las empresas generadoras que superen los 200MW deben cumplir una cuota de 5% en ERNC hasta el 2014, y desde el 2015 irán subiendo un 0,5% anual hasta llegar a un 10% en el 2024. Los consumidores superiores a 200MW deben cumplir una cuota del 10% de consumo proveniente de ERNC. Si no se cumple esta obligación la multa es de 0,4UTM, aproximadamente 34 dólares, por cada MWh no producido de ERNC no acreditado. Si el precio de nudo promedio en Concepción es de USD100, entonces se incrementaría en un 34% el valor pagado por la electricidad.

Si por ejemplo, se toma un generador de 200MW, con un promedio anual de generación de 12 horas, equivaldría a 876.000MWh, lo que significaría una multa anual de USD 3MM. Ahora si por dos años consecutivos no se cumple con la cuota, la multa sube a 0,6 UTM por MWh no acreditado de ERNC. En el ejemplo serían, USD 4,5MM el monto anual asociado a la multa.

La proyección de demanda del mercado de las ERNC según la Universidad Católica es la que se observa en la siguiente tabla:

Año	% ERNC	Demanda ³ (GWh)	Mercado ERNC (GWh)	Mercado ERNC (MW inst.)
2010	5 %	25692,68	1284,63	325,88
2011	5 %	29454,24	1472,71	373,60
2012	5 %	33441,50	1672,07	424,17
2013	5 %	37667,99	1883,40	477,78
2014	5 %	42148,07	2107,40	534,60
2015	5,5 %	46896,95	2579,33	654,32
2016	6 %	51930,77	3115,85	790,42
2017	6,5 %	57266,61	3722,33	944,27
2018	7 %	62922,61	4404,58	1117,35
2019	7,5 %	68917,97	5168,85	1311,22
2020	8 %	75273,05	6021,84	1527,61
2021	8,5 %	82009,43	6970,80	1768,34
2022	9 %	89150,00	8023,50	2035,39
2023	9,5 %	96718,99	9188,30	2330,87
2024	10 %	104742,13	10474,21	2657,08

Tabla 2: Estimación de demanda de ERNC. Universidad Católica.

Como se puede observar se hace la proporción, se calcula el mercado en energía eléctrica y luego se calcula un factor de planta de 0,45 para poder calcular el Mercado de ERNC en potencia instalada.

Con la información disponible del CDEC-SIC tenemos la siguiente distribución de potencia instalada.

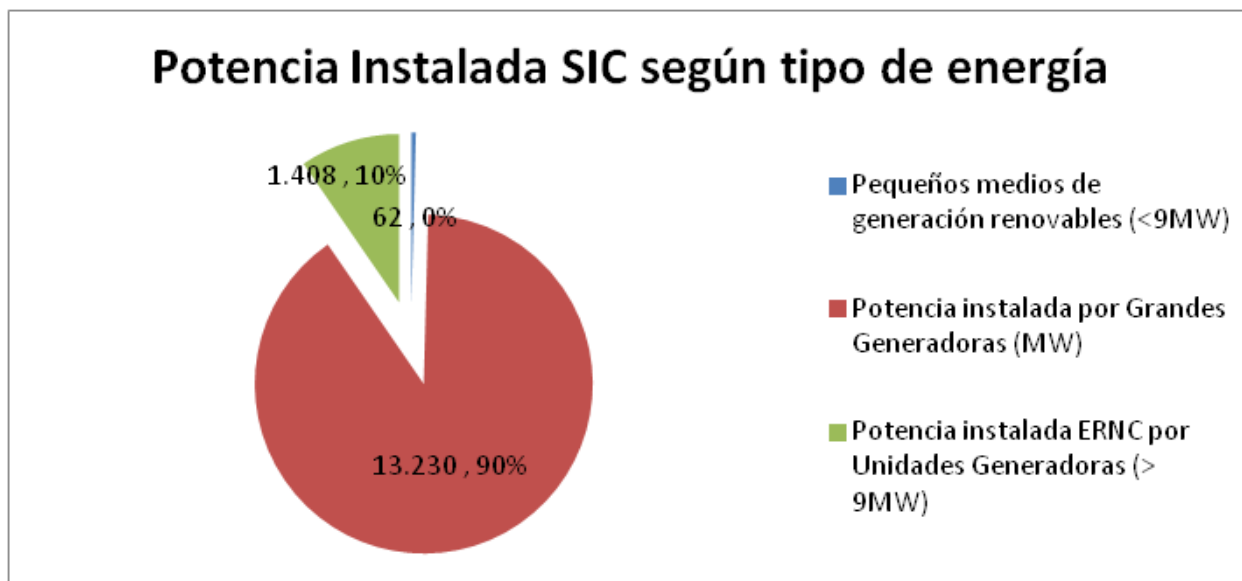


Figura 13: Potencia Instalada SIC según tipo de energía. CDEC SIC.

Como podemos observar en este gráfico la potencia instalada supera el 5% requerido según ley. Y si analizamos la estimación de la demanda de energía renovable ya estaría satisfecha hasta el año 2019.

Este análisis nos lleva a la conclusión que podríamos vender la energía a un gran generador, sin embargo, no sería tan atractivo ya que ellos ya tienen de donde cumplir la ley actualmente.

Según del decreto 244, “Los propietarios u operadores de los medios de generación de ERNC tendrán derecho a vender la energía que evacuen al sistema al costo marginal instantáneo, así como sus excedentes de potencia al precio de nudo de la potencia, debiendo participar en las transferencias de energía y potencia establecidas en la Ley.”

En otras palabras, al acogernos a la ley 244 un pequeño generador está habilitado de vender toda su capacidad productiva al precio de nudo. Por esta razón, nuestro cliente es el CDEC del SIC, a quien informaremos con 30 días de información la cantidad de energía a vender.

Se podría competir en el mercado SPOT que tiene la ventaja de tener momentos peak que rentabilizarían la inversión, sin embargo, la variabilidad del precio impide asegurar inversiones basado en esto al largo plazo. Por ahora este mercado es atractivo ya que hay una sobre oferta. Sin embargo, se estima que en 4 años entrará mucha energía térmica a carbón, lo que hará que el precio baje menos del precio de nudo. Independiente de elegir uno u otra modalidad, el cliente sigue siendo el CDEC.

Propuesta de valor: La propuesta de valor para nuestro cliente es contribuir a diversificar la matriz energética ayudando a disminuir la escasez energética a través de Energías Renovables no Convencionales.

Canales de Comunicación y Distribución: Para nuestros clientes el canal de distribución es el SIC (Sistema Interconectado Central). A través de este canal se puede acceder a todos los consumidores que estén conectados aún no estando en la misma zona geográfica. Esto se permite desde que existe la Ley Corta I, que incentiva principalmente a los pequeños generadores. Por esta misma ley, para los pequeños generadores (menores a 9MW) no existen costos de peaje de transmisión.

Relación con los clientes: La relación con mi cliente es transaccional. Se basa en la ley, y como generador pequeño y de ERNC tengo derecho a conectarme y vender toda la energía producida.

Fuentes de Ingresos: Ingreso por Generación Eléctrica: para calcular este monto es necesario hablar del precio a cobrar. Como se mencionó en la sección de Segmentos de Clientes existe una ley que ampara a los pequeños generadores a que toda la energía que produzcan sea vendida a

precio de costo marginal o bien a precio SPOT. Sin embargo, se obliga a los pequeños generadores a definir una tarifa por 04 años. Esto significa, que deben definir si vender a precio SPOT o a precio de nudo.

El precio de nudo ha tenido un incremento la última década de USD 7,5 por MWh generado. Este ha sido un incremento constante que ha podido marcar una tendencia en la alza de los precios de la electricidad. Por otra parte, el precio SPOT si bien ha tenido una tendencia al alza los últimos años se estima que según las proyecciones de entradas de nuevas generadoras térmicas a carbón, el precio SPOT en 4 años disminuirá más allá del precio de nudo. Por esta razón y además por la alta variabilidad del precio SPOT, se prefiere en este proyecto tomar como referencia el precio de nudo para realizar el análisis.

Ingreso por Potencia Instalada: el ingreso por potencia instalada es un valor estándar pagado a todos los generadores. Este depende de la ubicación del generador y su nivel de potencia máxima. Para Concepción este valor asciende a 5.943 \$/KW/mes, lo que equivale a un ingreso de USD148.575 por MW instalado al año. Se hizo un análisis del precio histórico de la última década y este precio aumentó en USD5.400 por MW instalado. Se utilizará este monto para analizar las variaciones al futuro.

Recursos claves: El primer recurso clave en este proyecto es la basura domiciliaria proveniente de los sectores aledaños a la localización del relleno sanitario. La inyección de basura debe estar asegurada por 25 años al menos para que el proyecto sea viable. Actualmente es factible esta relación debido a los contratos actuales (200tpa) y al aumento del flujo de basura anualmente (5% en promedio).

El segundo recurso clave es la tecnología comprada. Esta tecnología será importada desde Inglaterra, empresa Energos (www.energos.com).

El tercer recurso clave es la localización de la planta. Esta debe estar cerca del relleno sanitario y además cerca de la operación actual de recolección de basura. Se estima que así en el modelo no habría costos adicionales por transporte.

El cuarto recurso clave es el know how de Energos para la operación de la planta, ellos operarán en Chile la planta hasta que se estabilice y se haya capacitado personal suficiente.

El quinto recurso clave es la máquina de pre-tratamiento de la basura. Esta máquina procesa la basura y la deja en un tamaño adecuado para ser procesada por la planta de Energos.

Actividades clave: Contratos con municipalidades para asegurar el flujo de basura y el pago por la disposición de ésta. Como se ha comentado anteriormente, generar una relación al largo plazo a través de un contrato con una o más municipalidades es clave para poner en marcha el proyecto. Conexión al SIC: es fundamental poner en marcha el proyecto y tener todas las conexiones y flujos operativos hechos para ser reconocidos por el CDEC.

Obtención de permisos ambientales. Antes de comenzar el proyecto este debe tener todos los certificados ambientales que permitan asegurar en el largo plazo la inversión.

Operación del flujo de la producción. Es clave que la planta tenga un factor mayor al 90% para que esté operativa la mayor cantidad de tiempo y así poder proveer la energía que asegurará el mayor flujo de ingresos.

Alianzas clave: Las alianzas claves en este proyecto es el Proveedor de tecnología que entregarán el know how de operación y tecnología.

Estructura de costos: Para el funcionamiento de la planta de tratamiento los costos son los siguientes:

Insumos	Cantidad		Precio	
Cal	20	Kg/ton	0,21	USD/ton
Carbón	0,7	Kg/ton	88,55	USD/ton
Electricidad	6.582	MWh	115	USD/MWh
Mantenimiento			17,92	USD/ton

Tabla 3: Costos operacionales Planta de Gasificación.

Como se observa en el gráfico, los costos por electricidad son más de un 50%. Estos costos son compensados con la generación propia de la planta.

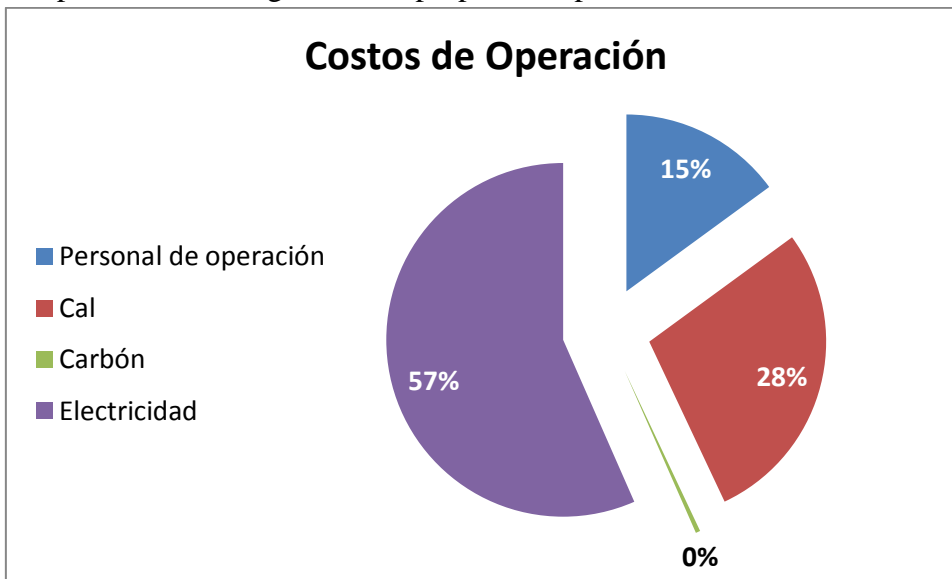


Figura 14: Costos de operación en porcentaje.

