

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Potencial Energético del Biogás Generado
por los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD)
en la Provincia de Concepción.**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Civil Industrial mención Mecánica.

Alumnos:
Erwin M. Valladares Castillo.
Manuel A. Villegas Santana.

Profesor Guía:
Reinaldo A. Sánchez A.

CONCEPCIÓN - CHILE

2013

ÍNDICE

CAPITULO I	ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO.	1
1.1	Introducción.	2
1.2	Justificación del estudio.	2
1.3	Objetivo del estudio.	5
1.3.1	Objetivo general.	5
1.3.2	Objetivos específicos.	5
1.4	Alcances del estudio.	5
1.5	Metodología de estudio.	6
CAPÍTULO II	BASURA-RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) – VERTEDEROS.	7
2.1	Basura: Aspectos generales.	7
2.1.1	Alcances de los RSD en Chile.	9
2.1.2	Valorización de los residuos.	14
2.1.3	Caracterización de los residuos.	20
2.2	Disposición final de los RSD.	26
2.2.1	Reacciones y fenómenos contaminantes.	30
2.2.2	Instalaciones de disposición final.	32
2.2.3	Normativa chilena vigente en vertederos de basura y Biogás.	35
2.3	Procesos de aprovechamiento energético de los RSD.	40
CAPÍTULO III	FUENTES ENERGÉTICAS y BIOGÁS.	43
3.1	Energía: Aspectos Generales.	43
3.2	Tipos de energía.	44
3.2.1	Energía renovable (ER).	44
3.2.2	Energía no renovable (ENR).	47
3.3	Fuente energética alternativa: Biogás.	54
3.3.1	Definición, características y composición del biogás.	56
3.3.2	Fases de la generación de biogás de vertedero.	56
3.3.3	Gases componentes del LFG.	59
3.3.4	Equivalencias energéticas, usos y aplicaciones del LFG.	63
3.3.5	Ventajas y desventajas del LFG.	65
3.3.6	Restricciones económicas, medioambientales y tecnológicas para el uso del LFG.	66
3.3.7	El Metano: Un gas de efecto invernadero.	67
3.3.8	Casos de manejo del biogás de vertederos de RSD.	71
CAPÍTULO IV	POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS DE VERTEDEROS DE BASURA EN LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN.	82
4.1	Comentarios generales.	82
4.2	Lugares de disposición final de RSD en la provincia de Concepción.	84
4.3	Estimación del volumen de biogás, CH ₄ , energía eléctrica y potencia instalada.	91
ANEXOS		104
ANEXO A	ANTECEDENTES ENERGÉTICOS NACIONALES.	105
a.1	Matriz generación eléctrica en CHILE (2012).	105
a.2	Generación eléctrica nacional.	108
a.3	Antecedentes generales Energía Renovables No Convencionales (ERNC).	111
a.4	Demanda energética nacional.	115
a.5	Generación eléctrica en la región del Bío Bío: Aspectos generales.	118
a.5.1	Matriz eléctrica de la región del Bío Bío.	118
a.5.2	Generación y consumo eléctrico de la región del Bío Bío.	120
a.6	Proyectos aprobados de MDL.	122
ANEXO B	MARCO INSTITUCIONAL y NORMATIVO.	124
ANEXO C	ESQUEMAS DE PLANTAS GENERADORAS DE ENERGÍA POR LFG.	134
	COMENTARIOS FINALES.	137

CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO.

1.1 Introducción.

Particularmente, este proyecto surge de dos temas contingentes:

PRIMERO: Existen graves problemas ambientales vinculados con los vertederos de RSD ⁽¹⁾ ubicados en Concepción y Talcahuano: Hay colapso y clausura de algunos vertederos, se generan emanaciones de gases tóxicos y de malos olores, hay contaminación visual, existe la presencia de vectores (roedores, moscas y otros) y se originan focos infecciosos.

SEGUNGO: Crisis energética de los combustibles fósiles: Los recursos energéticos tradicionales se agotan, existe racionamiento en el suministro de gas natural y de otras fuentes energéticas convencionales, aumenta el precio de la energía y la matriz energética nacional es limitada y vulnerable.

Actualmente, se promueven varias medidas para enfrentar los problemas energéticos por medio de campañas de ahorro y uso eficiente de la energía, a nivel industrial y comunitario. Además se incentivan estudios que evalúen la viabilidad de nuevas fuentes energéticas, como por ejemplo, proyectos geotérmicos, aplicaciones eólicas, uso de paneles solares, aprovechamiento de los desechos forestales para autogenerar energía eléctrica con equipos co-generadores, entre otros.

Por lo anterior, cabe la posibilidad de analizar a la basura doméstica como un recurso energético y no sólo como un desecho. Concretamente surge la interrogante de cuantificar el potencial energético de los vertederos de RSD mediante la captación y explotación del gas Metano (CH₄) que naturalmente emana por la descomposición de los residuos orgánicos presentes en la basura.

(1)RSD: Residuos Sólidos Domiciliarios: son aquellos residuos generados en los hogares.

La explotación del CH₄ se puede ejecutar en plantas generadoras de biogás, que capturan, procesan y aprovechan los gases de los vertederos de basura como energía renovable. En general, a partir de los RSD se obtiene un gas, llamado **BIOGÁS** o **LFG** ⁽²⁾ que puede usarse para producir calor o como combustible en motores diesel o a gasolina, que junto a un generador, conforman una unidad generadora de energía eléctrica.

1.2 Justificación del estudio.

La tasa de crecimiento poblacional, el desarrollo de las actividades económicas y los problemas ambientales, son temas contingentes y de gran discusión.

Racionalizar la generación de residuos, desarrollar una economía sustentable, fomentar la innovación tecnológica y preservar los recursos naturales son acciones fundamentales para las próximas generaciones.

Recientemente las fuentes energéticas alternativas (solar, geotérmica, eólica, biomasa, mareomotriz, etc.) tienen gran interés para el país ya que podrían complementar la actual matriz energética que está compuesta principalmente por combustibles fósiles tradicionales, que escasean, tienen altos costos de producción, causan problemas de salud, generan graves daños a la atmósfera (lluvia ácida) y al planeta (alteración de las propiedades del suelo, deterioro de la flora y fauna, pérdida de la calidad del agua, etc.).

En general, el crecimiento de la población y un desarrollo económico no sustentable, conlleva un incremento en la producción de basura, provocando el aumento de sus costos de recolección, transporte y disposición, además de agudizar los problemas ambientales. El año 2009, en Chile una persona generaba aproximadamente 1,0 kg de basura al día, valor que se va incrementando.

⁽²⁾ LFG: Landfill Gas, Gas de Rellenos Sanitarios o de Vertederos de Basura. Biogás.

Por medio de los RSD se puede generar energía eléctrica que podría contribuir al sistema eléctrico global o para uso doméstico, ya que su descomposición produce una mezcla combustible rica en CH_4 que lograría sustituir a un combustible fósil, por ejemplo, el diesel usado en los motores generadores de eléctrica.

El biogás es un combustible biológico originado por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, y está compuesto principalmente por Metano (CH_4), Dióxido de Carbono (CO_2) y otros gases. El Metano participa en más del 70% de la composición del LFG.

El biogás tiene un poder calorífico aproximado de $5.000 \text{ (kcal/m}^3\text{)}$, lo cual plantea la posibilidad de considerarlo como una alternativa energética específica. Como referencia el Gas Natural Líquido (GNL) tiene $10.500 \text{ (kcal/m}^3\text{)}$ y el Gas Líquido de Petróleo (GLP) genera $24.000 \text{ (kcal/m}^3\text{)}$.

Técnicamente se puede captar CH_4 mediante una planta generadora de LFG, en donde se recuperan los gases que fluyen por la descomposición de los RSD. Cabe señalar que los RSD contienen un importante porcentaje de materia orgánica que al descomponerse en un proceso de fermentación anaerobia (sin presencia de oxígeno) produce LFG, que liberado sin ningún tratamiento previo provoca severos problemas en la atmósfera.

Aproximadamente, del total de gases que provocan el efecto invernadero, el 20% corresponde a CH_4 , siendo los vertederos de basura una de las principales fuentes emisoras antropogénicas con casi un 13% (Fuente: Metano a Mercados, 2012). Cabe destacar que, algunos estudios indican que alrededor del 40% de las emisiones globales de metano se deben a la acción del hombre, tales como cultivos de arroz, quema de combustibles fósiles, descomposición de estiércoles agropecuarios y vertederos de basura. El resto de las emisiones se originan en fuentes húmedas (pantanos).

Aprovechar el biogás generado por los RSD puede contribuir a mitigar un problema ambiental, junto con obtener un tipo de energía alternativa desde los vertederos y rellenos sanitarios, y que podría constituir una nueva propuesta de negocio.

Las plantas de biogás pueden ser una solución efectiva a los problemas que se presentan en los depósitos de basura domiciliaria, lo que permitiría el desarrollo de una interesante sinergia entre la población, el medioambiente y energía.

Se plantea la posibilidad de usar la energía contenida en los rellenos sanitarios, mediante la explotación tecnificada del LFG con el fin de disponer de un recurso energético adicional para la producción de electricidad (por ejemplo: motores de combustión interna).

1.3 Objetivos del Estudio.

1.3.1 Objetivo general.

Determinar el potencial energético del biogás generado por la basura domiciliaria en la provincia de Concepción.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Cuantificar el volumen de Biogás disponible en los rellenos sanitarios de la provincia de Concepción.
- Cuantificar la potencia instalada estimada para cada vertedero y relleno sanitario en estudio.

1.4 Alcances del Estudio.

El presente estudio tendrá como marco referencial de análisis y estudio a:

- Los principales centros de recolección de residuos domiciliarios de la provincia de Concepción.
- Los vertederos que potencialmente presenten la mayor emisión de biogás (según criterios específicos).

1.5 Metodología del Estudio.

1.5.1 Análisis de la situación actual de los vertederos:

- Identificar los principales vertederos de basuras de la provincia de Concepción.
- Indagar el manejo y explotación actual en los vertederos de basura locales.
- Investigar casos concretos de explotación técnica del biogás de vertederos.

1.5.2 Análisis de volúmenes de biogás:

- Cuantificar el volumen generado de biogás en los principales vertederos de basura domiciliaria y municipal (Residuos no peligrosos).
- Estudiar las características físicas y químicas de los RSD.
- Calcular el potencial de generación eléctrica en cada centro de acopio de basura.

1.5.3 Marco legal vigente:

- Investigar el marco legal vigente sobre captación, recolección, explotación, almacenamiento, transporte y distribución del biogás de vertederos.
- Investigar el marco legal para la venta y distribución de energía eléctrica a partir de energías renovables no convencionales (ERNC).

CAPITULO II: BASURA - RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) - VERTEDEROS.

2.1 Basura: Aspectos generales.

La humanidad desde sus orígenes ha generado basura, la que podría definirse como todo aquel elemento, objeto, residuo o sustancia inservible que se requiere eliminar. La basura generada por la actividad humana, fue considerada desde siempre sin valor y que normalmente se incinera o se traslada a lugares destinados para su depósito, tales como: vertederos, rellenos sanitarios, basurales.

El crecimiento demográfico, el desarrollo económico, los hábitos de consumo, los sistemas productivos complejos, las nuevas tecnologías, las políticas ambientales insuficientes y la falta de conciencia sobre los problemas ambientales, representan algunas variables que fomentan a que en cualquier asentamiento humano existan toneladas de desperdicios, que manejados inadecuadamente; ocasionan graves problemas sanitarios y ecológicos.