La inversión inicial es lo más importante en este proyecto. Son aproximadamente USD11 MM por cada MW instalado. Comparativamente con otros proyectos de ERNC esta inversión es alta, sin embargo, se soluciona un problema que es el manejo de la basura domiciliaria asegurando estándares de emisiones más bajos que los impuestos por la OCDE. Toda la operación es crítica, pero es un costo muchísimo más bajo en relación a la inversión inicial.

Resumen Modelo de Negocios

En la siguiente tabla se resumen ambos modelos de negocios:

Alianzas Claves Municipalidades Proveedor de la tecnología.	Actividades Claves - Asegurar el suministro de desechos - Asegurar la venta de energía - Permisos ambientales - Eficiente operación de la planta	Propuesta de Valor - Municipalidades: ofrecer una Gestión Verde de Residuos - Disminuir la escasez energética del país, diversificando la matriz.	Relación con clientes - Municipalidades: relaciones a largo plazo, contratos > a 25 años. Marketing de iniciativa en conjunto - Transaccional basada en la ley.	Segmentos de clientes - Municipalidades de la Región del Bío Bío interesadas en participar de una gestión verde de residuos. - CDEC SIC (Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central)
	Recursos claves - Basura - Tecnología - Localización de la planta		Canales Basura a través de estaciones de transferencia y camiones. Energía eléctrica a través del SIC.	
Estructura de Costos Sin costos asignados al transporte de la basura al lugar. Costos de Operación: electricidad 36%, cal 24%, personal 13%, partiendo con USD1,6MM al año. Inversión Inicial: USD11 MM/ MW instalado.		Fuente de Ingresos - Ingreso por disposición de la basura. (USD30/ton) - Ingreso por generación eléctrica (USD100/MWh en un 80%, USD170/MWh en un 20% crecimiento 7,5MWh anual) - Ingreso por potencia instalada (USD148.575 MW anual, crecimiento 5.400MW anual)		

Tabla 4: Resumen Modelo de Negocios.

4.2. Plan de operaciones

4.2.1. Flujo de operaciones

Llega la basura desde la estación de transferencia en un camión. Luego es dispuesta para su pre-proceso. En esta máquina se mezcla la basura de tal forma que queda un combustible homogéneo en un tamaño adecuado para el procesamiento de la planta. Luego entra al proceso de producción

a 2 líneas de gasificación. Luego del proceso esta máquina calienta el agua que alimentará la turbina eléctrica. Esta turbina se conectará al Sistema Interconectado Central.

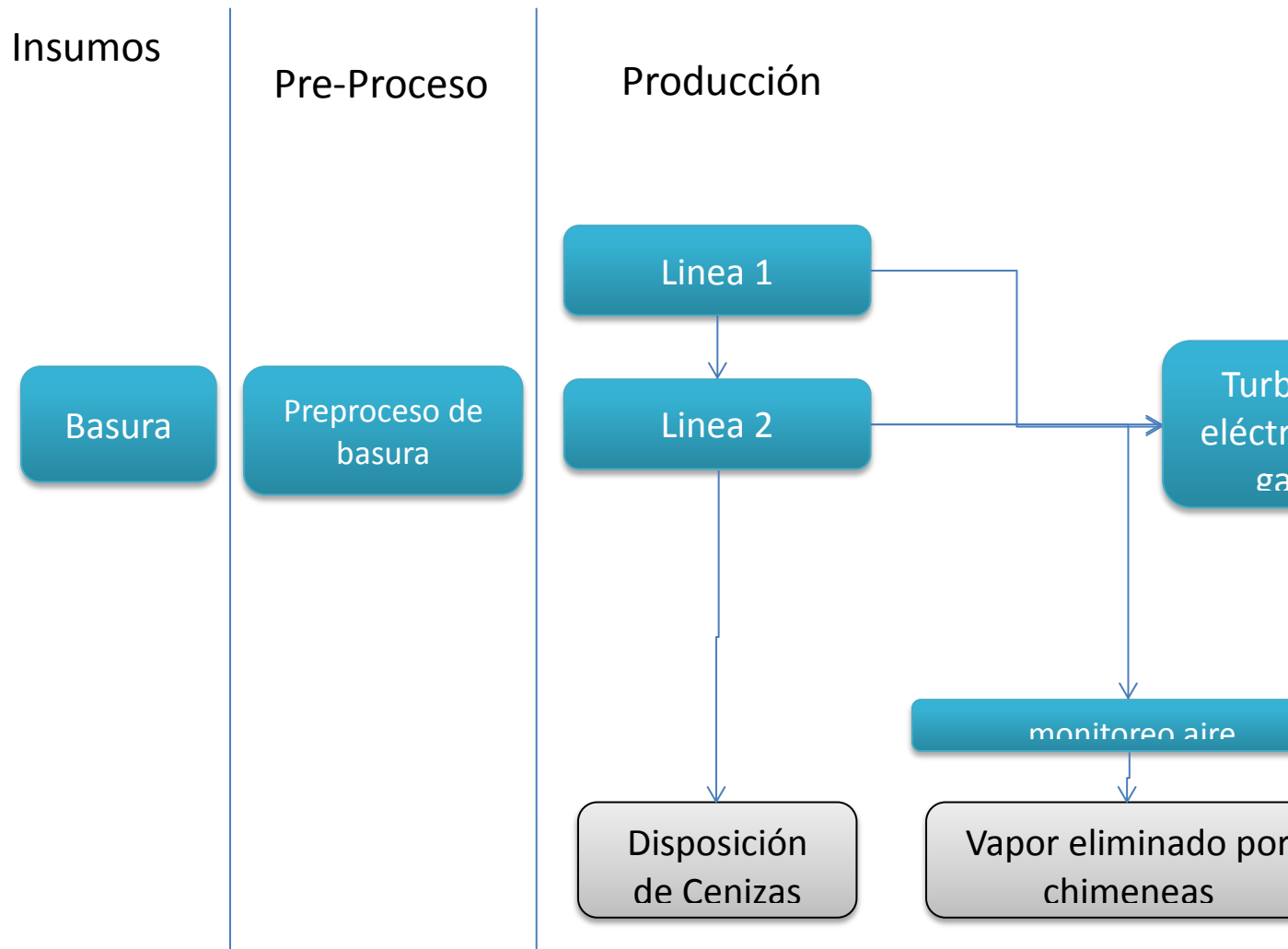


Figura 15: Modelo de operación Planta de Gasificación. Energos.

A nivel de desechos aparece la disposición de cenizas, que corresponde a aproximadamente un 10% del volumen inicial de la basura. Estas son retiradas por camiones y depositadas inmediatamente al relleno sanitario en el mismo lugar.

El vapor que es eliminado por las chimeneas pasa por un proceso de limpieza y control de aire que elimina las toxinas. Los límites son menores a los parámetros impuestos por la OCDE. (Ver Anexo con detalle toxinas)

4.2.2. Plan de producción y adquisiciones

La potencia eléctrica instalada de la planta es de 8.3MW. Asumiendo una operación del 90% del año, tenemos una producción estimada de 65.437MW/h al año.

La capacidad nominal de combustible es de 90 toneladas/año, se asume que el poder calorífico del combustible logrará estar dentro de los rangos aceptados de 11,3 KJ/ton. La máquina de pre-proceso puede procesar hasta 150.000 toneladas al año, es un 75% más rápida que el procesamiento de basura, por ello, según la experiencia de Energos no se encuentran cuellos de botella en esta parte.

Los insumos pueden ser apreciados en la tabla 3, de la sección anterior.

De acuerdo a esta tabla, se estima un capital de trabajo de 3 meses de operación comenzando aproximadamente con USD 740.000.

4.2.3. Infraestructura física

La planta necesita un área de 2.400m², con un edificio construido de 25 metros de altura. El área total necesitada como mínimo es de 9.000m² para generar toda la operación sugerida.

Copiulemu tiene un área disponible mayor a la señalada de 1 hectáreas que podría destinarse potencialmente a la instalación de la planta. En la siguiente imagen se adjunta una vista aérea del lugar.



Figura 16: Vista aérea de Copiulemu y áreas disponibles.

La construcción de la planta consiste en tres secciones principales, un hall de apilamiento de basura (combustible), un hall para el hervidor, y la sección donde están los paneles de control tanto técnicos como de personal.

La planta consistiría en los siguientes módulos:

- Máquina automática de preclasificación
- Zona de apilamiento de basura y transporte
- Conversión termal: Unidad de gasificación y Unidad de Oxidación a Alta temperatura.
- Recuperador de calor a través del vapor
- Turbina de vapor y condensador de aire frío.
- Sistema de limpieza del gas.
- Sistema de control y monitoreo.

4.2.4. Personal de operación

A nivel de recursos humanos se necesitan 2 personas para operar la etapa de pre-proceso, 6 personas para la planta y 1 supervisor. El nivel de capacitación es operario – técnico.

Los costos e inversión asociados a RRHH son:

	Pesos	USD
Sueldo Bruto Personal Técnico	\$ 800.000	\$ 1.667
Sueldo Bruto Supervisor	\$ 1.600.000	\$ 3.333
Inversión selección	\$ 1.800.000	\$ 3.750
Inversión capacitación	\$ 9.000.000	\$ 18.750

Tabla 5: Detalle de costos de Recursos Humanos.

La capacitación será entregada por Energos quien será el responsable de supervisar la operación.

4.2.5. Controles a realizar

El control de la operación será realizado de manera automática por un sistema de monitoreo automatizado.

Para que funcione la basura pre-tratada tiene que contener las siguientes especificaciones:

Component	Unit	Value
Net calorific value	[MJ/kg]	8 - 18
Moisture content	[weight % (wet)]	< 60
Ash content	[weight % (dry)]	6 – 20
Nitrogen content	[weight % (dry)]	< 1.0
Sulphur content	[weight % (dry)]	< 0.4
Chlorine content	[weight % (dry)]	< 1.0
Fluoride content	[weight % (dry)]	< 0.01

Tabla 6: Composición de la basura a tratar.

4.3. Modelo de Globalización e Internacionalización

El primer componente de globalización de esta tesis es la inclusión de Chile a la OCDE que implica el aumento de los estándares ambientales del país. Respecto del marco de este análisis, el pertenecer a este grupo significa trabajar en mejoras de las instituciones y procesos relacionados con Gestión de sus Residuos; diversificación de la matriz energética con aumento en las fuentes de ERNC; y reducción de los contaminantes específicos emitidos por los procesos industriales. Es por ello que el país debe generar leyes, instituciones, incentivar inversiones, y atraer

tecnología que permita lograr desafíos en esta materia en el mediano plazo. Mucho de este conocimiento no existe dentro de las fronteras nacionales y por ello se deben buscar soluciones y asesorías en otros países que hayan enfrentado problemas similares.

Tal como se mencionó en el punto anterior, la tecnología proviene del extranjero. En otros lugares del mundo se han visto presionados por la necesidad de encontrar soluciones debido a falta de espacio, a grandes niveles de contaminación por industrialización, o a necesidades energéticas. Es así, como la mayoría de los desarrollos relacionados a las ERNC viene de Estados Unidos, Europa o Japón. En algunos casos, si bien, se soluciona el problema del espacio y se revaloriza a través de energía, no se cumple con las normativas ambientales de la OCDE. No solamente se puede traer tecnología, sino que también experiencia de implementación y operación, fundamentales a la hora de implementar un nuevo sistema. Es por esta razón que ésta es la segunda componente de globalización.

Finalmente, analizamos una tercera componente que es la posible venta de bonos de carbono del Protocolo de Kyoto. Dentro de este marco existen dos posibilidades de emitir bonos: certificar bonos de carbono en un mercado regulado en el Ministerio del Medio Ambiente o a través del mercado voluntario. La primera forma funciona para aquellos procesos certificados antes del 2012, por lo que para los plazos de esta tesis no fue oportuno. La segunda depende del mercado de venta de bonos voluntario que promete ser un mercado emergente para aquellas entidades que quisieran tener una estrategia más verde de gestión ambiental. Sin embargo, después de la crisis del 2008 este mercado ha ido en declive ya que el principal suscriptor, Europa, ya no sigue emitiendo contaminantes debido a la baja de producción de crisis. Por otra parte, en la reanudación del protocolo de Kyoto el año 2012, no participan del acuerdo Japón, Canadá y Rusia. Debido a la alta incertidumbre de este mercado no se investigó más allá para considerarlo en el análisis económico.

Modelo de Internacionalización

La empresa que provee de la tecnología de esta tesis es Energos UK, parte del grupo ENER-G, y son especialistas en tecnología de gasificación. Ellos son líderes en el diseño y operación de plantas Waste to Energy. Su tecnología es la más probada en el mundo y además la menos contaminante, cumpliendo más allá de los estándares de la OCDE. Tienen 8 plantas que operan desde el año 2010. Tienen un resultado sobresaliente a nivel de emisiones, según las obligaciones de la Unión Europea.

Existían tres posibilidades de traer esta tecnología: presencia de la empresa en Chile, “*Joint Venture*”, e importación directa. La primera y la segunda opción no fueron una opción al momento del contacto principalmente debido a que el foco estratégico de ellos en este momento, era la penetración de mercados más maduros como Inglaterra, y el resto de Europa. Si bien, Chile se mostraba como atractivo en términos de confiabilidad, los precios de la disposición de basura no alcanzaban los niveles de Europa, pero los de la electricidad sí. Por esto, la empresa no mostró más interés en seguir las conversaciones, sí en proveer la tecnología, y el servicio de operación.

Por parte de Reinvent, tampoco se mostró gran interés en hacer una alianza con una empresa extranjera, ellos tienen la visión de adquirir el know how de un mercado potencial en Chile y aprovechar las instalaciones del relleno sanitario de Copiulemu.

Por esta razón se cotizó la importación de la tecnología, puesta en marcha y operación con la empresa. Este proyecto utilizará terreno actualmente disponible no asignado a otro proyecto y la cercanía al mismo relleno sanitario. También será de utilidad la relación comercial que mantiene la empresa actualmente con las Municipalidades del sector.

La tecnología es propiedad intelectual de Energos, sin embargo, la construcción gruesa debe realizarse en Chile a través de una constructora local, al igual que las conexiones a la red.

4.4. Evaluación Económica

Tasa de descuento: Reinvent es un fondo de inversiones que busca oportunidades de alto rendimiento, aportando su know how en la empresa, dando valor y luego vendiendo las operaciones. Estos inversionistas son de mediano riesgo, buscando oportunidades ya implementadas en otras partes del mundo. Ellos exigen en sus inversiones una rentabilidad del 25%. Este monto es la base para poder comenzar a invertir. Esta cifra no tiene un fundamento más que lo que estos inversionistas están dispuestos a arriesgar en proyectos de esta naturaleza.

Periodo de Inversión: Se evaluará el proyecto con un horizonte de 25 años. Tiempo en el cual la máquina está en operación.

Tiempo de construcción: Para dejar habilitado el sistema, se deben considerar dos años desde la primera inversión.

Inversiones: Las inversiones se describen en la siguiente tabla:

Inversiones	Monto USD MM
Inversión en planta y preclasificación	\$ 76,0
Obras civiles	\$ 9,7
Conexión a la red y facilidades	\$ 1,6
Inversión en camiones (cada 5 años)	\$ 0,2
Inversión selección y capacitación	\$ 0,02
Total Inversión	\$ 87,50

Tabla 7: Detalle de Inversiones.

Como se puede apreciar el monto más significativo es la planta de procesamiento de basura. Las otras inversiones son menores. Se consideran camiones para trasladar pequeños tramos de flujo de basura desde la entrada a Copiulemu hasta donde se instale la planta. Adicionalmente se debe dejar el desecho de las cenizas en el relleno. Se estimó que para ello se tendrá dos camiones cada 5 años. Otras inversiones más pequeñas son la inversión en selección y capacitación entregada por Energos.

Flujo de ventas: De acuerdo a los tipos de ingresos que se recibirán existen dos flujos posibles:

1. Flujo por Disposición de basura: el contrato que se manejará es a través de mes vencido. Es decir, se recibe una cantidad de basura al mes. Luego se factura y finalmente la Municipalidad para con plazo máximo de 1 mes desde la emisión de la factura. Esto da una demora aproximada de 2,5 meses desde que se genera el servicio.

- Flujo por Venta de Energía y Potencia Instalada: con 1 mes de anticipación se debe indicar al CDEC la cantidad de energía a producir y la potencia instalada de la planta. El CDEC para facilitar el flujo de efectivo de los pequeños generadores pagan con 1 mes de desfase. Por lo tanto, el tiempo de ingreso de efectivo por ventas de energía es aproximadamente 0.

Por simplicidad del modelo se considera que los flujos se comienzan a recibir todos al tercer año, tomando el año completo.

Capital de trabajo: se considerará un capital de trabajo de un trimestre. La razón de esto es que se espera contar con un stock de materias primas de 3 meses, con pagos a 30 días. Al estimar un capital de trabajo trimestral se asegura la disponibilidad tanto por el lado de las ventas como por el pago a proveedores.

Se comenzará con USD 740.000 el primer año y se irá aumentando en una razón de USD 10.000 por año.

Otros supuestos:

Ítem	Valor	
Potencia instalada	8,3	MW
Dólar	480	USD
Máximo tonelaje de procesamiento	80	ton
Precio Nudo Pesos (MWh)	55.609	pesos
Precio Nudo (MWh)	115,9	USD
Eficiencia	90%	
Precio Concepción Potencia Instalada (PI)	5943	\$/KW/mes
Precio PI	148.575	USD/MW
Aumento Precio Nudo Anual (MWh)	7,5	USD/MWh
Aumento Precio PI Anual (MW)	5.400	USD/MW
Precio disposición Basura	25	USD/ton
Aumento anual disposición Basura	5%	
Energía nominal producida annual	72.708	MWh
Energía real producida annual	65.437	MWh

Tabla 8: Otros supuestos flujo de caja.

Se estimó que un 90% del tiempo la planta estará operativa, esta estimación se hizo en base a otros ejemplos en Europa que tiene la empresa el día de hoy.

Los costos de mantención y operación de la planta fueron estimados también por información entregada por Energós. La vida útil de la planta es al menos 25 años. Los impuestos a las empresas son un 20% y la tasa requerida por los inversionistas es un 25%.

Valor residual de la planta: dado el periodo de evaluación del proyecto de 25 años, el valor residual de la planta se estima en cero. No tendrá gran significancia estimar un valor debido a que a esa fecha el valor del dinero tiende a cero.

El resultado de flujo de caja se puede observar en el Anexo F. El VAN del proyecto es negativo, asciende a un monto de: USD -64 millones. Para el cálculo de la TIR se realiza el siguiente gráfico:

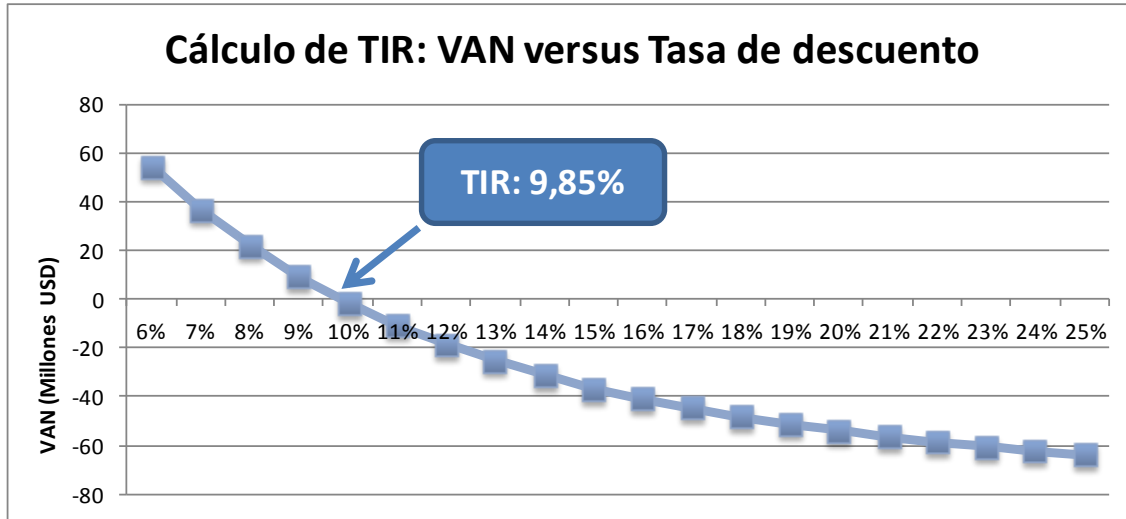


Figura 17: Cálculo de TIR: VAN versus Tasa de descuento.

Como se puede observar en este gráfico, el punto de equilibrio se obtiene en el 9,85%. Esta vendría a ser la TIR del proyecto.

4.4.1. Financiamiento

Reinvent es un fondo de inversión que busca proyectos de mediano riesgo para invertir. Ellos disponen del capital o bien buscan los inversionistas necesarios. Cuando los proyectos no son rentables por sus propios fondos, buscan apalancamiento del orden del 30%. La razón de este número tiene que ver más con razones de agencia. Estos inversionistas limitan los montos de deuda para no traspasar el control del proyecto a los Bancos, ni para que impongan sus condiciones.

En este escenario se estimará el WACC del proyecto. El costo del patrimonio se asume es un 25%, ya que es la tasa requerida por los inversionistas en proyectos de similar riesgo. La tasa asumida de costo de deuda es un 6% anual. Esta información se estima con tasas obtenidas para otros proyectos del fondo de inversión.

$$WACC = \frac{E}{V} * Re + \frac{D}{V} * Rd * (1 - Tc)$$

Re: costo del patrimonio: 25%

Rd: costo de la deuda: 6%

E/V: porcentaje del financiamiento a través de patrimonio propio: 70%

D/V: porcentaje del financiamiento a través de deuda: 30%

Tc: Tasa de impuestos a empresas: 20%

WACC: $70\% \times 25\% + 30\% \times 6\% \times (1 - 20\%) = 18,9\%$

Ahora el nuevo flujo de caja se puede observar en el anexo G. El nuevo VAN del proyecto es -51 millones de dólares. Como se puede apreciar el proyecto sigue no siendo rentable aún incluyendo el factor de apalancamiento. Como se analizó anteriormente la tasa de descuento debe rondar el 9,85% para que en la condiciones actuales sea rentable.

4.4.2. Análisis de sensibilidad

En esta sección se analizará qué factor es más determinante en la alteración del resultado final, con el fin de evaluar la robustez del modelo.

Se analizará de manera independiente cada uno de los factores tales como: precio de la energía, precio de la disposición de basura, tasa de descuento, costo de mantención, precio de cal, inversión inicial.

Tal como se puede apreciar en el gráfico de abajo se varió porcentualmente en la misma cantidad los factores de impacto en el flujo de caja.