Con la evolución del hombre, los desechos adquieren características cada vez más complejas. Inicialmente la basura estaba compuesta de materia orgánica capaz de degradarse naturalmente sin alterar el medio ambiente. Sin embargo con el desarrollo productivo se incorporan materias primas con características físicas y químicas más elaboradas que no son fáciles de biodegradar, tales como vidrio, cerámicas, plásticos, etc.

En general, los residuos se pueden segmentar de diferentes maneras. Una clasificación puede ser según su composición y origen, tal y como se muestran en los siguientes cuadros.

Tipo de Residuo	Características generales – COMPOSICIÓN.
Orgánico	Son de origen biológico, alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo: hojas, ramas, cáscaras y residuos de la fabricación de alimentos. Son biodegradables.
Inorgánico	De origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural: plástico, telas sintéticas, cerámicos, latas, etc. Tardan muchos años en desintegrarse o nunca se descomponen.
Peligros	Pueden ser de origen biológico, y constituyen un peligro potencial: material médico infeccioso, material radiactivo, ácidos o sustancias químicas corrosivas, etc.

Fuente: www.planetica.org.

Tipo de Residuo	Características generales – ORIGEN.
Doméstico	Proviene de los hogares a causa de las actividades propias de sus habitantes.
Urbano	Son desechos de parques y jardines.
Industrial	Se originan de los procesos productivos industriales o de manufactura.
Hospitalario	Se originan en los hospitales o equivalentes. Se consideran como residuos peligrosos y pueden ser orgánicos e inorgánicos.
Comercial o Municipales	Provenientes de hogares y sus asimilables, como los desechos generados en las vías públicas, ferias libres, comercio, tiendas, escuelas, etc. Se consideran residuos no peligrosos.

Fuente: <http://www.slideshare.net/norabari/basura>.

2.1.1 Alcances de los residuos sólidos en Chile.

El manejo de los residuos es un gran desafío para la sociedad, que se agudiza en las grandes ciudades, ya que las actividades humanas modernas y el consumismo, tienden a incrementar la tasa de generación de residuos, lo que junto con una ineficiente gestión (quemados al aire libre, mala disposición en vertederos, deficiencias reglamentarias y de fiscalización, etc.); provoca contaminación ambiental, daños a la salud, conflictos sociales y políticos.

Algunos reportes ⁽³⁾ señalan que en Chile, entre los años 2000 y 2009 la cantidad de RS aumento en un 42%. Como dato, en el año 2009, la cantidad de residuos sólidos generada fue de aproximadamente 16,9 millones de toneladas de las cuales el 38,5% fueron de RSM ⁽⁴⁾ y el resto a RSI ⁽⁵⁾. En el siguiente cuadro se detallan los volúmenes generados de RSM por región durante el año 2009:

Región	Residuos SD
Arica y Parinacota	114.489
Tarapacá	189.806
Antofagasta	196.289
Atacama	103.433
Coquimbo	220.860
Valparaíso	587.600
R.M.	2.807.247
Libertador Bernardo O'Higgins	239.833
Maule	359.862
Bío Bío	645.875
Araucanía	425.234
Los Ríos	147.563
Los Lagos	369.925
Aysén	44.918
Magallanes	64.524
Total	6.517.458

⁽³⁾: Fuente: Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile, 2010.

⁽⁴⁾: RSM: Residuos Sólidos Municipales o Domiciliarios.

Considera los residuos domiciliarios y asimilables no peligrosos.

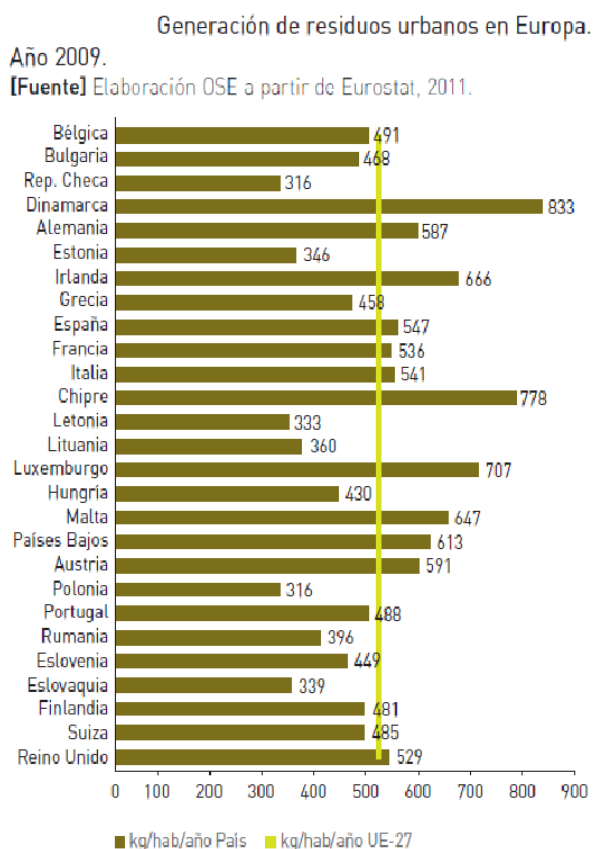
⁽⁵⁾: RSI: Residuos Sólidos Industriales.

La generación de residuos sólidos municipales a nivel nacional (periodo 2000 – 2009) experimentó un incremento gradual estimado en un 2,5% anual. En el siguiente cuadro se muestra la tendencia de los últimos años.

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
kg(**)	326	334	341	348	355	359	369	376	383	384

(**) Kg por persona de RSM generados en Chile.

A modo de comparación, en la siguiente gráfica se muestra la tasa de generación de basura en algunos países de Europa.



Como dato, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), estima que sus países miembros generan en promedio 550 kg de basura por habitante al año.

Aún la sociedad no comprende plenamente el daño ambiental que causa la excesiva generación de basura y su mala gestión, como tampoco la importancia de los conceptos de reciclaje y reutilización de los desechos, aunque en los últimos años tienen una mayor relevancia comunicacional.

Actualmente se da énfasis en desarrollar el concepto del **Ciclo de Vida de los Materiales**, por medio del uso eficiente de las materias primas a fin de buscar nuevas alternativas para “reutilizar” las partes componentes de los productos, considerándolos como insumos reciclables.

La naturaleza enseña que todo lo producido es reintegrado al medio ambiente, y con los desechos generados por el hombre se debería aplicar el mismo principio, es decir, que todo sea reaprovechado de alguna forma. Surge así el reciclaje como una solución para reducir el volumen de basura destinados a los vertederos. Al respecto existen varias iniciativas y su ejecución depende principalmente de las políticas públicas, de un marco legal y fiscalizador apropiado, del actuar industrial y de la sociedad en su conjunto. Algunas acciones que permiten controlar los problemas vinculados con la basura pueden ser:

- Reducir la cantidad de residuos que se generan (optimizar procesos y uso eficiente de las materias primas).
- Gestionar adecuadamente los residuos no reciclables.
- Tecnificar las áreas de tratamiento, disposición y almacenamiento de la basura.
- Aprovechar la parte orgánica de la basura: compostaje y obtención de biogás.

Respecto a los RSI, éstos han experimentado un aumento estimado de un 4,8% anual (periodo 2000 - 2009), alcanzando el año 2009 alrededor de 10,408 Millones de toneladas. En el siguiente cuadro se detallan los tipos de residuos, en función del área productiva o fuente generadora.

Sector	Millones ton.	%
Manufactura	1,83	18
Mineros	0,63	6
Agrícolas y forestales	1,56	15
Construcción	5,82	56
Energía	0,47	5
Purificación Agua	0,08	1

Fuente: Reporte del manejo de residuos sólidos en Chile, 2010.
Comisión Nacional del Medio Ambiente.

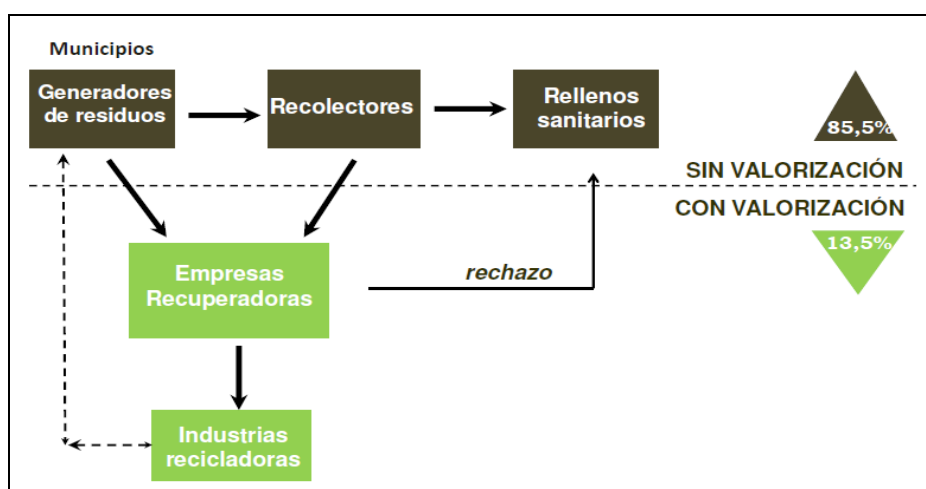
La generación de residuos está vinculada con los modelos productivos del país. Un desarrollo productivo sustentable debe centrarse en mantener un crecimiento económico sin que aumenten los residuos. Se podría esperar que la generación de residuos crezca por debajo del PIB, o bien, disminuya a pesar que el PIB aumente.

El país en los últimos años incrementó notablemente su PIB (ver siguiente tabla), y además elevó la generación de los desechos sólidos industriales y municipales. Es fundamental establecer políticas y estrategias que apunten a un desarrollo económico sustentable que permita establecer modelos productivos que reduzcan la cantidad de residuos, que optimicen el uso de las materias primas, que fomenten el reciclaje de productos, que establezca lugares de acopio apropiados conforme al marco regulador vigente y que faciliten la valoración energética (uso de los residuos como combustibles para un determinado proceso productivo).

Año	PIB %	Millones de US\$	Millones de \$ 2003
2003	3,92	76.521	51.156.415
2004	6,04	99.446	54.246.819
2005	4,27	123.445	57.262.645
2006	5,69	154.681	59.890.971
2007	5,16	173.294	62.646.126
2008	3,29	182.787	64.954.930
2009	-1,04	174.140	63.963.490
2010	6,1	217.075	67.353.554

Fuente: PIB en Chile (Base 2003). Banco Central.

En Chile, el manejo de los residuos se concentra principalmente en su disposición final y en una escasa valorización (tasa aproximada de valorización 13%, CONAMA 2010. Ver esquema adjunto). Las mejoras en la gestión de RSD apuntan básicamente a su recolección y disposición. En el año 1995 el 100% de los RSD se destinaba a los vertederos (lugares que sólo cuentan con autorización sanitaria) y basurales (lugares que no cumplen con la legislación vigente y no poseen autorización sanitaria), bajando a un 40% el año 2005. El resto de los residuos se destino a rellenos sanitarios que cumplieron las normas ambientales y sanitarias vigentes (Fuente: CONAMA 2005).



Fuente: "Valorización de Residuos Sólidos Municipales", R. Leiva N. 2012.