Se puede ver que el factor que más influye porcentualmente es la inversión inicial, superando los 0,8 millones de dólares por punto de variación. Esto tiene lógica al ser este un proyecto intensivo en capital.

Todos los factores analizados tienen una variación constante en un valor predefinido, con excepción de la tasa de descuento que varía como una curva. Esto tiene lógica al ser la tasa de descuento parte de un polinomio, es razonable que tenga este impacto.

El precio de la energía es la tercera variable más importante en el proyecto. Sin embargo, es mucho menor que la inversión, variando 0,14 millones de dólares en el resultado del proyecto.

Es interesante ver que los valores que menos impactan tienen que ver con la operación y la mantención. Esto ocurre debido a que el proyecto es intensivo en capital inicial, y relativamente bajo en costos de operación.

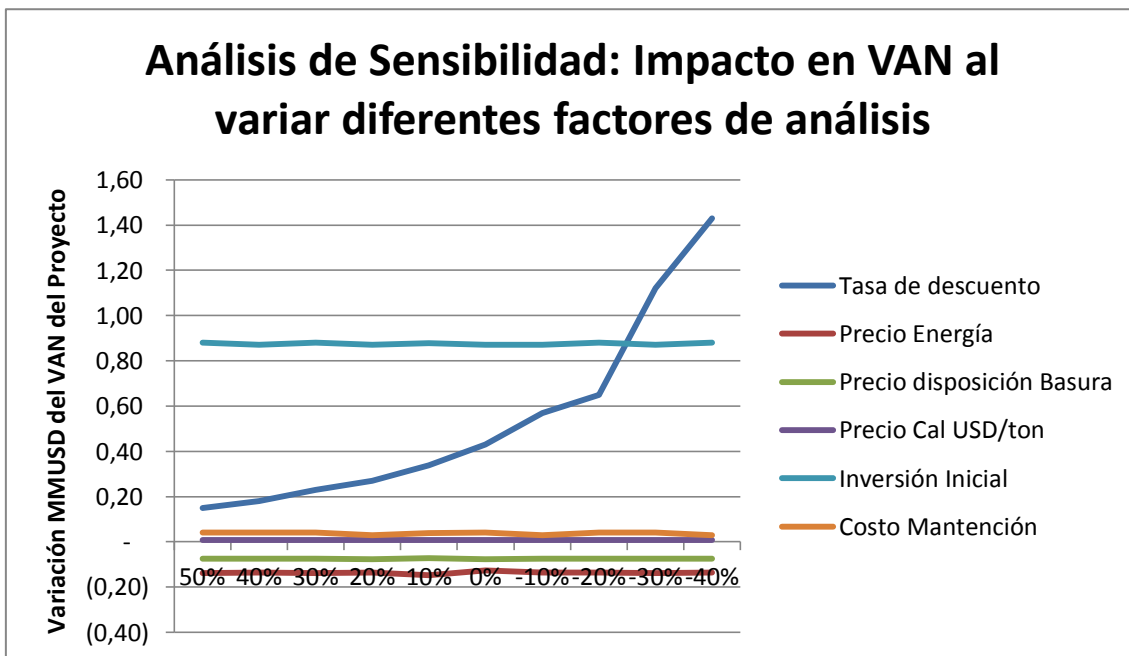


Figura 18: Análisis de Sensibilidad: Impacto en VAN al variar diferentes factores de análisis.

Al realizar este análisis de sensibilidad no se observó en ninguno de los casos un VAN positivo, lo que significa que este proyecto no será rentable hasta que muchas de las condiciones del mercado varíen significativamente, o bien se reduzca la tasa de descuento a montos cercanos al 10%.

5. Resultados y Conclusiones

Las principales conclusiones de esta tesis realizada junto con Reinvent:

- La solución más probada tecnológicamente en el mundo y favorable con el medio ambiente para tratar basura municipal a energía es la gasificación.
- Dentro de las empresas dedicadas a este rubro es Energos, la empresa con más prestigio y experiencia en esta tecnología en específico.
- Sin embargo, dada las exigencias del proyecto, la tasa de descuento es demasiado alta para que el proyecto sea rentable en las condiciones actuales. Para una tasa del 25% se obtiene una pérdida de 64,01 millones de dólares, y una TIR del 9,85%.
- Analizando el caso de apalancamiento y al bajar la tasa a través del cálculo del WACC se observa que el proyecto no parece rentable en estas condiciones. Para una tasa del 18,9% se obtiene una pérdida de 51 millones de dólares y una TIR del 10%.
- Al variar los distintos factores del modelo de evaluación, se nota que es la inversión inicial y la tasa de descuento los que tienen mayores impactos en el resultado final.
- Al haber hecho este análisis se concluye que el precio actual de la disposición de basuras en rellenos sanitarios es demasiado baja en comparación con los estándares europeos. Si

bien, los precios de la energía son tan altos como en Europa, no hay escasez de terrenos en Chile, especialmente en regiones. El proyecto comienza a ser interesante cuando los precios rondan los USD 100/ton.

- Si el proyecto señalara una rentabilidad, existen muchos pasos previos para evaluar la factibilidad, tal como es un estudio detallado de la composición de los residuos domiciliarios en la región a evaluar.
- Debido a las condiciones actuales de la ley ERNC, no genera un real beneficio a las empresas con nuevos proyectos debido a que la cuota es muy baja. La propuesta de subir el rango a un 20% para el año 2020, generaría un real incentivo para invertir en nuevas tecnologías. Esta propuesta se encuentra en aprobación del Senado. Este escenario mejoraría las posibilidades de aumentar el precio a las generadoras que estarían dispuestas a pagar un extra por el precio de la energía.
- El proyecto en Concepción tal como fue evaluado no tiene posibilidades de éxito. Sin embargo, la situación en el sector oriente de la Región Metropolitana es diferente. Los precios por disposición son mucho más altos, las Municipalidades tienen recursos para pagar un sobre precio por la disposición. Por ello, es interesante en un futuro evaluar el proyecto en un lugar diferente con mayores probabilidades de rentabilidad.
- Los factores de éxito del proyecto en otros lugares del mundo son los altos precios de la disposición, energía y también subsidios gubernamentales. Por ello, se estima complejo que estos tipos de proyectos puedan ser rentable en Chile, sin recibir un subsidio en la inversión inicial.

6. Bibliografía

1. Ministerio de Energía del Gobierno de Chile. *Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos a futuro*. 2011.
2. Comisión Nacional del Medio Ambiente. *Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile*. 2010.
3. Comisión Nacional del Medio Ambiente, *Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. 2005.
4. Estevez, Paula. *Waste-To- Energy as a key component of integrated solid waste management for Santiago, Chile: a cost-benefit analysis*. s.l. : Columbia University, 2006.
5. International Energy Agency. *Key World Energy Statistics*. 2009.
6. Ministerio de Energía del Gobierno de Chile. *Balance Nacional de Energía 2008*. 2009.
7. Organization for Economic Cooperation and Development. *Environmental Performance Review - Chile* . 2005.
8. Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile. *OCDE Evaluación de Desempeño Ambiental Chile 2005, Evaluación de Medio Termino 2011*. 2011.
9. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. *Decreto Supremo N° 244*. 2005 .
10. Alexander Pigneur, Osterwalder Yves. *Business Model Generation*. Hoboken, New Jersey. : John Wiley & Sons, Inc., 2010.
11. Comisión Nacional de Energía. *Decreto de Precios de Nudo Promedio N° 82 de 2012*. s.l. : Diario Oficial de la República de Chile, 27 de Septiembre de 2012.
12. Carrasco, Nicolás. *Caracterización de una planta termo solar de colectores parabólicos para generación de energía eléctrica*. s.l. : Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Eléctrica., 2009.
13. *An overview of the global waste-to-energy industry*. Themelis, Nickolas. Julio de 2003, Waste Management World, Vols. 2003-2004 Review Issue, págs. 40-47.
14. *Energy from Waste Statistics, State-of-the-Art-Report, 5th Edition*. International Solid Waste Association. Agosto de 2006.
15. *2010 Directory of Waste-to-Energy Plants in the United States*. Energy Recovery Council. 2011.
16. *Publicación 862*. Confederation of European Waste-to-Energy Plants. 2009.
17. CORFO. *Prevención y Valorización de Neumáticos fuera de uso*. 2009.

7. Anexos

7.1.Anexo A: Tipos de Residuos generados en Chile y su Disponibilidad

Residuos sólidos municipales: el año 2009 se generaron 6,5 millones de toneladas de este tipo de residuo. El crecimiento anual de la última década fue de 2,3%, tendencia que debería continuar, según crece nuestro PIB. Del monto total generado se estima que un 95% es recolectado en vertederos o rellenos sanitarios. En otras palabras, 330.000 toneladas de basura anuales se disponen en basurales o sitios nos autorizados. Importante es señalar que la tasa de recolección aumentó en un 36% la última década, lo que hace que cada año los residuos con destino desconocido disminuyan.

La composición promedio de Chile de residuos municipales se compone de los siguientes materiales.

Tipo de residuo	Composición %
Papeles y Cartones	12,4
Textiles	2
Plásticos	9,4
Vidrios	6,6
Metales	2,3
Materia Orgánica	53,3
Otros	14

Tabla 9: Composición de la basura en Chile.

Según las tendencias la materia orgánica ha tendido a disminuir los últimos años llegando a 53% en promedio. El papel y el cartón muestran una tendencia a la disminución, sin embargo el plástico muestra una tendencia al aumento.

De acuerdo a la composición de los residuos en promedio la basura de Chile tendría un poder calorífico de 8.490 Kj/Kg²⁰, sin embargo este dato tendería a variar significativamente en la comuna o región que se evalúe.

Adicionalmente sólo 1% del total de la basura generada se recicla, usa en compostaje o incinera. El reciclaje tenderá a aumentar cuando no existan formas alternativas de deshacerse de la basura, es decir, que el costo de disponer en rellenos sanitarios vaya en aumento.

Residuos Industriales

Chile ha experimentado un crecimiento económico importante desde los años noventa a la fecha lo que ha impactado en la generación de residuos industriales según la actividad económica.

²⁰ Ver Anexo B para ver cómo se calculó este dato.

Hasta el año 2009 se producían 10,4 toneladas de residuos industriales, con un crecimiento anual de 4,8%. Estas toneladas se distribuyen por sector económico como se muestra en la siguiente tabla:

Sector	Generación de RSI (millones toneladas)	Porcentaje %
Agrícola y forestal	1.56	15
Minería y cantera	0.63	6
Industria manufacturera	1.83	18
Producción de energía	0.47	5
Purificación y distribución de agua	0.08	1
Construcción	5.82	56

Tabla 10: Generación de residuos por industria.

Residuos industriales con potencial de Biogas

En esta sección se explica la clasificación de los residuos orgánicos con viabilidad de usarlos con la tecnología de biogás. Se explicará cómo se mide el potencial en cada uno de los residuos a analizar.

La primera columna de la siguiente tabla muestra la disponibilidad total en toneladas por año por tipo de residuo, esto es la generación del mismo. Este producto puede ser difícil de recolectar (nivel de dispersión), muchos usos alternativos o bien un alto/bajo poder calorífico.

La recolección puede ser dispersa, agrupada o concentrada. En el caso que sea concentrada se genera en pocos lugares y en grandes cantidades. El ejemplo más claro es el estiércol porcino o avícola que pertenece a empresas oligopólicas en Chile cuya producción es en masa y en espacios muy reducidos. La forma dispersa es si el residuo se genera en muchos lugares y, por ello, es difícil de recolectar, como en cultivos de temporada.

La disponibilidad libre es el reflejo de los usos alternativos, por ejemplo el estiércol vacuno es ampliamente usado como abono de tierras, por ello hay bajo nivel de disponibilidad.

Finalmente el poder calorífico del desecho también es importante para analizar el potencial.