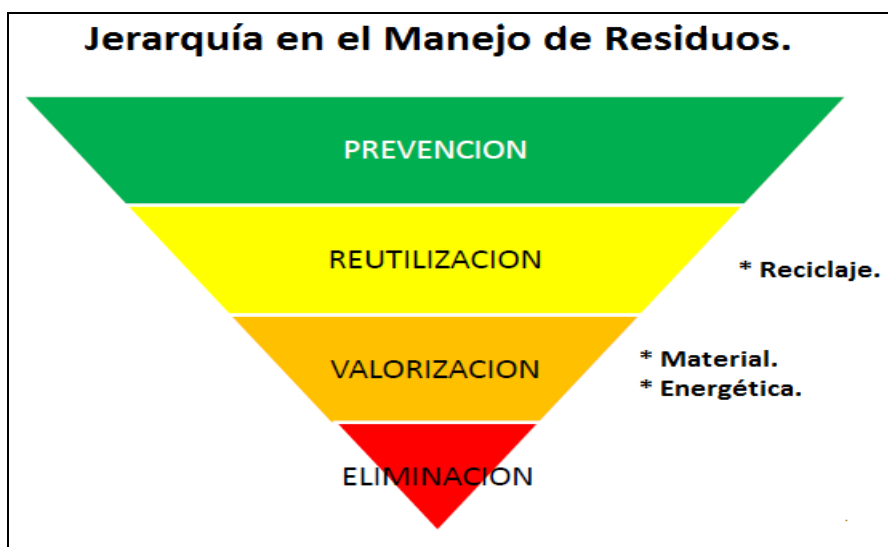
2.1.2 Valorización de los residuos.

En Chile se tienen 3 tipos de destinos regulados para la eliminación de residuos:

- Basurales.
- Rellenos sanitarios y vertederos.
- Incineraciones sin recuperación de energía.

Los rellenos sanitarios y vertederos, concentran el mayor número de instalaciones (114 centros según catastro, CONAMA 2009), aunque con el transcurso de los años, su cantidad ha disminuido debido al cierre de algunos sitios por término de la vida útil, o bien, por incumplimientos sanitarios.

La gestión moderna de residuos urbanos se basa en un desarrollo económico sustentable. Como referencia, en la Unión Europea, el marco legislativo en materia de residuos se manifiesta a través de la Directiva 2008/98/CE, que obliga a los estados miembros a fomentar el desarrollo de tecnologías limpias, la valorización de los residuos mediante políticas de reutilización y reciclado, así como el uso de los residuos como fuente de energía. Lo anterior se resume bajo el concepto de “Jerarquía en el manejo de residuos”, y que se detalla a continuación.



Fuente: “Valorización de Residuos Sólidos Municipales”, R. Leiva N. 2012.

Prevención: Corresponde a un conjunto de medidas destinadas a conseguir la reducción de residuos (sustancias peligrosas o contaminantes) en un proceso productivo.

Reutilización: Es utilizar un producto o material varias veces, o bien, darle otro uso (por ejemplo, reutilizar las botellas de vidrio para almacenar productos del hogar).

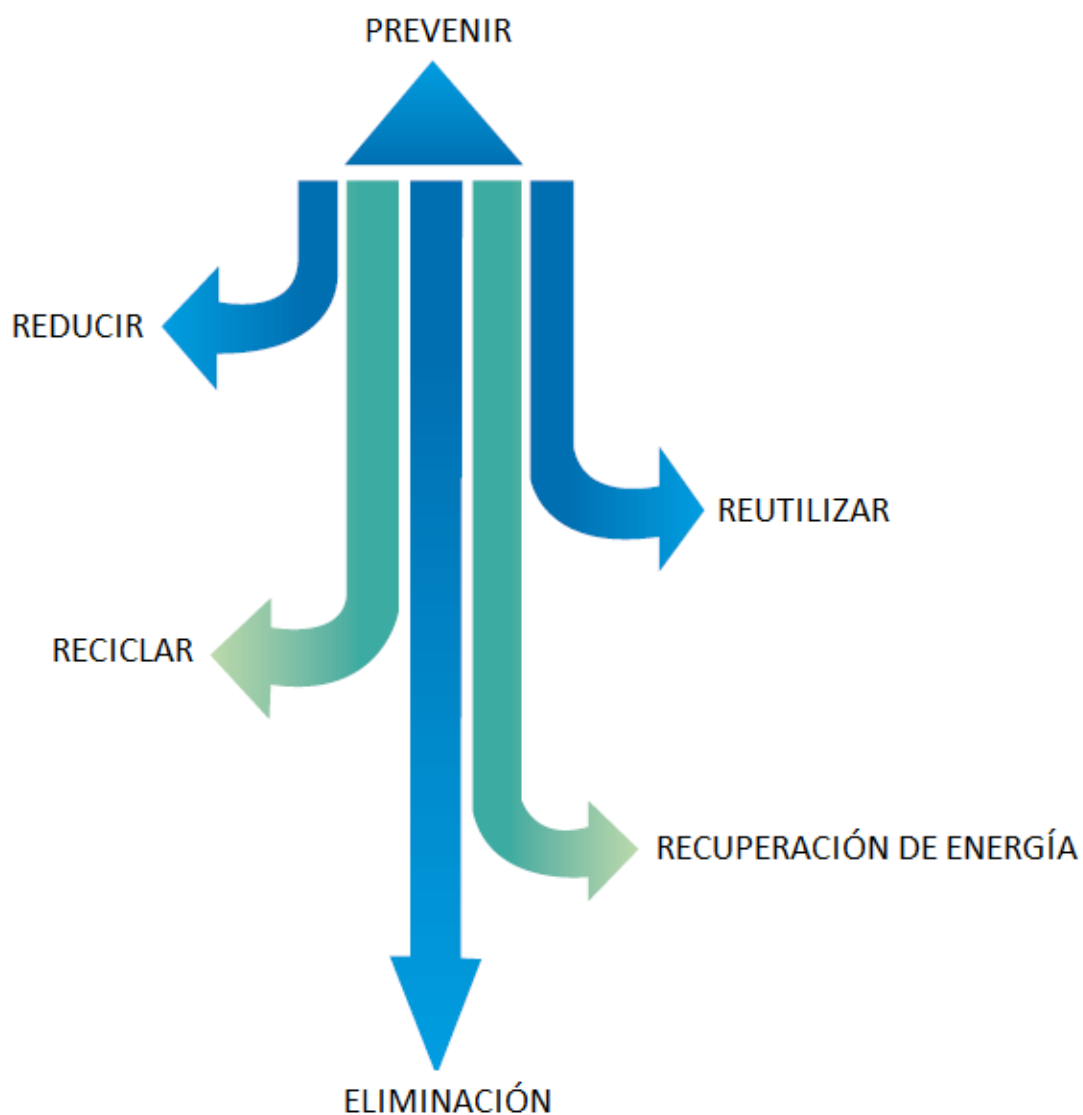
Este concepto también se relaciona con el **reciclaje** que consiste en una serie de transformaciones físicas, químicas o biológicas que dan como resultado una materia prima que se puede introducir nuevamente en un proceso productivo.

Valorización: Es el centro de toda política sustentable de gestión de residuos. Son acciones que permiten recobrar el valor de los residuos para los procesos productivos, por medio de estrategias de recuperación de materiales y de aprovechamiento energético.

- ***Valorización de materiales:*** exige una separación de los residuos en origen, por lo tanto, es vital la acción de los consumidores finales. Al mantener la estructura de los materiales recuperados se reduce la necesidad de insumos y la energía adicional para elaborar un nuevo producto.
- ***Valorización energética:*** sustitución parcial de los combustibles fósiles tradicionales por combustibles derivados de residuos que se pueden obtener por operaciones de incineración con recuperación de energía, co-incineración en procesos industriales a altas temperaturas, biometanización, desgasificación de vertederos, procesos basados en la generación de plasma, incineración catalítica, gasificación, pirólisis, termólisis, incineración electroquímica, con el fin de obtener una nueva fuente energética.

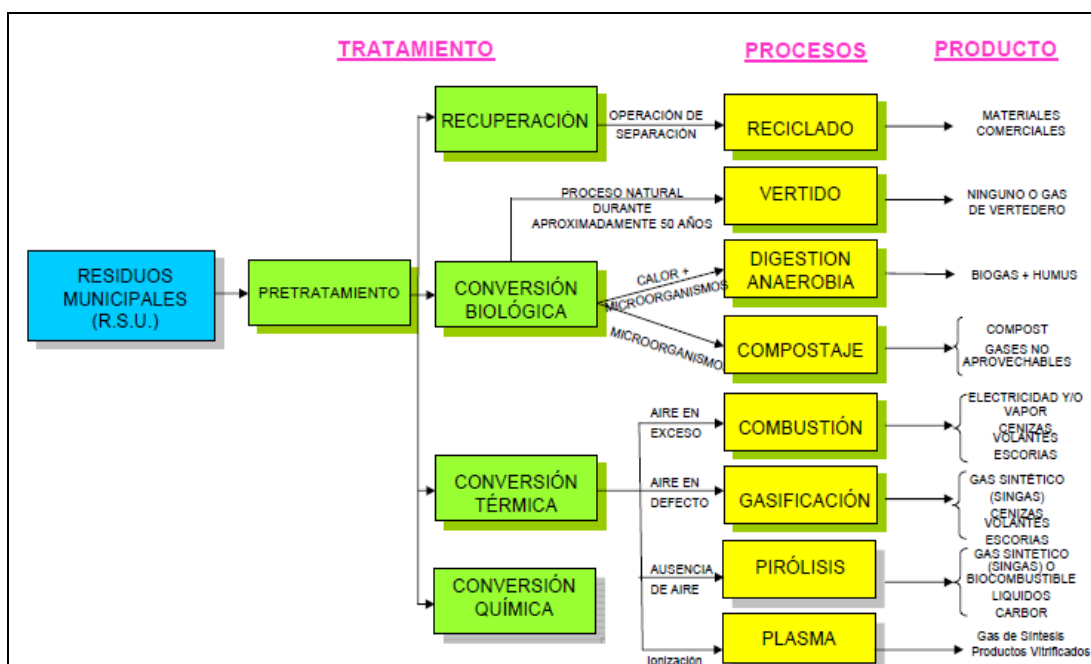
Eliminación: Corresponde a la incineración de los residuos sin recuperación de energía y/o al traslado a los lugares de disposición final.