En conclusión según dispersión, disponibilidad total al año y poder calorífico los residuos más atractivos son el estiércol avícola, el estiércol de porcino y los lodos.

Residuo	Disp Total tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersion	Metano disponible m3/año	Poder calorífico o KJ/ton
Riles	147.195		60%	Dispersa	7.750	1.894
Cultivos de temporada	2.835.134	Alimentación animal	25%	Dispersa	58.169	738
Agro Frutos y Verduras	876.000	Combustible, compostaje	40%	Agrupada	15.639	642
Estiercol Vacuno	550.223	Abono	25%	Agrupada	33.013	2.158
Aguas Residuales Urbanas	513.190		20%	Agrupada	10.244	718
Lodos PTA (lodo seco)	416.000	Compostaje, vertederos	50%	Concentrada	68.135	5.891
Procesos residuales vino	49.218	Aceite "Pepa de uva", ácido tartárico, alcohol	20%	Concentrada	16.234	11.863
Estiercol Avicola	800.454	Fertilizante	sin info	Concentrada	351.261	15.783
Estiercol Porcino	481.730		50%	Concentrada	108.956	8.135

Tabla 11: Residuos con potencial de BIOGAS.

Poder calorífico metano: 8.596 Kcal/m³

Aceites usados

Se definen como aceites usados todos aquellos con base mineral o sintética cuya función es lubricar, los cuales se hayan vuelto inadecuados para cumplir su función. Están incluidos los aceites de motores de automóviles, cajas de cambios, transmisores, barcos y aviones. Se excluyen los aceites de origen vegetal y grasas.

En Chile se venden 130.300m³ de aceites al año. De estos un 60% es utilizado por el parque automotriz, 32% son aceites industriales, 4% a grasas, y 4% al área marina.

De estos aceites un 50% se pierde en combustión de motores o fugas, quedando 65.000m³, de éstos un 72% es eliminado en instalaciones autorizadas y el resto es dispuesto en destinos desconocidos. Del porcentaje que es recolectado es utilizado es diversas industrias: hornos

industriales, diesel marino, regeneración y explosivos. Dada esta situación, y a pesar del alto poder calorífico del aceite $40.000\text{KJ}/\text{m}^3$, no existe disponibilidad de este residuo actualmente para ser utilizado en valorización energética, o bien ya lo están utilizando actualmente como combustible alternativo.

Neumáticos

Actualmente en Chile se disponen al año 42.000 toneladas de neumáticos. Estos consideran vehículos livianos, transporte público, vehículos de carga y vehículos agrícolas. Adicionalmente se generan 12.000 toneladas anuales que desecha la industria minera. Estos dos tipos de neumáticos se distinguen debido al tamaño y su manipulación posterior para reutilización²¹.

Si bien, 2000 toneladas se utilizan en hornos cementeros como combustibles secundarios y 1500 tienen usos como estabilización de laderas de rellenos y usos agrícolas, un 90% de estos se disponen en lugares desconocidos.

Esto claramente genera un problema para el país ya que los neumáticos son difíciles de disponer por el gran volumen que poseen, y más aún ya que en Chile no existe normativa para el tratamiento de estos. En temas de reciclaje hay pocas iniciativas, o bien éstas están en períodos muy iniciales, como el uso en canchas deportivas o como material para asfalto. Por otra parte, los neumáticos poseen un poder calorífico de $33.000\text{KJ}/\text{ton}$ lo que hace atractivo pensar en una alternativa energética en este aspecto. Respecto de su recolección la gran mayoría lo posee los talleres mecánicos, sin embargo, cualquier evaluación al respecto debe considerar este desafío.

²¹ Debido al gran tamaño los neumáticos mineros se apilan y no pueden aún ser reutilizados, o revalorizados energéticamente.

7.2. Anexo B: Cálculo de poder calorífico de acuerdo a composición de basura

En el documento de Paula Estevez, Waste to Energy as a Key Component of Integrated Solid Waste Management For Santiago, Chile, 2006, se observa la metodología de multiplicar el poder calorífico de los componentes por el porcentaje de composición de la basura, para obtener el promedio ponderado.

Tipo de residuo	Composición %	KJ/Kg	%xKJ/Kg
Papeles y Cartones	12,4	16500	2046
Textiles	2	17445	348,9
Plásticos	9,4	32531	3057,914
Vidrios	6,6	0	0
Metales	2,3	0	0
Materia Orgánica	53,3	4647	2476,851
Otros	14	4000	560
TOTAL			8.490

Tabla 12: Poder calorífico de la basura en Concepción.

7.3. Anexo C: Tecnologías de conversión de residuos en energía

7.3.1. Tecnologías Térmicas: Incineración

La incineración directa de basura municipal, es la tecnología de conversión de residuos a energía más antigua y cuyo uso está más extendido. Esto es así hasta tal punto, que en muchos casos “incineración” y “transformación de residuos en energía” son considerados sinónimos. La incineración consiste básicamente en la quema de material en un horno especialmente diseñado y en la recuperación de energía mediante la generación directa de electricidad (mediante la generación de vapor) y/o calor para aplicaciones industriales o para calefacción en hogares. Además, en muchas de las aplicaciones prácticas, se recuperan metales para reciclado desde las cenizas de la combustión. Los incineradores pueden manejar grandes volúmenes de basura (30 o más toneladas por hora) y reducen la basura en al menos un 80% en masa y hasta un 95% en volumen (14). La cantidad típica de energía producida por incineración es de unos 500 a 600 KWh (15) por tonelada de basura y la inversión de referencia para la construcción de una planta de incineración es de 100 millones de dólares. Esta tecnología está presente en más de 30 países, 86 plantas estaban en operación en Estados Unidos el año 2010 (16) y más de 400 están operativas en Europa el año 2009 (17). Información detallada de las plantas en Estados Unidos y en Europa está disponible al final de este anexo.



Figura 19. Planta de incineración de Spittelau ubicada en el centro de Vienna, es una de varias plantas que proveen electricidad y calefacción domiciliaria en la capital de Austria.

Existen tres tipos genéricos de incinerador: el incinerador de parrilla fija, el de parrilla móvil y el incinerador de lecho fluidificado.

El incinerador de parrilla fija es el más simple y antiguo y consiste básicamente en una celda de ladrillo (o similar) dentro de la cual se ubica una parrilla de metal sobre la cual se depositan y queman los desechos. Las cenizas caen bajo la parrilla y los gases de la combustión son eliminados mediante una chimenea alta. Este diseño presenta problemas para asegurar una combustión efectiva y uniforme.

El incinerador de parrilla móvil permite el movimiento de la basura a través de la cámara de combustión para permitir una eficiente y completa combustión de la misma. El aire necesario para la combustión es inyectado desde debajo de la parrilla, lo cual permite además mantener controlada la temperatura de ésta. La combustión completa de los gases generados por la basura en la parrilla (segunda combustión) se logra con la inyección de aire a alta presión por sobre la parrilla.

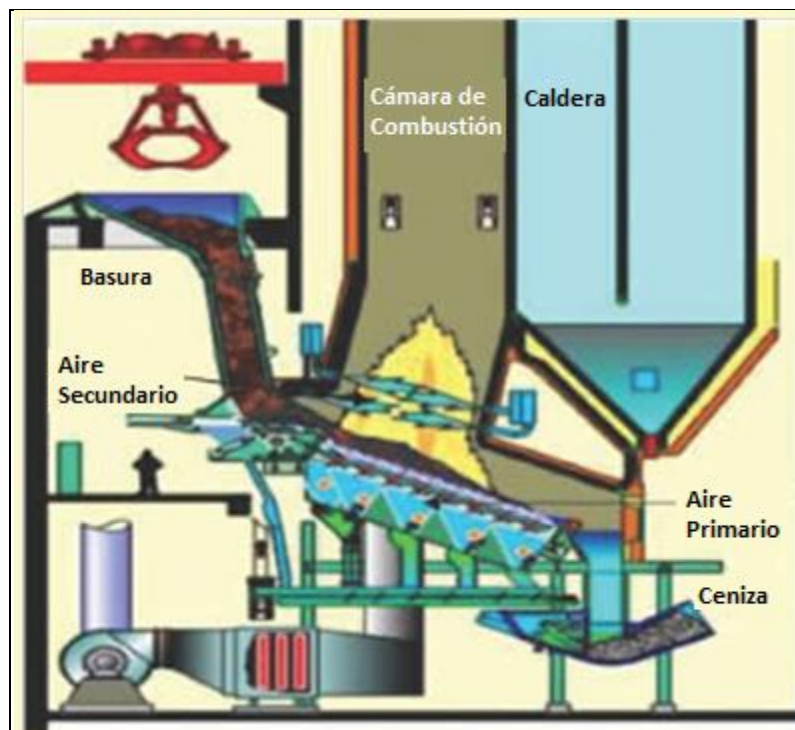


Figura 20. Esquema de una planta de incineración de parrilla móvil.

En los incineradores de lecho fluidificado, un potente flujo de aire es forzado a través de una cama de arena hasta que se alcanza un punto en el cual las partículas de arena se separan para permitir el paso del aire y un nivel de turbulencias adecuado para permitir la mezcla de aire y partículas sólidas. Una vez creada esta “cama fluidificada” se puede introducir la basura al incinerador. La basura se mantiene suspendida sobre el flujo de aire y toma el estado de un fluido, el lecho de arena y desechos es violentamente agitado por el aire, lo que permite una óptima combustión de los desechos.

Argumentos en favor de la incineración

- Una de las mayores complejidades de los incineradores son las emisiones, especialmente de dioxinas y furanos, por su negativo impacto en la salud de las personas. Sin embargo este aspecto ha mejorado notablemente y ha dejado de ser un problema gracias al avance de la tecnología y las restricciones ambientales impuestas por los gobiernos.
- En zonas densamente pobladas encontrar nuevos espacios para rellenos sanitarios es un gran problema al cual la incineración ofrece una solución.
- La recuperación energética de los residuos es una fuente de energía renovable.
- La incineración de residuos médicos y otros residuos peligrosos, ofrece una solución definitiva que elimina la mayoría de los riesgos asociados a estos materiales.

Argumentos en contra de la incineración

- Aún existen dudas sobre el efecto en la salud de las personas causado por la emisión a la atmosfera de dioxinas y furanos, aún cuando éstas se reduzcan a valores mínimos.

- La inversión asociada a la construcción de un incinerador con recuperación de energía es muy alto.
- La cantidad efectiva de energía generada no es tan alta debido al gasto energético de los sistemas de eliminación de partículas tóxicas de los gases emitidos.
- Con mejores prácticas de reciclado la calidad del combustible proveniente de basura municipal disminuye considerablemente, disminuyendo con ello la eficiencia en la recuperación energética por tonelada de basura tratada.
- La disposición final de las cenizas, la cual contiene ciertos elementos tóxicos, no es un problema fácil de solucionar.

7.3.2. Tecnologías Térmicas: otras opciones

Diversas tecnologías térmicas se han desarrollado con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso de conversión de residuos en energía. La idea general es utilizar calor, bajo ciertas condiciones especiales, para desintegrar los complejos componentes orgánicos presentes en los residuos y utilizar las cadenas de hidrocarburos resultantes como combustible líquido o gaseoso, el cual puede quemarse a temperaturas más altas y en procesos más controlados, aumentando la eficiencia. La mayoría de estas tecnologías no han alcanzado el nivel de madurez suficiente para ser alternativas viables económicamente, aunque existen plantas piloto para varias de ellas utilizando algún tipo específico de residuo.

Gasificación

Mediante una reacción físico-química, a alta temperatura pero sin combustión, se convierte el material orgánico o fósil en gas combustible, el cual se conoce como gas de síntesis o syngas. El syngas contiene (entre otros) hidrógeno, monóxido de carbono y metano. El syngas puede quemarse directamente o refinarse para aumentar la eficiencia de la combustión. Bajo condiciones especiales también puede licuarse para obtener un combustible líquido similar al diesel. Este proceso es común utilizando carbón o biocombustibles específicos (astillas de madera, maíz u otros).