En el siguiente esquema se muestra la secuencia natural y lógica que debería seguir una adecuada gestión de residuos:



Fuente: http://www.epa.ie/downloads/advice/waste/municipalwaste/EPA_MSW_Pre-Treatment_Guide_final%20Amended.pdf

Sin lugar a dudas se deben tomar acciones que permitan recuperar los residuos para usarlos posteriormente en procesos productivos, elaborar nuevos materiales o transformarlos en energía. Existen diferentes procesos que permiten la valorización de los RSD, y que se detallan en el siguiente esquema:



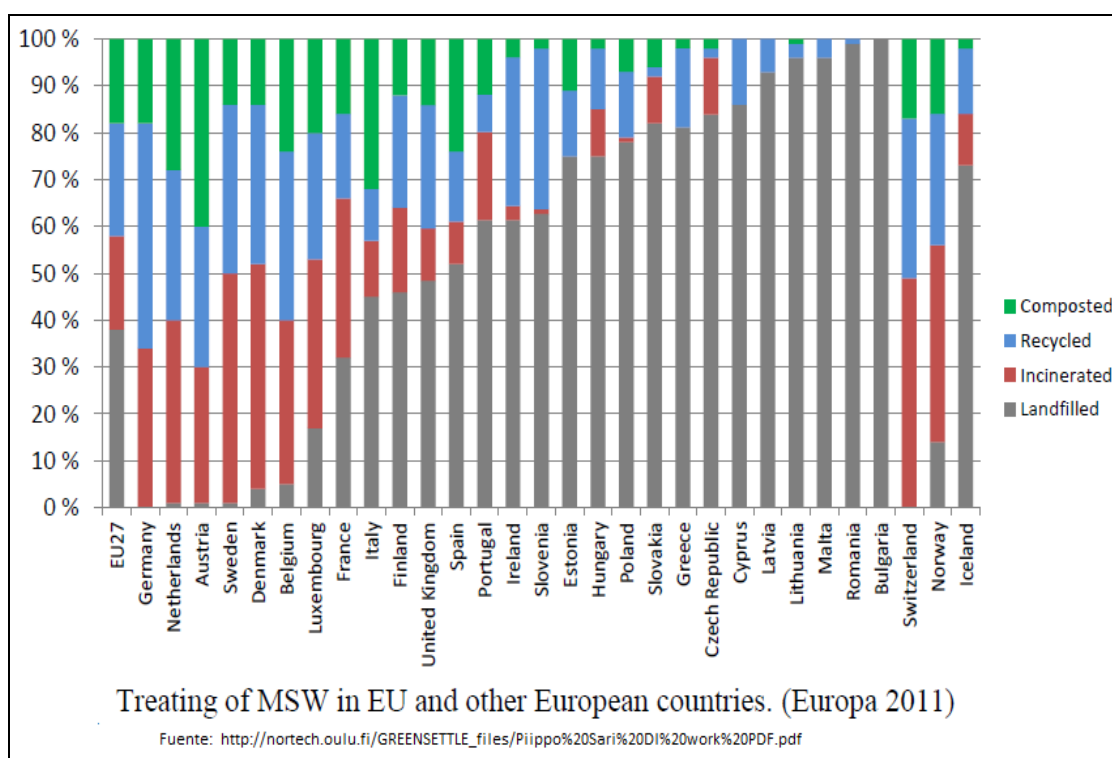
Fuente: La Tecnología de la Gasificación aplicada a los Residuos Sólidos, 2009. www.cresidusvoc.org/recursos/crvo/recursos/s020203__p_a_maillo.pdf

NOTA: R.S.U.: Residuos Sólidos Urbanos se consideran como R.S.M. (Residuos Sólidos Municipales).

En Chile, la valorización de los residuos domiciliarios se centra en instalaciones destinadas al compostaje, reciclaje e incineración sin recuperación de energía y otras valorizaciones (Lombricultura).

En Chile, se estima que del total de residuos generados, alrededor de un 10% se destina a su valorización y el 90% se elimina (Disposición final de residuos municipales: 60% rellenos sanitarios, 20% vertederos y 20% basurales). A modo de comparación, España lleva más del 52% de sus residuos a vertederos, en cambio algunos países desarrollados destinan en promedio sólo el 38% (Fuente: IDEA, Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, 2011).

En materia de reciclaje de residuos: España recicla el 15%; mientras que Alemania recicla un 48% y no envía desechos a los vertederos. La media en países desarrollados está en torno del 24%. En la siguiente gráfica, se detalla el destino de los residuos generados en otros países europeos.



Fuente: Eurostat/Sustainable development indicators/Sustainable consumption and production/Resource productivity/Municipal waste generated/Municipal waste treatment, by type of treatment method.

En Chile la valorización y eliminación de los residuos sólidos domiciliarios durante el año 2009 se muestra en las siguientes tablas:

Actividad de VALORIZACIÓN	Toneladas Procesadas
Compostaje	28.682
Reciclaje	23.994
Lombricultura	2.453
Incineración (*)	603

(*) CON recuperación de energía. Fuente: CONAMA 2010.

Actividad de ELIMINACIÓN	Toneladas Procesadas
Rellenos Sanitarios y Vertederos	5.555.907
Incineración (**)	8.736
Basurales	549.507

(**) SIN recuperación de energía. Fuente: CONAMA 2010.

Cabe señalar que, en economías más desarrolladas, el envío de los residuos urbano a los vertederos tiende a bajar con años en favor de otras prácticas de valorización. En el siguiente cuadro, se aprecia la tendencia que experimento la valorización de los RSU en la Unión Europea (EU) desde el año 1995 al 2009.

Municipal waste landfilled, incinerated, recycled and composted in the EU-27, 1995 to 2009																
	1995	2009	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Change 1995-2009
million tonnes																
Landfill	141	138	140	137	138	139	135	131	124	117	109	108	106	100	96	-32 %
Incineration	31	32	33	34	36	38	39	41	41	43	47	49	50	50	51	63 %
Recycling	22	23	28	30	37	38	40	46	47	49	51	54	57	59	59	172 %
Composting	13	15	16	18	21	27	28	32	34	36	38	40	42	44	45	239 %
kg per capita																
Landfill	296	290	293	285	287	288	278	269	254	239	221	219	213	201	191	-35 %
Incineration	65	66	70	71	76	79	81	85	84	89	95	99	100	99	101	56 %
Recycling	46	48	58	62	77	78	83	95	97	100	105	109	116	118	118	159 %
Composting	28	31	33	37	44	55	58	65	69	74	78	82	85	88	89	224 %

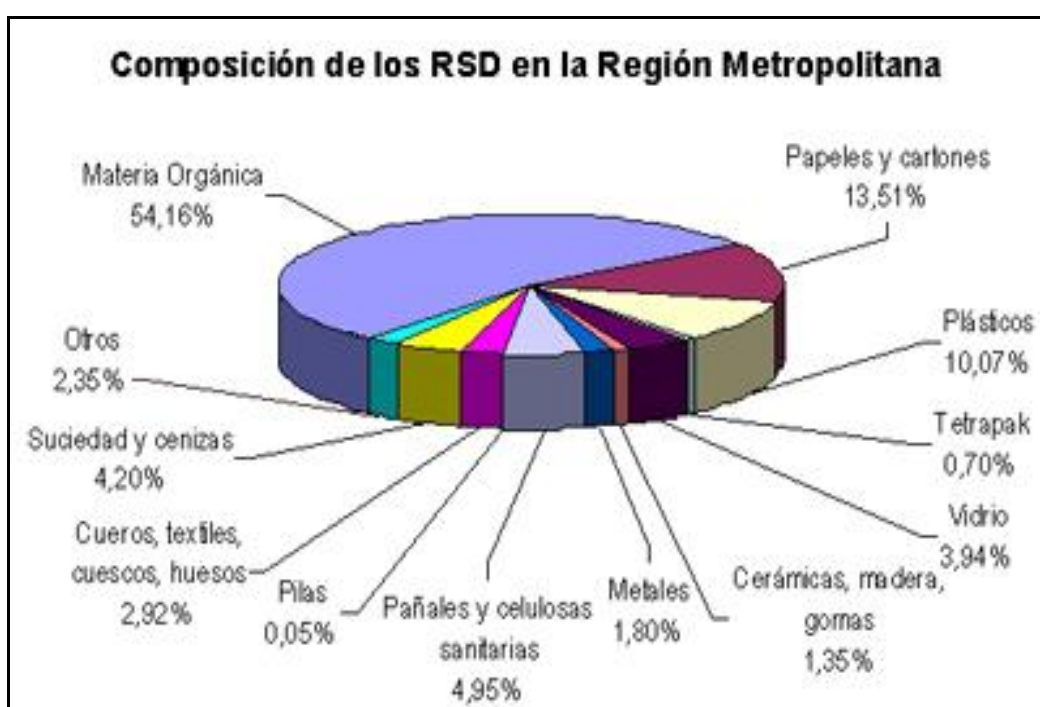
Source: Eurostat (online data code: [env wasmun](#))

Fuente: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-11-031/EN/KS-SF-11-031-EN.PDF

2.1.3 Caracterización de los residuos.

La composición de los residuos, es una variable crítica para cualquier proyecto de valorización, ya que así se sabe los tipos de RSU económicamente factibles de ser recuperados.

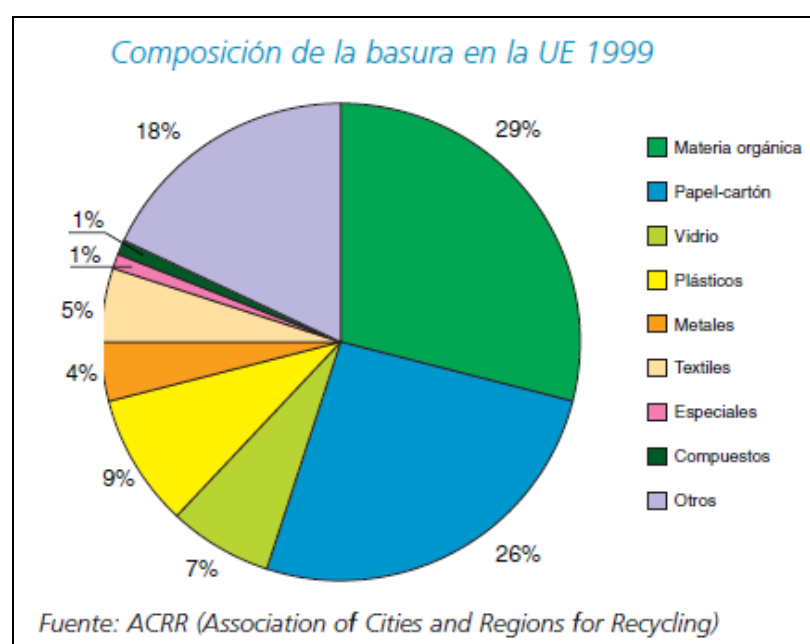
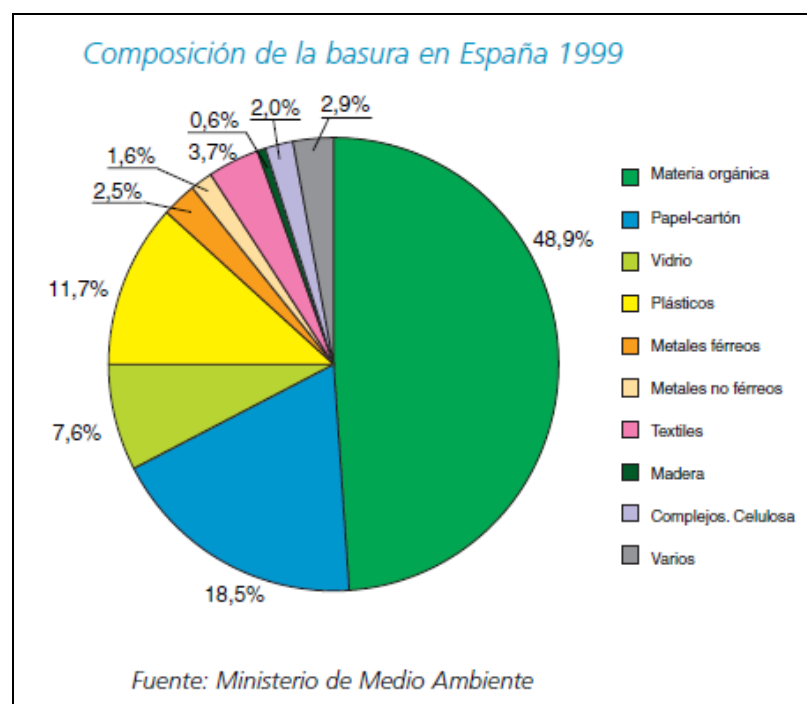
En la siguiente gráfica, se presenta los resultados de un estudio realizado sobre las características de los residuos domiciliarios generados en Chile (con datos muestrales de Santiago).



Fuente: CONAMA 2005.

Se aprecia que los residuos, presentan una importante carga orgánica, más del 50%. Los papeles y plásticos también tienen una gran participación en la basura domiciliaria.

En los siguientes gráficos se tiene el resultado de un estudio sobre la composición de residuos en España y la UE durante el año 1999. También se observa que la basura generada posee una alta composición orgánica.



En la siguiente tabla, se observan los resultados de un estudio (2006) relacionado con la caracterización de los residuos urbanos en Estados Unidos y otros países. También se observa un alto porcentaje de materia orgánica en la mayoría de los países.

Selected global waste composition data (Barlaz 2006)

Waste component	US 2001	Singapore 2000	UK 2004	Germany	Spain 2001	Australia 1999
Total paper	28.0	20.6	19	10.3	21	9.9
Newsprint	3.0					
Office paper	2.1					
Magazines	0.9					
Boxes	5.4					
Other paper	16.6					
Total metals	7.4	3.2	8	5.4	4	7.1
Aluminium cans	0.5					
Steel cans	0.6					
Other metals	6.3					
Total plastics	14.9	5.8	7	7.9	11	7.3
PET	0.3					
Milk and water bottles (HDPE)	0.3					
Other plastic	14.3					
Total glass	6.3	1.1	4	4	7	6.8
Glass containers	5.3					
Other glass	1.0					
Food waste	15.8	38.8				38.1
Yard waste	7.5	2.7				17.8
Compostables			41	26.0	44	
Textiles, rubber and leather	8.5	0.9	2	3.5	5	
Wood	7.4	8.9	6	3.3		6.4
Other	2.0	15.3	13	34.5	8	6.6
Miscellaneous inorganics	2.2	2.7		5.1		

*Third International Workshop "Hydro-Physico-Mechanics of Landfills"
Braunschweig, Germany; 10 - 13 March 2009*

En las siguientes tablas se presenta la caracterización de los residuos municipales en varios países, según estudios realizados en el año 2007.

Composition of Municipal Waste: latest year								last update: June 2007
	latest year available	Paper, paperboard	Organic material	Plastics	Glass	Metals	Textiles	Other Inorganic material
		%	%	%	%	%	%	%
Albania	2005	10.0	38.2	7.6	4.7	5.3	8.4	25.8
Algeria	2000	10.1	76.5	2.7	1.0	2.9	2.1	4.7
Andorra	2005	25.8	19.1	14.4	11.1	2.7	2.2	24.7
Argentina	2001	24.0 ¹	40.0 ¹	14.0 ¹	5.0 ¹	2.0 ¹	3.0 ¹	12.0 ¹
Armenia	2004	24.0	33.1	42.9
Australia	2003	23.0	47.0	4.0	7.0	5.0	...	13.0 ²
Austria	2004	22.0 ³	35.0 ³	11.0 ³	8.0 ³	5.0 ³	...	19.0 ³
Bangladesh	2004	5.3 ⁴	70.9 ⁴	6.6 ⁴	0.5 ⁴	0.4 ⁴	7.8 ⁴	8.5 ⁴
Belarus	2004	28.0	29.0	10.0	13.0	7.0	7.0	6.0
Belgium	2003	17.0	39.0	5.0	7.0	3.0	...	29.0
Belize	1997	20.0	60.0	5.0	5.0	5.0	...	5.0
Benin	2002	3.1	52.1	7.3	1.6	1.6	1.1	...
Bolivia	1999	6.0 ⁵	24.1 ⁵	7.9 ⁵	1.8 ⁵	1.1 ⁵	1.2 ⁵	57.3 ⁵
Brazil	2004	12.6 ⁶	59.9 ⁶	15.5 ⁶	3.4 ⁶	1.7 ⁶	1.5 ⁶	5.4 ⁶
Brunei Darussalam	2002	26.0	37.0	13.0	6.0	...	2.0	16.0
Burkina Faso	1993	5.0 ⁷	...	4.0	...	34.0
Canada	2004	47.0 ⁸	24.0 ⁸	3.0 ⁸	6.0 ⁸	13.0 ⁸	...	8.0 ^{2,8}
Chile	1998	18.8 ⁹	49.5 ⁹	10.2 ⁹	1.6 ⁹	2.2 ⁹	4.3 ⁹	...
China, Hong Kong SAR	2005	25.8	36.1	18.6	3.7	2.5	2.9	8.4
China, Macao SAR	2002	10.6	58.9	16.6	5.0	2.8	6.1	...
Colombia	2005	11.3	54.4	10.1	4.5	2.2	1.9	15.6
Costa Rica	2005	20.6	52.1	17.7	2.3	2.1	4.1	1.1
Croatia	2002	4.8	80.0	2.5	0.8	0.9	0.8	10.2
Cuba	2005	12.3	68.9	9.6	4.6	1.6	3.0	...
Cyprus	2001	27.2	37.8	11.3	1.2	9.1	6.1	7.3
Czech Republic	1996	8.0	18.0	4.0	4.0	2.0	2.0	61.0
Denmark	2003	27.0 ¹⁰	29.0 ¹⁰	0.8 ¹⁰	5.0 ¹⁰	6.0 ¹⁰	...	32.0 ^{2,10}
Dominican Republic	2000	13.8 ¹¹	39.0 ¹¹	35.8 ¹¹	1.1 ¹¹	0.6 ¹¹	4.3 ¹¹	5.4 ¹¹
Egypt	2000	15.5	55.0	7.5	3.0	4.5	3.5	11.0
Finland	2000	40.0	33.0	10.0	5.0	5.0	...	7.0
France	2002	20.0	32.0	9.0	10.0	3.0	...	26.0 ²
Georgia	2005	34.0	39.0	3.0	3.0	5.0	5.0	...
Germany	2002	34.0 ¹²	14.0 ¹²	22.0 ¹²	12.0 ¹²	5.0 ¹²	...	12.0 ^{2,12}
Greece	1997	20.0	47.0	9.0	5.0	5.0	...	16.0 ²
Guatemala	1995	29.0	...	23.5	1.5	0.0	8.0	20.2
Hungary	2005	15.0 ¹³	29.0 ¹³	17.0 ¹³	2.0 ¹³	2.0 ¹³	...	35.0 ^{2,13}
Iceland	2003	26.0 ³	26.0 ³	17.0 ³	4.0 ³	3.0 ³	...	24.0 ^{2,3}
India	2004	2.8	35.0	1.6	0.9	0.3	1.0	58.0
Indonesia	2005	20.6 ¹⁴	55.4 ¹⁴	13.3 ¹⁴	1.9 ¹⁴	1.1 ¹⁴	0.6 ¹⁴	4.7 ¹⁴
Ireland	2005	31.0 ¹⁵	25.0 ¹⁵	11.0 ¹⁵	5.0 ¹⁵	4.0 ¹⁵	...	23.0 ^{2,15}
Israel	1999	32.0	19.0	36.0	2.0	4.0	0.0	7.0

Composition of Municipal Waste: latest year								last update: June 2007
	latest year available	Paper, paperboard	Organic material	Plastics	Glass	Metals	Textiles	Other Inorganic material
		%	%	%	%	%	%	%
Italy	2005	28.0 ¹⁶	29.0 ¹⁶	5.0 ¹⁶	13.0 ¹⁶	2.0 ¹⁶	...	22.0 ^{2,16}
Jamaica	2004	17.0 ¹⁷	56.0 ¹⁷	12.0 ¹⁷	4.0 ¹⁷	5.0 ¹⁷	3.0 ¹⁷	3.0 ¹⁷
Japan	2000	33.0	34.0	13.0	5.0	3.0	...	12.0
Korea, Republic of	2004	24.0	28.0	8.0	5.0	7.0	...	28.0 ²
Lebanon	1998	17.0	51.0	10.0	9.0	3.0	3.0	7.0
Luxembourg	2003	22.0 ¹⁸	45.0 ¹⁸	0.8 ¹⁸	12.0 ¹⁸	4.0 ¹⁸	...	16.0 ^{2,18}
Madagascar	2003	3.5 ¹⁹	52.2 ¹⁹	1.4 ¹⁹	0.8 ¹⁹	1.3 ¹⁹	3.5 ¹⁹	37.4 ¹⁹
Mali	1995	3.5	17.5	2.0	1.0	3.5	1.0	...
Mauritius	2004	10.0	70.0	9.0	3.0	2.0	4.0	2.0
Mexico	2006	15.0	51.0	6.0	6.0	3.0	...	18.0 ²
Monaco	2002	0.3	...	1.4 ²⁰	0.6	2.8
Morocco	1999	7.5 ²¹	60.0 ²¹	7.0 ²¹	2.0	2.5 ²¹	2.0	...
Nepal	2004	10.4	66.0	16.3	1.4	0.8	3.6	1.5
Netherlands	2004	26.0 ²²	35.0 ²²	19.0 ²²	4.0 ²²	4.0 ²²	...	12.0 ^{2,22}
New Zealand	1995	21.0 ²³	56.0 ²³	8.0 ²³	3.0 ²³	7.0 ²³	...	5.0 ^{2,23}
Niger	2005	2.0	38.0	2.0	0.0	1.0	...	57.0
Nigeria	2000	8.0 ²⁴	...	4.8 ²⁴	3.1 ²⁴	...	11.3 ²⁴	...
Norway	2001	33.0 ³	30.0 ³	9.0 ³	4.0 ³	4.0 ³	...	20.0 ^{2,3}
Palestine	2005	1.8	81.3	0.4	0.0	0.0	0.0	16.5
Panama	2000	25.0 ²⁵	44.0 ²⁵	11.0 ²⁵	8.0 ²⁵	5.0 ²⁵	4.0 ²⁵	3.0 ²⁵
Peru	2001	7.5	54.5	4.3	3.4	2.4	1.6	26.4
Poland	1990	10.0	38.0	10.0	12.0	8.0	...	23.0 ²
Portugal	2001	21.0	34.0	11.0	7.0	4.0	...	23.0 ²
Serbia	1999	37.0	5.0	12.0	10.0	5.0	...	31.0
Singapore	2005	24.3	21.4	14.9	1.4	20.0	2.0	16.0
Slovakia	2002	13.0	38.0	7.0	8.0	3.0	...	31.0
Spain	2002	21.0 ²⁶	49.0 ²⁶	12.0 ²⁶	8.0 ²⁶	4.0 ²⁶	...	7.0 ²⁶
Sri Lanka	2004	6.5	68.9 ²⁷	5.9	2.0	2.8	6.0 ²⁸	7.9
St. Vincent and the Grenadines	2002	32.3	33.6	12.4	8.2	5.6	5.8	2.1
Sweden	2005	68.0 ²⁹	...	2.0 ²⁹	11.0 ²⁹	2.0 ²⁹	...	17.0 ^{2,29}
Switzerland	2002	20.0 ³⁰	29.0 ³⁰	15.0 ³⁰	4.0 ³⁰	3.0 ³⁰	...	29.0 ^{2,30}
Syrian Arab Republic	2004	10.0	60.0	12.0	2.5	4.0	2.5	7.0
The Former Yugoslav Rep. of Macedonia	1995	24.0	...	11.0	5.0	3.0	4.0	8.0
Trinidad and Tobago	2003	32.2 ³¹	14.4 ³¹	23.6 ³¹	2.5 ³¹	15.7 ³¹	1.6 ³¹	9.9 ³¹
Tunisia	2003	10.0	68.0	11.0	3.0	4.0	2.0	2.0
Turkey	1993	6.0 ³²	64.0 ³²	3.0 ³²	2.0 ³²	1.0 ³²	...	24.0 ^{2,32}
Turks and Caicos Islands	2004	31.5	21.8 ³³	16.3	20.5	7.6	0.5	1.9
United Kingdom	2000	18.0	40.0	8.0	7.0	8.0	...	19.0 ²
United States	2005	34.0	25.0	12.0	5.0	8.0	...	16.0 ²
Uruguay	2003	20.0 ³⁴	53.5 ³⁴	11.0 ³⁴	3.0 ³⁴	5.0 ³⁴	2.0 ³⁴	5.5 ³⁴
Zimbabwe	2005	40.0 ³⁵	28.0 ³⁵	20.0 ³⁵	3.0 ³⁵	2.0 ³⁵	5.0 ³⁵	2.0 ³⁵

Sources:
 UNSD/UNEP 2001, 2004 and 2006 questionnaires on Environment statistics, Waste section
 OECD/Eurostat 2004 questionnaire on Environment statistics, Waste section
 OECD Environmental Data, Compendium 2006/2007, waste section

Fuente: http://unstats.un.org/unsd/environment/Questionnaires/Website%20tables%20and%20Selected%20Time%20Series/composition_municipal_waste_latestyear.pdf

Como dato particular, en la región metropolitana (en otras regiones está sujeto a variación), la composición de los RSD tiene una directa relación con el poder adquisitivo de sus habitantes, tal y como se presenta en el siguiente cuadro. Por ejemplo, los sectores con alto poder de compra acusan un mayor porcentaje de basura compuesta de plásticos, vidrios, papeles, metales y vidrio.