Despolimerización térmica

Este proceso es también conocido como termólisis y consiste en la reducción de materiales orgánicos complejos para obtener petróleo crudo, esto es, hidrocarburos de cadena corta (compuestos orgánicos con pocos átomos de carbono). Este proceso se logra bajo condiciones de elevada presión y elevado calor, en un intento por emular al proceso natural de formación de petróleo.

Pirolisis

Es el proceso de descomposición de material orgánico a alta temperatura y en un ambiente sin oxígeno. La pirolisis es el proceso mediante el cual se hace carbón de madera y puede entenderse como una combustión sin llama. El proceso tiene similitudes con la gasificación y también genera syngas, pero dependiendo del material utilizado también puede producir combustibles líquidos

como el diesel. El residuo del proceso es hollín, o carbón en estado de fino polvo, es cual se utiliza entre otros en la fabricación de neumáticos para dar durabilidad y color.

Gasificación con arco de plasma

Es una tecnología conocida y utilizada desde hace al menos 20 años. Consiste en la generación de una súper antorcha que se crea al hacer pasar un gas inerte a alta presión a través de un arco eléctrico, esto eleva la temperatura del gas a varios miles de grados Celsius. El contacto del gas a alta temperatura, o plasma, con la basura logra desintegrar esta última en partículas gaseosas de forma instantánea. El syngas producido puede quemarse o refinarse.

La principal desventaja de esta tecnología es que la generación del arco eléctrico consume grandes cantidades de energía, a tal nivel que el balance energético del proceso es nulo o negativo. Otra desventaja es que la efectividad de la antorcha disminuye rápidamente con la distancia, lo cual limita la escalabilidad de las aplicaciones. Investigaciones recientes han explorado la creación de un “plasma frío”, en el cual el gas es calentado a una temperatura inferior a 1000 C, reduciendo con esto el consumo energético de la antorcha.

La principal ventaja de esta tecnología es que no existe residuo alguno dado que toda la basura es desintegrada y convertida en gas, por esta razón es una alternativa atractiva y frecuentemente utilizada para la destrucción de residuos peligrosos.

Actualmente existe solo una iniciativa de gran escala para utilizar la gasificación con plasma para el tratamiento de basura municipal. Plasco Energy Group en Ottawa, Canada convierte basura municipal en electricidad en una planta piloto que puede procesar 100 toneladas diarias de basura. Plasco ha invertido alrededor de 270 millones de dólares desde el año 2005 en este desarrollo y cuenta con el subsidio del municipio de Ottawa²².

²² <http://www.zerowasteottawa.com/en/>

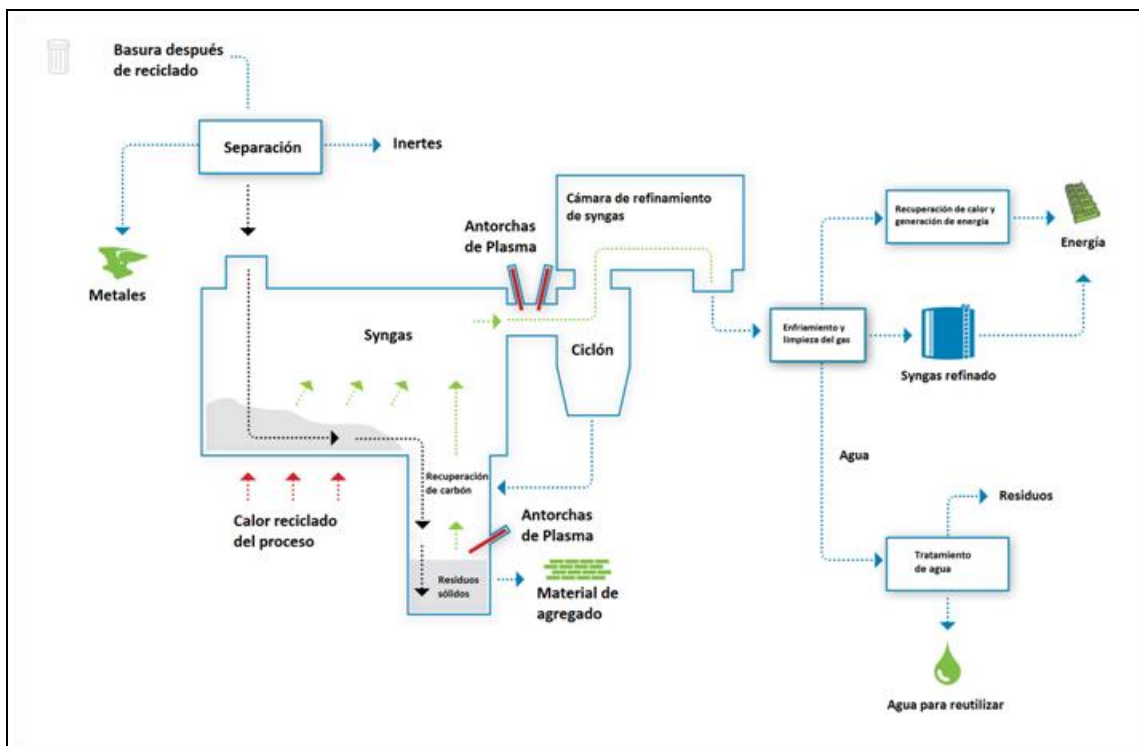


Figura 21. Diagrama esquemático del proceso Plasco

7.3.3. Tecnologías no térmicas

Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es la bio-degradación de material orgánico por microorganismos en un ambiente libre de oxígeno. Es un proceso de varias etapas en el cual compuestos orgánicos complejos como polisacáridos, lípidos y proteínas son degradados por enzimas y distintos tipos de bacterias hasta obtener metano y dióxido de carbono. Este proceso produce biogás con un contenido de metano del 50 al 80 % dependiendo del residuo degradado.

La digestión anaeróbica ocurre de manera espontánea en rellenos sanitarios produciendo biogás pero este proceso no es eficiente y una proporción importante del gas generado no puede ser recolectado y escapa a la atmósfera. Para solucionar este y otros problemas distintas empresas han desarrollado técnicas específicas, las que mediante el control de variables del proceso, como temperatura y humedad, buscan maximizar la cantidad de gas generado por volumen de residuo y acelerar el proceso de digestión.

El residuo del proceso se conoce como “material digerido” o “digestato” y puede utilizarse como fertilizante de alta calidad ya que contiene apropiados niveles de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y otros y además está libre de parásitos y patógenos. Otra ventaja es que los niveles de nutrientes son conocidos y estables si se mantiene el residuo y el proceso.

Los distintos procesos de digestión anaeróbica pueden ser clasificados en dos tipos dependiendo de la cantidad de agua presente en el sustrato a digerir: seca y húmeda. La digestión seca tiene

menores costos de operación y produce más gas por unidad de residuo, pero la inversión inicial es usualmente menor en el caso de digestión húmeda. Muchas compañías ofrecen ahora lo que denominan digestión semi-seca, esta presenta ventajas sobre las otras dos ya que se utiliza una cantidad de agua reducida, la cual es usualmente reciclada y se evita el uso de agitadores o piezas móviles en las plantas de digestión, elementos que son comunes a la digestión seca y húmeda y que aumentan los costos de mantención.

En función de la temperatura del proceso, la digestión anaeróbica puede ser mesofílica o termofílica. En el primer caso la digestión ocurre a una temperatura entre 25 C y 35 C, en el segundo a más de 50 C. Los procesos termofílicos producen más gas y más rápido y tienen una eficiencia mayor en la eliminación de patógenos, pero requieren inversiones iniciales mayores, mayores costos de operación debido a la energía utilizada para calefaccionar los sistemas y son más complejas de manejar²³.

La digestión anaeróbica es un proceso bien estudiado y múltiples empresas ofrecen aplicaciones de variada escala, capaces de procesar desde pequeñas cantidades de residuos hasta miles de toneladas al año y con capacidad de generar energía desde unos pocos kilowatts hasta varios mega watts. Los montos de inversión por lo tanto, varían ampliamente dependiendo del proveedor, del proceso y de la escala de la planta.

Fermentación

La fermentación es el proceso de extracción de energía mediante la oxidación de compuestos orgánicos tales como carbohidratos. La fermentación puede ocurrir en ambientes anaerobios o en presencia de oxígeno, es llevada a cabo por bacterias, hongos o levaduras y produce principalmente etanol, ácido láctico, lactosa o hidrógeno, aunque puede producir muchos otros compuestos dependiendo del proceso específico y de las condiciones en las cuales éste se desarrolle.

La fermentación es el proceso natural de formación de alcohol y es utilizado ampliamente en la industria vitivinícola, también es el proceso mediante el cual se fabrica etanol desde cultivos de alto contenido de carbohidratos tales como el maíz. Aún cuando teóricamente puede ser utilizado para la conversión de residuos en energía las aplicaciones no son comunes dado que el contenido de azúcares en el sustrato a fermentar debe ser alto, una condición difícil de obtener. El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante fermentación existe como proceso industrial, pero presenta desventajas técnicas frente a otras alternativas como la depuración con lodos activados.

Durante la fase de investigación de tecnologías de este trabajo no fue posible encontrar ningún ejemplo de gran escala o proveedor que utilizara la la fermentación para la transformación de residuos en energía.

²³ <http://www.biogas-info.co.uk/>

Combustible Derivado de Residuos

Es un caso especial de plantas de procesamiento de basura que incluyen un pre proceso de clasificación para recuperar sólo los materiales combustibles desde la basura domiciliaria. Usualmente se aprovecha el proceso de clasificación, el cual requiere una inversión elevada, para rescatar todos los elementos reciclables o reutilizables presentes en la basura. Una vez realizada la clasificación y el rescate de materiales reciclables, el material restante es secado y triturado y para ser utilizado como combustible en calderas. El combustible obtenido, “RDF” o “refuse”, puede ser utilizado como combustible exclusivo o bien como combustible secundario mezclado con carbón, madera u otro combustible sólido. Muchas plantas modernas de incineración realizan este pre-proceso de la basura en lugar de incinerarla directamente. De esta forma se logra una combustión más eficiente, se reduce combustión de materiales tóxicos y se evita la combustión de materiales reciclables.

7.3.4. Plantas de incineración de residuos domiciliarios en Europa

Información sobre plantas de incineración con recuperación energética en Europa. Fuente Confederation of European Waste-to-Energy Plants, www.cewep.eu, catastro 2009.

País	Número de plantas	Basura tratada (millones de toneladas anuales)
Reino Unido	23	3.40
Portugal	3	1.10
España	10	2.20
Francia	130	13.70
Italia	49	4.50
Suiza	28	3.60
Luxemburgo	1	0.10
Belgica	16	2.80
Holanda	12	6.30
Alemania	70	19.10
Polonia	1	0.04
República Checa	30	0.40
Austria	14	2.20
Eslovenia	1	0.01
Eslovaquia	2	0.20
Hungría	1	0.40
Dinamarca	31	3.50
Noruega	20	1.00
Suecia	31	4.70
Finlandia	3	0.30

Tabla 13: Plantas de incineración de residuos domiciliarios en Europa.

7.3.5. Plantas de incineración de residuos domiciliarios en EEUU

Información sobre plantas de incineración con recuperación de energía en Estados Unidos de Norteamérica. Fuente Energy Recovery Council, 2010 Directory of Waste-to-Energy Plants in the United States.