Componente / Material	Sector Socioeconómico				
	Valor promedio %	Alto (20.5%) %	Medio Alto (34.1%) %	Medio Bajo (31.6%) %	Bajo (13.7%) %
Materia orgánica.	49.3	48.8	41.8	54.7	56.4
Papeles y cartones.	18.8	20.4	22	17	12.9
Escoria, cenizas, loza.	6.0	4.9	5.8	6.1	7.6
Plásticos	10.2	12.1	11.5	8.6	8.1
Textiles	4.3	2.3	5.5	3.5	6.0
Metales	2.3	2.4	2.5	2.1	1.8
Vidrios	1.6	2.5	1.7	1.3	1.0
Huesos	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4
Otros *	6.9	6.1	8.7	6.1	5.8
Producción per cápita (Kg/habitante/día)	0.77	1.07	0.85	0.65	0.57

Fuente: Residuos sólidos domiciliarios. La basura que nadie quiere. Conama RM on line. Extraído el 19 de noviembre de 2003. Estudio de composición y proyección de RSD en la provincia de Santiago. (U. de Chile, 1995.)

2.2 Disposición final de los residuos.

Desde un comienzo, el medio ambiente (aire, agua y suelo) ha sido el recipiente de todos los desechos generados por el hombre. Inicialmente, los volúmenes de basura eran bajos por lo que no se generaba ningún problema, y dada su composición, la propia naturaleza la asimilaba, degradaba, transformaba y absorbía sin mayores complicaciones.

Actualmente, la concentración y la explosión demográfica, provoca un incremento en la generación de residuos con diversas características. Frente a este panorama, el desarrollo de rellenos sanitarios es una importante solución para la disposición, gestión y manejo de la basura. A continuación se describen algunas características de los lugares para la disposición final de los RSD.

Relleno sanitario: Es un método de ingeniería destinado para la disposición final de los RSD y los residuos sólidos asimilables. Consiste en alternar una capa de basura con una capa de tierra, sobre una membrana aislante que cubre el suelo para controlar los líquidos percolados y los gases.

Vertedero controlado: Es un sitio de acopio que cuenta con autorización sanitaria para dejar los residuos. Estas instalaciones no cumplen con todas las especificaciones técnicas dictada por la norma legal y sanitaria vigentes (Resolución N° 2.444/80 - CONAMA).

Vertedero no controlado: Estos lugares no se aplican las medidas de protección ambiental. Estos sitios corresponden al tradicional basurero clandestino que no cuenta con ningún tipo de medidas sanitarias, constituyen focos infecciosos, generan incendios espontáneos, emiten malos olores y contaminan las napas subterráneas.

Microbasural: Sitio o propiedad abandonada, próximo a los sectores habitacionales, donde se arroja todo tipo de basura.

Relleno de seguridad: Sitio de eliminación destinado a la disposición final de residuos peligrosos que representan un riesgo para la salud pública y/o tienen efectos nocivos al medio ambiente.

Relleno de residuos inertes: Disposición final de los residuos generados en faenas tales como la construcción, reparación, alteración, ampliación y demolición de edificios y obras civiles de cualquier naturaleza, sean urbanas o rurales.

Monorelleno: Lugar de acopio de un sólo tipo de residuo.

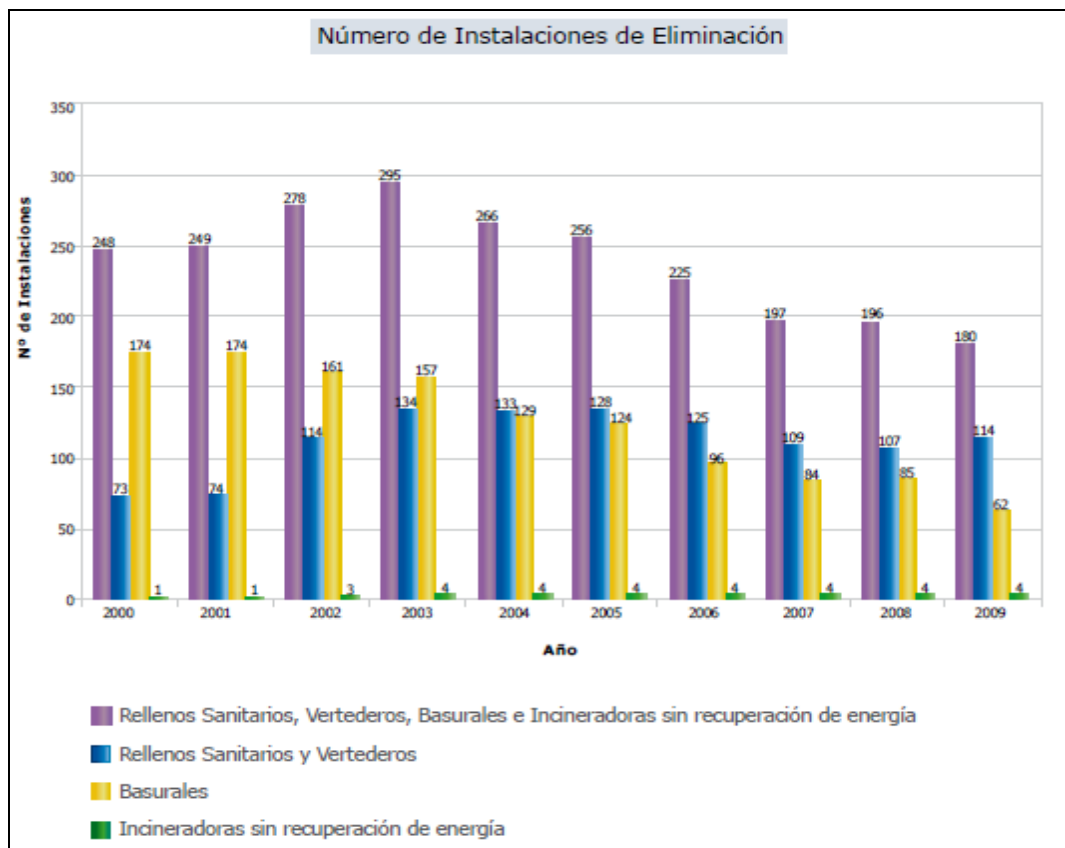
En Chile la gestión de los RSD y comerciales está a cargo de las Municipalidades y/o entidades privadas, abarcando la recolección y transporte hasta la disposición final. La disposición de los RSD se realiza en rellenos sanitarios y vertederos, sin embargo, un número importante de estos no posee la aprobación de la autoridad respectiva, ya que entre otras cosas, no disponen de sistemas de recolección de gas y de los lixiviados.

En el último tiempo, la gestión de los RSD (llamado también **Ciclo de vida de los RSD**) toma gran relevancia. En dicho ciclo es fundamental el conjunto de acciones ordenadas, tendientes a evitar los riesgos, daños o alteraciones a la salud humana, recursos y bienes. Las etapas de éste ciclo se detallan en el siguiente cuadro.

Etapas	Descripción general de los RSD.
Generación	Se produce material sobrante de alguna actividad.
Recolección	Acumulación transitoria de material.
Acopio	Reúne un volumen determinado de residuos, que justifique el costo de transportarlo a su próximo destino.
Tratamiento	Reduce el volumen (compactación), elimina parcialmente la humedad (secado) y hay separación para reciclaje.
Transporte	Traslado desde el lugar de acopio o estación de transferencia a un relleno sanitario para su disposición final.
Disposición Final	Depósito de los RSD en un vertedero o relleno sanitario.

Fuente: Investigación y elaboración personal.

En Chile, la actualización del marco regulatorio relacionados con la gestión y manejo de residuos; permitió mejorar la calidad de los lugares destinados a la eliminación los desechos. Los últimos catastros señalan que, la cantidad de sitios destinados a la eliminación de residuos disminuyó, básicamente por la reducción de los vertederos que no cumplen con la norma vigente. En la siguiente gráfica se muestra la tendencia entre el año 2000 al 2009 de los sitios de disposición de residuos en el país.



Fuente: CONAMA, 2010.

2.2.1 Reacciones y fenómenos contaminantes.

Todo material se considera biodegradable, pero algunos tardan siglos. La descomposición de los residuos está condicionada a la presencia de aire (oxígeno), luz solar y humedad. En la siguiente tabla se muestra el tiempo de biodegradación de algunos materiales:

Residuos	Tiempo de Degradación
Desechos orgánicos.	3 semanas a 4 meses.
Ropa o genero.	1 a 5 meses.
Lana	1 año
Cuero	3 a 5 años.
Papel	3 semanas a 2 meses.
Celofán	1 a 2años.
Tela	2 a 3 meses.
Madera	2 a 3 años.
Madera pintada.	12 a 15 años.
Bambú	1 a 3 años.
Lata	10 a 100 años.
Aluminio	350 a 400 años.
Plástico	500 años.
Vidrio	Indefinido.

Fuente: Proyecto de desarrollo de un Biodigestor, 2005. María V. Aliaga M.

Aunque los vertederos y rellenos sanitarios tienen algunas diferencias, ambos contaminan el entorno físico debido a la descomposición de materias orgánicas por la acción bacteriana y/o por lixiviación de los químicos solubles presentes (ver cuadro siguiente que detalla reacciones y fenómenos contaminantes según sitio de disposición final).

	Vertedero	Relleno
Reacciones y fenómenos contaminantes.	Oxidación química de los materiales.	La quema provocada o accidental libera dioxinas, ácido clorhídrico, CO ₂ y metales pesados.
	Descomposición de la materia orgánica. Generación de gases y líquidos.	Una barrera geológica (arcilla) agrietada provoca la filtración de lixiviados a las napas.
	Escape y difusión de los gases a través de las capas de basura del vertedero.	Alteración de la membrana plástica protectora por la acción de los químicos residuales.
	Movimiento y derrame de lixiviados por la diferencia de presiones.	Contaminación de napas y suelos por falla de los sistemas de recolección.
	La disolución y lixiviado de materiales orgánicos e inorgánicos por el agua y el lixiviado a través del terreno.	Napas subterráneas contaminadas por falla del tratamiento de lixiviados para eliminar sustancias tóxicas.
	El movimiento del material disuelto por gradientes de concentración y ósmosis.	Emisión de gases tóxicos como CO ₂ , Tolueno, Benceno, CH ₄ , etc.
	Emisión de gases tóxicos como NH ₃ , CO ₂ , CO, H ₂ , H ₂ S, CH ₄ , N ₂ y O ₂ , así como ácidos orgánicos volátiles.	-----

Fuente: Elaboración personal.

2.2.2 Instalaciones de disposición final.

En el año 2009, la generación de basura en Chile fue de 16,9 millones de toneladas. De éstas, 6,5 millones de toneladas fueron de residuos sólidos urbanos (o Municipales). La recolección de estos desechos alcanzó un 95% (aproximadamente 6,2 millones de toneladas), y el resto fue destinado a basurales o lugares no autorizados.

En Chile, la gestión de los residuos domiciliarios está a cargo de las municipalidades, no obstante muchas empresas privadas entran al negocio de la basura, principalmente a través de los sistemas de recolección y disposición final. Algunos municipios hacen esfuerzos por establecer contratos con las empresas responsables para que concreten acciones en la valorización de algunos productos.

A nivel nacional se reportaron las siguientes instalaciones de disposición final y de valorización:

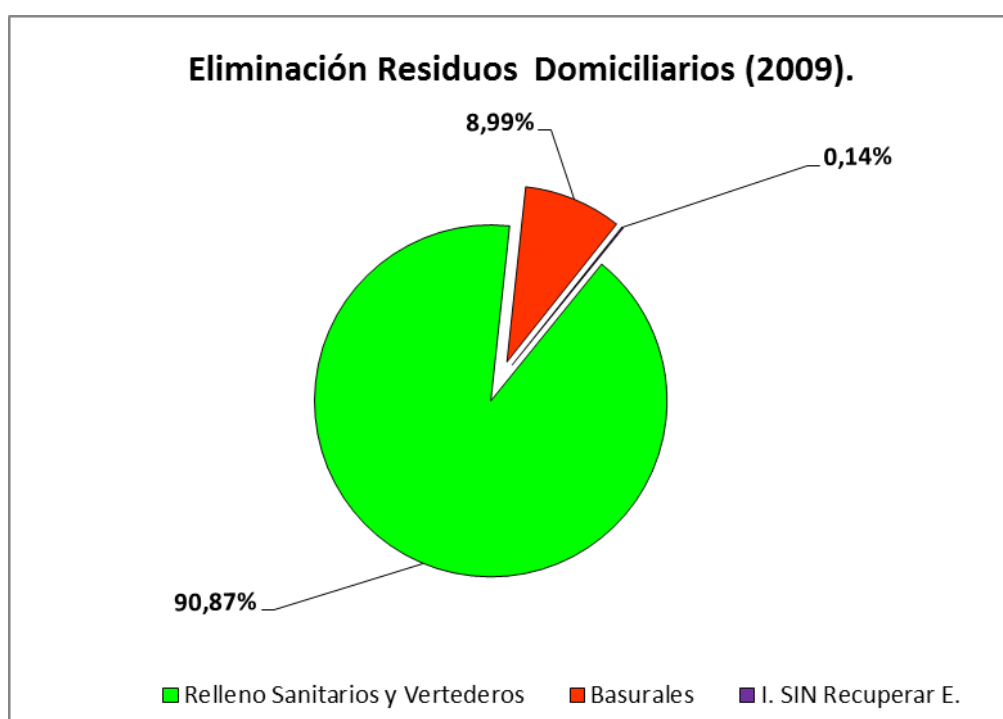
Tipo de instalación	Cantidad
Disposición final de residuos N.P. (*)	170
Disposición final de residuos P. (**)	2
Disposición final de residuos P. y N.P.	4
Tratamiento final (incineradora) residuos P.	4
Valorizadoras de residuos N.P.	97
Valorizadoras de residuos P.	26
Valorizadoras de residuos P. y N.P.	15
Total	318

Fuente: CONAMA, 2010.

(*) **N.P.:** No peligrosos.

(**) **P.:** Peligrosos.

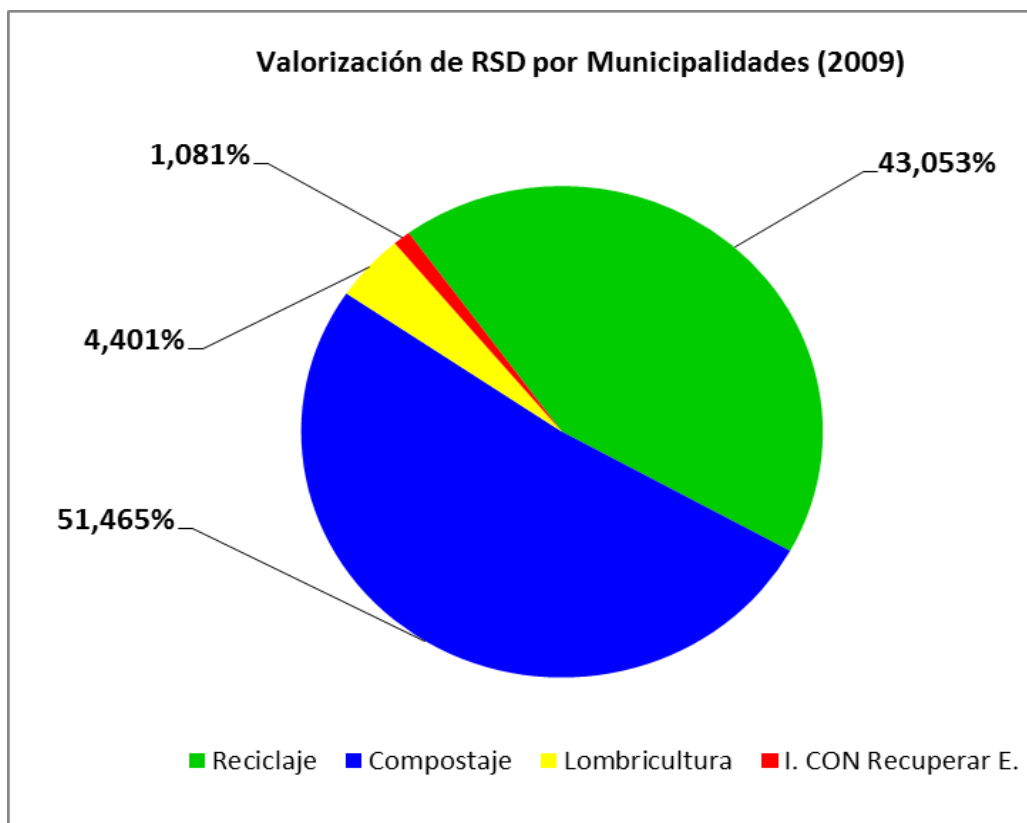
Los últimos reportes nacionales sobre disposición final de residuos domésticos, dan cuenta que se deben tomar acciones para aumentar la valorización de la basura. En la siguiente gráfica se muestra como se distribuye la eliminación de los residuos en Chile (2009). Se destaca el gran porcentaje de basura destinada a los rellenos sanitarios y vertederos, dejando en claro que aún faltan por desarrollar política que favorezcan la valorización de los desechos.



Fuente CONAMA, 2010.

A la fecha, la valorización de la basura se concentra en el aumento del mercado del reciclaje de: Metales ferrosos, aceites minerales y sintéticos, papeles y cartones, aluminio, vidrios, productos orgánicos, plásticos, envases tetrapack y otros metales no ferrosos.

En la siguiente gráfica se muestra la distribución de la recuperación de una fracción de los desechos municipales durante el año 2009 en Chile. Se destacan el reciclaje de productos y el compostaje de materiales orgánicos.



2.2.3 Normativa Chilena vigente en vertederos de basura y Biogás.

Existen diversas normas relacionadas con el manejo de los RSD, las que fueron dictadas a partir del año 1967. Con el correr de los años, las leyes además de proteger la vida y salud de las personas, velan por los ecosistemas. En el siguiente cuadro se indica el marco legal vigente:

Vigencia	Ley y Decretos	Referencia
2010	Ley 19.300 (Modifica)	Bases generales del medio ambiente modificada por ley 20.417, establece como función del MMA proponer políticas y formular normas, planes y programas en materia de residuos.
2009	D.S.N°4 MINSEGPRES	Manejo de lodos generados en las plantas de tratamientos de aguas servidas.
	D.S.N°6 MINSAL	Manejo de residuos generados en establecimientos de atención de salud.
2008	D.S.N°189 MINSAL	Regula las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios.
2007	D.S.N°45 MINSEGPRES	Normas de emisión para la incineración y co-incineración.
2004	D.S.N°148 MINSAL	Reglamento sanitario sobre el manejo de Residuos peligrosos.
2000	D.S.N°594 MINSAL	Condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, basado en D.S.745, 1993.
1994	Ley 19.300	Incorpora el tema de los residuos en el sistema de evaluación de impacto ambiental, artículo 10 i) y o). Asegura a todas las personas 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.
1992	D.S.N°685	Ratificación Convenio de Basilea sobre la regulación del movimiento transfronterizo de desechos peligrosos. Estipula obligaciones para asegurar el manejo ambiental racional de los mismos y particularmente su disposición.
1967	D.F.L.N°725 Ministerio de Salud	Establece el Código sanitario.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, MMA, 2011.

De lo anteriormente, se tiene que:

- **Constitución Política de Chile (1980):** Establece en su artículo 19 N°8, el derecho de los habitantes del país a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, como también en su artículo N°20 la facultad de acogerse al Recurso de Protección Ambiental.
- **Código Sanitario (DFL-725/1968):** Establece que corresponde a las Municipalidades: “recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del Servicio Nacional de Salud, las basuras, residuos y desperdicios que se produzcan en la vía urbana y sitios públicos”(Artículo 105 de la constitución política; ley N° 18.695/1999, orgánica constitucional de municipalidades). Dispone además que los servicios de salud son los encargados de la fiscalización, control de la disposición final, condiciones de transporte y almacenamiento de los residuos.
- **Ley de Bases del Medio Ambiente:** Fue dictada en 1994, y establece la organización y las funciones de la CONAMA, junto con los instrumentos de gestión ambiental, entre los que se encuentra el SEIA, que es un proceso que determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas ambientales vigentes. Entre estos proyectos están los de saneamientos ambientales de las plantas de tratamientos de residuos sólidos domiciliarios, los rellenos sanitarios, los sistemas de tratamiento y disposición de residuos sólidos. Para hacer operativa esta ley, en 1997 se dictó el reglamento del SEIA estableciendo que tipos de actividades y proyectos deben ser sometidos al sistema de evaluación de impacto ambiental de acuerdo al riesgo que represente para la salud de la población y/o a los efectos adversos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables.
- **Ordenanzas Municipales:** El municipio tiene la facultad de dictar Ordenanzas de Aseo y Ornato; y además Medio Ambientales para regular y controlar los aspectos afines dentro de su territorio.

Cabe señalar que proyectos vinculados con rellenos sanitarios participan del Sistema de Declaración de Impacto Ambiental.