Estado	Número de Plantas	Basura tratada (Toneladas por día)	Energía producida MW
AK	1	10	0.2
AL	1	690	NA
CA	3	2540	69.5
CT	6	6537	194.0
FL	11	18756	530.4
HI	1	1851	58.6
IA	1	175	10.0
IN	1	2175	NA
MA	7	9450	265.9
MD	3	4410	123.0
ME	4	2800	65.3
MI	3	4125	89.7
MN	9	4418	132.4
NC	1	500	10.5
NH	2	700	18.5
NJ	5	6373	176.5
NY	10	11269	308.8
OK	1	1125	16.8
OR	1	550	13.1
PA	6	9408	276.2
UT	1	420	1.6
VA	5	6415	212.5
WA	1	800	26.0
WI	2	500	32.3
Total	86	95997	2631.8

Tabla 14: Plantas de incineración de residuos domiciliarios en EEUU

7.4. Anexo D: Matriz residuo-tecnología

A continuación se anexan 7 páginas donde está la matriz completa de residuo-tecnología. La parte 2 y parte 3 de la matriz son relevantes para el proyecto que involucra esta tesis.

Cada columna se explica en la siguiente tabla:

Residuo:	Residuo a analizar
Valor Calórico KJ/Kg:	Valor energético del residuo
Disp Total tpa:	Generación del residuo en Chile
Disponibilidad recolectada tpa:	De lo que se genera cuánto es lo que se recolecta actualmente en toneladas por año
Usos alternativos:	Usos que no sean la disposición en un relleno sanitario
Disp Libre %:	De lo que se usa hoy en día, cuanto se tiene de este residuo para ser utilizado en otros fines como la valorización energética.
Logística inversa/dispersión:	Esta columna mide cuán solucionado está el tema de la logística inversa. Indica si actualmente está concentrada, agrupada o dispersa la recolección de este residuo, lo que haría más fácil o no su recolección.
Legislación favorable:	Todas las leyes, proyectos de ley, o propuestas de ley que puedan favorecer el tratamiento de los residuos.
Proceso:	Es la tecnología específica aplicada a un residuo
Resultado del proceso:	Es lo que se obtiene del proceso, en la mayoría de los casos es energía, pero en algunos podría ser gas, carbón.
Volumen m ³ /ton:	El gas o combustible líquido que se generara. En algunos casos no aplica
Energía Producida KWh/ton:	La energía producida
Tonelaje mínimo Ton/día:	Lo mínimo con lo que en una planta ejemplo encontrada puede trabajar
Demanda:	Demanda del resultado del proceso en alta, media o baja.
Valor de la energía USD/MWh:	Valor de la energía eléctrica
Nivel de inversión MM USD/MW:	Niveles de inversion
Caso:	Ejemplo encontrado comercial o piloto

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGIA PARTE 1/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp Total tpa	Disponibilidad recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Aceites de Transporte	40.000 KJ/m3	65.150 m3/año	46.800 m3/año	Horno Industrial 58% Marino 15% Regeneración 25% Explosivos 1%	0%	Dispersa	Ley Resp Extendida Productor Ley General de Residuos	Incineración en horno cementero
Aceites de Transporte	40.000 KJ/m3	65.150 m3/año	46.800 m3/año	Horno Industrial 58% Marino 15% Regeneración 25% Explosivos 1%	0%	Dispersa	Ley Resp Extendida Productor Ley General de Residuos	Combustible alternativo
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KW/h/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Incineración en horno cementero	Cemento	No aplica	No aplica					Planta Comercial: Cemento Melón
Combustible alternativo	Diesel Marino							

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 2/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp Total tpa	Disp recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Incineración masiva
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Arco de plasma (gasificación a altas T°)
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Pirolisis (gasificación a bajas T° y en ausencia total de oxígeno)
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Incineración masiva	Electricidad y calor	No aplica	500	1200	Alta	86	2,6 a 3,2	Planta Comercial: Covanta Energy en Honolulu
Arco de plasma (gasificación a altas T°)	Electricidad	No aplica	960	2 a 50	Alta	86	No determinado	Piloto: Plasco Energy Group, planta en Ottawa, proceso de 100 ton/día
Pirolisis (gasificación a bajas T° y en ausencia total de oxígeno)	Pygas-electricidad	No aplica	960	275	Alta	86	7,0	Planta Comercial en Alemania

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 3/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disponibilidad Total tpa	Disponibilidad recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Depolimerización térmica
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Gasificación
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Landfilling gas
Basura municipal	~7.000-10.000	6.500.000	6.169.882	Reciclaje, compostura, incineración ~1%, basurales ~9%	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Refuse Derived Fuel
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Depolimerización térmica	Diesel Sintético y otros	0,45	No aplica	100	Alta	0,8239 USD/l	USD30 millones	No hay plantas: empresa Green Power
Gasificación	Syngas, Electricidad y calor	No aplica		100	Alta	86		Planta Comercial en Finlandia, Alemania, UK. Energos
Landfilling gas	Biogas y electricidad	No aplica	120	300	Alta	86	3	Planta Comercial: Uruguay, Relleno Sanitario Las Rosas
Refuse Derived Fuel	Combustible Reculture RDF Refuse Derived Fuel	No aplica	350	1.096	Alta	86	USD134 millones	Firma de acuerdo para Planta Piloto en China

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 4/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp. Total tpa	Disp. recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Basura municipal (componente organico)	3000		6.169.882	compostaje	90%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Riles	na	147.195			60%	Dispersa	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Cultivos de temporada	10000	2.835.134		alimentación animal	25%	Dispersa	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Agro Frutos y Verduras		876.000		combustible, compostaje	40%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Estiercol Vacuno	12000 a 14000	550.223		abono	25%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Digestión anaeróbica	Biogas	27	52		Alta	86		
Digestión anaeróbica	Biogas	325	764		Alta	86		Múltiples plantas comerciales (autoabastecimiento y cogeneración)
Digestión anaeróbica	Biogas	137	311		Alta	86		Múltiples plantas comerciales (autoabastecimiento y cogeneración)
Digestión anaeróbica	Biogas	74	169		Alta	86	2 USD/MW	Múltiples plantas comerciales (autoabastecimiento y cogeneración)
Digestión anaeróbica	Biogas	400	909		Alta	86		Múltiples plantas comerciales (autoabastecimiento y cogeneración)

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 5/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disponibilidad Total tpa	Disponibilidad recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Aguas Residuales Urbanas	na	513.190	0	0	20%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Lodos PTA (lodo seco)	3500	416.000	0	compostaje, vertederos	50%	Concentrada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Procesos residuales vino	0	49.218	0	aceite pepa de uva, ácido tartárico, alcohol	20%	Concentrada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Estiercol Avícola	3000 a 13000	800.454	0	fertilizante	sin info	Concentrada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Estiercol Porcino	14000	481.730	0	0	50%	Concentrada	Ley de Energía Renovable no Convencionales	Digestión anaeróbica
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Toneleje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Digestión anaeróbica	Biogas	158	378	0	Alta	86	0	0
Digestión anaeróbica	Biogas	485	775	0	Alta	86	0	0
Digestión anaeróbica	Biogas	700	1644	0	Alta	86	2 USD/MW	0
Digestión anaeróbica	Biogas	780	1590	0	Alta	86	0	Moerdijk, Zeeland, Holanda: 440000 ton/año, 36.5 MW, 190 MMUSD
Digestión anaeróbica	Biogas	384	475	0	Alta	86	0	Agrosuper 30 MMUSD, ~5MW en 5 plantas

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGIA 6/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp. Total tpa	Disp. recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley Energía Renovable no Conv, Ley Resp Extendida del productor, Ley General de Residuos	Incineración directa
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley Energía Renovable no Conv, Ley Resp Extendida del productor, Ley General de Residuos	Incineración en Horno Cementero
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley Energía Renovable no Conv, Ley Resp Extendida del productor, Ley General de Residuos	Gasificación
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demandas	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Incineración directa	Electricidad y calor	No aplica	2000	0	Alta	85,545	90000 tpa GBP 25M 320,000 tpa US\$142M Costo tratamiento US\$60/ton 150,000 tpa US\$88M Costo tratamiento US\$70/ton 90,000 tpa US\$53M Costo tratamiento US\$80/ton	Elm Energy, Wolverhampton, UK
Incineración en Horno Cementero	Calor, Cemento	No aplica	0	Máximo 20% del carbón	0%	0	> USD1 M	Horno 9 Planta La Calera Cemento Melón
Gasificación	Syngas, Negro de humo (hollín), acero, aceite base y electricidad	-	2800	0	Alta	85,545	Euros 100M	Planta comercial (Finland)

MATRIZ RESIDUO-TECNOLOGÍA PARTE 7/7

Residuo	Valor Calórico KJ/Kg	Disp Total tpa	Disp recolectada tpa	Usos alternativos	Disp libre %	Logística inversa / dispersión	Legislación favorable	Proceso
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley de Energía Renovable no Conv, Ley Resp Ext del productor, Ley General de Residuos	Pirólisis (gasificación a bajas T° y en ausencia total de oxígeno)
Neumáticos	33035	-	50000	Reciclaje	90%	Dispersa	Ley de Energía Renovable no Conv, Ley Resp Ext del productor, Ley General de Residuos	Arco de plasma (gasificación a altas T°)
Neumáticos Minería	33035	-	30000	-	0%	Agrupada	Ley de Energía Renovable no Conv, Ley Resp Ext del productor, Ley General de Residuos	Incineración directa
Proceso	Resultado Proceso	Volumen m3/ton	Energía Producida KWh/ton	Tonelaje mínimo ton/día	Demanda	Valor de la energía USD/MWh	Nivel de Inversión MM USD/MW	Caso
Pirólisis (gasificación a bajas T° y en ausencia total de oxígeno)	Metal, Carbon, syngas, electricidad	-	2482	20 tpd	Alta	85,545	USD 131,648M	Plantas piloto (USA, Italia, Canada) Planta comercial en construcción (UK)
Arco de plasma (gasificación a altas T°)	Syngas, electricidad	-	0	0	Alta	85,545	0	Sin plantas comerciales ni pilotos exclusivos para neumáticos
Incineración directa	Electricidad y calor	-	0	0	Alta	85,545	0	Sin plantas comerciales ni pilotos exclusivos para neumáticos

7.5. Anexo E: Preguntas para definición de Modelo de Negocios

Sectores de cliente: ¿Para quiénes estamos creando valor?, ¿Quiénes son nuestros clientes más importantes?

Propuestas de valor: ¿Qué valor estamos ofreciendo a los clientes?, ¿Qué problema ayudamos a resolver?, ¿Qué necesidad del cliente cubrimos?

Canales de comunicación y distribución: ¿A través de qué canales quieren nuestros clientes que accedamos a ellos?, ¿Cómo podemos llegar a ellos ahora?, ¿Cómo se integran nuestros canales? ¿Cuáles funcionan mejor?, ¿Cuáles más rentables?, ¿Cómo podemos integrarlos a la rutina de nuestros clientes?

Relación con los clientes: ¿Qué tipo de relación esperan nuestros clientes?, ¿Qué relaciones hemos establecido?, ¿Cuánto nos cuestan?, ¿Cómo se integran en el modelo de negocio establecido?

Fuentes de Ingresos: ¿Cuál es el valor que nuestros clientes están dispuestos a pagar?, ¿Actualmente cuál se paga? ¿Cómo?, ¿Cómo prefieren pagar?, ¿Cuál es el aporte de las fuentes de ingresos al total?

Recursos claves: ¿Qué recursos clave requiere nuestra propuesta de valor?, ¿Cuáles requieren los canales de comunicación y distribución?, ¿Cuáles la relación con el cliente?, ¿Y cuáles nuestros flujos de ingresos?

Actividades clave: ¿Qué actividades clave requiere nuestra propuesta de valor? ¿Y los canales de comunicación y distribución?, ¿Y nuestra relación con los clientes?, ¿Y los flujos de ingresos?

Alianzas clave: ¿Quiénes son nuestros socios?, ¿Quiénes nuestros proveedores clave?, ¿Qué recursos clave estamos adquiriendo de nuestros proveedores?, ¿Qué actividades clave desarrollan nuestros “aliados”?

Estructura de costos: ¿Cuáles son los costos inherentes más importantes?, ¿Cuáles son los recursos claves más costosos?, ¿Cuáles son las actividades clave más costosas?

7.6.Anexo F: Flujo de Caja tasa de descuento de 25%

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingresos (MMUSD)		\$ -	\$ -	\$ 11,69	\$ 12,37	\$ 13,06	\$ 13,76	\$ 14,46	\$ 15,17
Disposición de basura		-	-	2,98	3,13	3,28	3,45	3,62	3,80
Venta de Energía		-	-	7,53	8,02	8,51	9,00	9,49	9,98
Potencia Instalada		-	-	1,19	1,23	1,27	1,31	1,35	1,39
Bonos de carbono		-	-	-	-	-	-	-	-
Costos+depreciación		\$ 1,43	\$ 3,43	\$ 6,47	\$ 6,52	\$ 6,57	\$ 6,63	\$ 6,68	\$ 6,73
Mantenimiento		-	-	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Costos de operación				1,34	1,39	1,44	1,50	1,55	1,60
Personal de operación				0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cal				0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39
Carbón				0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Electricidad				0,76	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Marketing				0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Depreciación		1,43	3,43	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
Flujo para cálculo de impuestos		- 1,43	- 3,43	5,23	5,85	6,49	7,13	7,78	8,44
Impuestos		- 0,29	- 0,69	1,05	1,17	1,30	1,43	1,56	1,69
Utilidad después de Impuestos		\$ -	\$ -	\$ 6,70	\$ 8,17	\$ 8,68	\$ 9,20	\$ 9,72	\$ 10,24
(Ingresos-costos-impuestos)									
Capital	-\$ 87,45	\$ -	\$ -	-\$ 0,74	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01
Planta Gasificación	- 76,00								
Construcción edificio	- 9,71								
Conexión a la red	- 1,60								
Otras inversiones	- 0,14					- 0,17			
Capital de Trabajo			-	- 0,74	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01
Total Flujo de Caja	-\$ 87,45	\$ -	\$ -	\$ 5,23	\$ 8,15	\$ 8,49	\$ 9,17	\$ 9,69	\$ 10,22

	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ingresos (MMUSD)	\$ 15,89	\$ 16,62	\$ 17,36	\$ 18,11	\$ 18,88	\$ 19,65	\$ 20,44	\$ 21,23	\$ 22,05
Disposición de basura	3,99	4,19	4,40	4,62	4,85	5,09	5,35	5,61	5,89
Venta de Energía	10,47	10,96	11,45	11,94	12,43	12,92	13,41	13,91	14,40
Potencia Instalada	1,43	1,47	1,51	1,55	1,59	1,63	1,67	1,71	1,76
Bonos de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos+depreciación	\$ 6,79	\$ 6,84	\$ 6,89	\$ 6,95	\$ 7,00	\$ 7,05	\$ 7,11	\$ 7,16	\$ 7,22
Mantenimiento	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Costos de operación	1,66	1,71	1,76	1,82	1,87	1,93	1,98	2,03	2,09
Personal de operación	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cal	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43
Carbón	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Electricidad	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
Marketing	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Depreciación	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
Flujo para cálculo de impuestos	9,11	9,78	10,47	11,17	11,88	12,60	13,33	14,07	14,83
Impuestos	1,82	1,96	2,09	2,23	2,38	2,52	2,67	2,81	2,97
Utilidad después de Impuestos	\$ 10,78	\$ 11,32	\$ 11,87	\$ 12,43	\$ 12,99	\$ 13,57	\$ 14,15	\$ 14,75	\$ 15,36
(Ingresos-costos-impuestos)									
Capital	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	-\$ 0,01
Planta Gasificación									
Construcción edificio									
Conexión a la red									
Otras inversiones		- 0,17					- 0,17		
Capital de Trabajo	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01
Total Flujo de Caja	\$ 10,75	\$ 11,12	\$ 11,84	\$ 12,40	\$ 12,97	\$ 13,54	\$ 13,96	\$ 14,72	\$ 15,33

	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Ingresos (MMUSD)	\$ 22,87	\$ 23,71	\$ 24,57	\$ 25,44	\$ 26,33	\$ 27,24	\$ 28,16	\$ 29,11	\$ 30,07	\$ 31,06
Disposición de basura	6,19	6,50	6,82	7,16	7,52	7,90	8,29	8,71	9,14	9,60
Venta de Energía	14,89	15,38	15,87	16,36	16,85	17,34	17,83	18,32	18,81	19,30
Potencia Instalada	1,80	1,84	1,88	1,92	1,96	2,00	2,04	2,08	2,12	2,16
Bonos de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos+depreciación	\$ 7,27	\$ 7,32	\$ 7,38	\$ 7,43	\$ 7,49	\$ 7,54	\$ 7,59	\$ 7,65	\$ 7,70	\$ 7,76
Mantención	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Costos de operación	2,14	2,19	2,25	2,30	2,36	2,41	2,46	2,52	2,57	2,63
Personal de operación	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cal	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48
Carbón	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Electricidad	1,50	1,55	1,60	1,65	1,69	1,74	1,79	1,84	1,89	1,94
Marketing	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Depreciación	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
Flujo para cálculo de impuestos	15,60	16,39	17,19	18,01	18,84	19,70	20,57	21,46	22,37	23,31
Impuestos	3,12	3,28	3,44	3,60	3,77	3,94	4,11	4,29	4,47	4,66
Utilidad después de Impuestos	\$ 15,97	\$ 16,60	\$ 17,24	\$ 17,90	\$ 18,57	\$ 19,25	\$ 19,95	\$ 20,66	\$ 21,39	\$ 22,14
(Ingresos-costos-impuestos)										
Capital	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	\$ 1,05
Planta Gasificación										
Construcción edificio										
Conexión a la red										
Otras inversiones			- 0,17					- 0,17		
Capital de Trabajo	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	1,05
Total Flujo de Caja	\$ 15,95	\$ 16,58	\$ 17,05	\$ 17,87	\$ 18,54	\$ 19,22	\$ 19,92	\$ 20,47	\$ 21,36	\$ 24,23

7.7.Anexo G: Flujo de Caja apalancado tasa de descuento de 18,94%

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingresos (MMUSD)		\$ -	\$ -	\$ 11,69	\$ 12,37	\$ 13,06	\$ 13,76	\$ 14,46	\$ 15,17
Disposición de basura		-	-	2,98	3,13	3,28	3,45	3,62	3,80
Venta de Energía		-	-	7,53	8,02	8,51	9,00	9,49	9,98
Potencia Instalada		-	-	1,19	1,23	1,27	1,31	1,35	1,39
Bonos de carbono		-	-	-	-	-	-	-	-
Costos+depreciación		\$ 1,43	\$ 3,43	\$ 6,47	\$ 6,52	\$ 6,57	\$ 6,63	\$ 6,68	\$ 6,73
Mantenimiento		-	-	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Costos de operación				1,34	1,39	1,44	1,50	1,55	1,60
Personal de operación				0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cal				0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39
Carbón				0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Electricidad				0,76	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Marketing				0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Depreciación		1,43	3,43	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
Flujo para cálculo de impuestos		- 1,43	- 3,43	5,23	5,85	6,49	7,13	7,78	8,44
Impuestos		- 0,29	- 0,69	1,05	1,17	1,30	1,43	1,56	1,69
Utilidad después de Impuestos		\$ -	\$ -	\$ 6,70	\$ 8,17	\$ 8,68	\$ 9,20	\$ 9,72	\$ 10,24
(Ingresos-costos-impuestos)									
Capital	-\$ 87,45	\$ -	\$ -	-\$ 0,74	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01
Planta Gasificación	- 76,00								
Construcción edificio	- 9,71								
Conexión a la red	- 1,60								
Otras inversiones	- 0,14					- 0,17			
Capital de Trabajo			-	- 0,74	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01
Total Flujo de Caja	-\$ 87,45	\$ -	\$ -	\$ 5,23	\$ 8,15	\$ 8,49	\$ 9,17	\$ 9,69	\$ 10,22

	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ingresos (MMUSD)	\$ 15,89	\$ 16,62	\$ 17,36	\$ 18,11	\$ 18,88	\$ 19,65	\$ 20,44	\$ 21,23	\$ 22,05
Disposición de basura	3,99	4,19	4,40	4,62	4,85	5,09	5,35	5,61	5,89
Venta de Energía	10,47	10,96	11,45	11,94	12,43	12,92	13,41	13,91	14,40
Potencia Instalada	1,43	1,47	1,51	1,55	1,59	1,63	1,67	1,71	1,76
Bonos de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos+depreciación	\$ 6,79	\$ 6,84	\$ 6,89	\$ 6,95	\$ 7,00	\$ 7,05	\$ 7,11	\$ 7,16	\$ 7,22
Mantenimiento	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Costos de operación	1,66	1,71	1,76	1,82	1,87	1,93	1,98	2,03	2,09
Personal de operación	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cal	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43
Carbón	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Electricidad	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
Marketing	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Depreciación	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
Flujo para cálculo de impuestos	9,11	9,78	10,47	11,17	11,88	12,60	13,33	14,07	14,83
Impuestos	1,82	1,96	2,09	2,23	2,38	2,52	2,67	2,81	2,97
Utilidad después de Impuestos	\$ 10,78	\$ 11,32	\$ 11,87	\$ 12,43	\$ 12,99	\$ 13,57	\$ 14,15	\$ 14,75	\$ 15,36
(Ingresos-costos-impuestos)									
Capital	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	-\$ 0,01
Planta Gasificación									
Construcción edificio									
Conexión a la red									
Otras inversiones		- 0,17					- 0,17		
Capital de Trabajo	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01
Total Flujo de Caja	\$ 10,75	\$ 11,12	\$ 11,84	\$ 12,40	\$ 12,97	\$ 13,54	\$ 13,96	\$ 14,72	\$ 15,33

	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Ingresos (MMUSD)	\$ 22,87	\$ 23,71	\$ 24,57	\$ 25,44	\$ 26,33	\$ 27,24	\$ 28,16	\$ 29,11	\$ 30,07	\$ 31,06
Disposición de basura	6,19	6,50	6,82	7,16	7,52	7,90	8,29	8,71	9,14	9,60
Venta de Energía	14,89	15,38	15,87	16,36	16,85	17,34	17,83	18,32	18,81	19,30
Potencia Instalada	1,80	1,84	1,88	1,92	1,96	2,00	2,04	2,08	2,12	2,16
Bonos de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos+depreciación	\$ 7,27	\$ 7,32	\$ 7,38	\$ 7,43	\$ 7,49	\$ 7,54	\$ 7,59	\$ 7,65	\$ 7,70	\$ 7,76
Mantención	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Costos de operación	2,14	2,19	2,25	2,30	2,36	2,41	2,46	2,52	2,57	2,63
Personal de operación	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cal	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48
Carbón	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Electricidad	1,50	1,55	1,60	1,65	1,69	1,74	1,79	1,84	1,89	1,94
Marketing	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Depreciación	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
Flujo para cálculo de impuestos	15,60	16,39	17,19	18,01	18,84	19,70	20,57	21,46	22,37	23,31
Impuestos	3,12	3,28	3,44	3,60	3,77	3,94	4,11	4,29	4,47	4,66
Utilidad después de Impuestos	\$ 15,97	\$ 16,60	\$ 17,24	\$ 17,90	\$ 18,57	\$ 19,25	\$ 19,95	\$ 20,66	\$ 21,39	\$ 22,14
(Ingresos-costos-impuestos)										
Capital	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,01	-\$ 0,18	-\$ 0,01	\$ 1,05
Planta Gasificación										
Construcción edificio										
Conexión a la red										
Otras inversiones			- 0,17					- 0,17		
Capital de Trabajo	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	1,05
Total Flujo de Caja	\$ 15,95	\$ 16,58	\$ 17,05	\$ 17,87	\$ 18,54	\$ 19,22	\$ 19,92	\$ 20,47	\$ 21,36	\$ 24,23