En lo referente con la **RECUPERACIÓN y MANEJO** del biogás de los vertederos, la norma enfatiza y considera lo siguiente:

- Definir claramente el tipo y origen del biogás.
- Elaborar planes de contingencias frente a explosiones y fugas de biogás.
- Elaborar planes de cierre de los vertederos que garantice el normal proceso anaeróbico en el relleno.
- Estimar el caudal a generar, a captar y a incinerar de biogás según corresponda.
- Establecer la calidad del biogás en cuando a contenido de metano y oxígeno en la mezcla.
- Diseñar sistemas de extracción del biogás que incluyan aparatos de medición, sistemas de bombeo, control de composición, sistemas de limpieza y depuración, sistemas de filtrado del biogás, accionamientos de seguridad, entre otros.
- Elaborar planes de monitoreo y control del biogás generado, y acciones a ejecutar en caso de que se superen ciertos parámetros operacionales.
- Diseñar redes de distribución, sistema de circulación y tratamiento del biogás, incluyendo planos de planta, corte y detalle de los trazados correspondientes.
- Establecer un sistema de manejo de biogás, en base a una proyección de la cantidad de biogás que se generará, garantizando las condiciones de seguridad apropiadas en el recinto y el entorno.
- En caso de un aprovechamiento parcial del biogás (volumen inferior al proyectado en la fase de diseño), éste debe someterse a un proceso que garantice que no se formaran mezclas explosivas dentro de las instalaciones como en los alrededores.
- Implementar un plan de monitoreo de biogás (sector y frecuencia de muestreo), considerando: condiciones climáticas, distribución física de las instalaciones, geología, posibles vías de migraciones, entre otro.

- Chequear y monitorear los rangos de temperatura dentro del proceso, según corresponda.
- Monitorear la explosividad del CH₄: No se podrá exceder el 25% del límite inferior de explosividad del metano en el aire dentro del relleno sanitario ni en los alrededores. Ninguna zona al interior del relleno sanitario podrá presentar una concentración de metano mayor al límite inferior de explosividad de éste.
- Presentar informes regulares a la autoridad competente con los registros operacionales del relleno sanitario.
- Realizar un plan de monitoreo superficial del biogás.
- Realizar un plan de monitoreo de las emisiones atmosféricas del relleno.
- Establecer plan de cierre del relleno sanitario dando cuenta oportuna a la autoridad respectiva, implementar las acciones necesarias para evitar riesgos para la salud y medio ambiente respecto del manejo de lixiviados y del biogás existente.
- Se prohíbe la quema de residuos o de cualquier material dentro de las dependencias del relleno sanitario.

Por otro lado, cabe señalar que la legislación chilena, considera a la BIOMASA como una fuente generadora de energía no convencional. Al respecto se aprobó el Decreto Supremo 244, publicado el año 2006, donde rige el reglamento para los medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación establecidos en la ley general de servicios eléctricos. Este marco legal considera diferentes tipos de biomasa, entre los cuales incluyen a los Residuos Urbanos generados en los sectores residenciales, comerciales y públicos los cuales son recolectados para su disposición en un relleno sanitario.

En lo referente a la **VALORIZACIÓN** energética del biogás de vertederos, la norma, además de las consideraciones anteriores, enfatiza:

- Determinar el volumen de biogás generado por el proceso de descomposición de los residuos según las toneladas depositadas en el vertedero: valor actual y proyectado.
- Evaluar el porcentaje de Metano en la mezcla.
- Estimar el biogás enviado a la unidad de generación (central generadora).
- Diseñar la central generadora, sistema de acondicionamiento del biogás (compresión, limpieza y filtrado), sistema de captación, transporte y preparación del biogás; según corresponda.
- Diseñar una subestación elevadora de tensión y línea de transmisión; según corresponda.
- Diseñar un plan de compensación de emisiones.
- Diseñar un sistema de control de incendios, derrames, transporte de biogás, y planes de emergencias relacionados con las operaciones.
- Diseñar un plan de cierre y abandono del proyecto, según lo proyectado.

Sin perjuicio de lo anterior, las entidades fiscalizadoras se reservan el derecho de solicitar otras exigencias en función de la particularidad, complejidad y magnitud de los proyectos.

2.3 Procesos de aprovechamiento energético de los RSD.

Los residuos domiciliarios constituyen en sí una fuente de energía, la que muchas veces no se valora y se pierde. Existen varios procesos de aprovechamiento energético de la basura domiciliaria (conversión de la basura a energía), entre los cuales se destacan:

Conversión de Basura a Energía	
Procesos Térmicos	Procesos Biológicos
Incineración con recuperación de energía.	Desgasificación de Vertederos de basura.
Incineración industrial a altas temperaturas.	
Incineración catalítica.	
Incineración electroquímica.	
Pirólisis.	Biometanización.
Termólisis.	
Gasificación.	
Procesos basados en la generación de plasma.	

Fuente: "Guía de valorización energética de residuos".
Fundación de la energía de la comunidad de Madrid, 2010.

A continuación se presentan las características más relevantes de algunos de los procesos citados:

Proceso	Características	Debilidades	Característica de la Basura
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión con exceso de O₂. • Temperaturas 800°C a 1000°C. • La recuperación del calor se realiza en calderas. • Reducción del volumen de la basura en 90%. • Genera gases contaminantes escorias y cenizas. • Pueden producir 250 – 750 kWhe/tonelada 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiezas de gases de combustión. • Poca aceptación pública. • Se necesita triturar la basura antes de incinerarse (Lecho Fluidizado). 	<ul style="list-style-type: none"> • Basura mezclada y heterogénea.
Pirólisis	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento con ausencia de oxígeno. • Temperaturas 800°C a 1100°C. • Menor caudal de gases que la incineración. • Se obtiene un gas con elevado poder calorífico, aceite de pirólisis y residuo sólido carbonoso con potencial de valorización. • Los gases pirolizados pueden derivarse a una cámara de combustión para luego alimentar a una caldera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere quemar los gases para mejorar eficiencia energética. • Necesita limpiar los gases de combustión. • Requiere de mayor uso tecnológico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Homogénea. • Un solo tipo de basura. • Fácil selección.
Gasificación	<ul style="list-style-type: none"> • La basura entra en contacto con O₂ o aire en condiciones subestequiométricas • Se obtiene un gas de síntesis compuesto por H₂, CO o hidrocarburos. • Temperaturas 500°C a 1000°C. • Hay varios métodos patentados • El gas de síntesis se quema para producir energía. • Menor caudal de gases que la incineración. • Posible uso de turbinas de gas con gas de alta calidad. • Posible uso de plasma para refinar el gas de síntesis 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita limpiar los gases de combustión o el gas de síntesis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Homogénea. • Un solo tipo de basura. • Fácil selección.

Fuentes: "Valorización de Residuos", J.C.Prado. Ingeniería Química, 2009.
 "Estimación del Recurso y prospectiva energética de la basura en México", J.L.Arvizu.

Proceso	Características	Debilidades	Característica de la Basura
Plasma	<ul style="list-style-type: none"> • Es un gas que alcanza temperaturas de 3000 a 8000°C aproximadamente, lo que provoca cambios físicos y químicos de la materia. • El procedimiento se realiza mediante la inducción de un arco eléctrico entre electrodos. • Proporciona la energía necesaria para transformar la parte orgánica de la basura a gas de síntesis que puede quemarse en turbinas o para generar vapor. • No se provocan cenizas pesadas ni ligeras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere el doble de la energía para el funcionamiento de la planta. • Hay módulos que operan de las 10.000 a 50.000 toneladas anuales de basura. 	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere que este en acopios o rellenos sanitarios.
Bio Metanización	<ul style="list-style-type: none"> • Fermentación Anaeróbica (Ausencia de Oxígeno). • Se obtiene un gas combustible (METANO). 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de un tratamiento de la basura en seco para seleccionar y clasificar los materiales recuperables. • Se requiere de un digestor que recibe la materia húmeda. • La materia orgánica resultante se deriva al compostaje. • El biogás debe depurarse para su posterior uso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionada y reciclada.
Desgasificación de vertederos.	<ul style="list-style-type: none"> • El gas que se recupera se depura para la eliminación de impurezas que podrían dañar los equipos. • Se inyecta el gas depurado en motores de combustión interna que de estar acoplados a alternadores, pueden generar energía eléctrica. • También se puede inyectar el biogás a redes de gas de distribución industrial o domiciliaria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Basura con maduración para asegurar óptima calidad y volumen de biogás. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicable a vertederos de basura antiguos.

Fuentes: "Valorización de Residuos", J.C.Prado. Ingeniería Química, 2009.

"Estimación del Recurso y prospectiva energética de la basura en México", J.L.Arvizu.

"Guía de valoración energética de residuos", Fundación de la energía de la comunidad de Madrid, 2010.

CAPITULO III: FUENTES ENERGÉTICAS y BIOGAS.

3.1 Energía: Aspectos Generales.

La energía es una variable de gran importancia para el hombre. Su magnitud física está asociada con la capacidad que tienen los elementos para producir un trabajo mecánico, emitir luz o generar calor, lo cual se origina a partir de las propiedades básicas que posee un cuerpo (fuente de energía) o a través de algún proceso de transformación. Algunas unidades de medidas asociadas se muestran en el siguiente cuadro:

Magnitud	Nombre	Símbolo	Unidad SI	Unidad SI básicas
Frecuencia	Hertz	Hz	-	s^{-1}
Fuerza	Newton	N	-	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Presión	Pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energía, trabajo, calor.	Joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Potencia	Watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$

Fuente: Prontuario de Máquinas, 2000.

Otras unidades:

- Caloría. Cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua de 14,5°C a 15,5°C. Un joule equivale aproximadamente 0,24 calorías.
- Kilovatio hora (kWh) usada habitualmente en electricidad. Sus derivados MWh, MW•año
- Tonelada equivalente de petróleo = 41.840.000.000 joules = 11.622 kWh.
- Tonelada equivalente de carbón = 29.300.000.000 joules = 8.138,9 kWh.

La energía se manifiesta por cambios químicos o físicos, tales como: quemar un objeto, deformarlo, elevarlo, transportarlo, etc. Uno de los principios básicos de la energía es que “no se crea ni se destruye, sólo se transforma”.

Se entiende por **fuentes de energía** a todo fenómeno natural, artificial o yacimiento que suministre energía a un medio capaz de producir algún tipo de energía y luego consumirla (Referencia: Comisión Nacional de Energía).

Existen 2 tipos de fuentes de energías: Las **Renovables** y las **No Renovables**. En el siguiente cuadro, se detallan los recursos asociados con cada fuente energética. La Tierra posee una gran cantidad de estos recursos, pero algunos son escasos y otros requieren costosos procesos de transformación.

Fuentes de Energía	No Renovables	Petróleo			
		Gas Natural			
		Carbón			
		Nuclear			
	Renovables	Convencional	Hidroeléctrica (a gran escala)		
		No Convencional	Solar	Térmica	
				Fotovoltaica	
			Eólica	-	
			Geotérmica	-	
			Mareomotriz	-	
Biomasa	Biocombustibles				

Fuente: Recopilación Personal.

3.2 Tipos de energía.

3.2.1 Energía renovable (ER).

Las ER son aquellas cuyos procesos de transformación y aprovechamiento energético, no se consume ni se agota en una escala humana (Fuente: CNE). Este tipo de energías provienen de fuentes naturales que son capaces de regenerarse y tienen disponibilidad ilimitada.

Las ER (ver siguiente cuadro) constituyen una parte importante de la energía que usa el hombre desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica.

Recurso	Tecnología	Aplicación	Elementos
Solar	Fotovoltaica Térmica	Celdas solares. Colectores	Electricidad. Calor, electricidad.
Eólica	Generación eléctrica.	Aerogeneradores	Electricidad.
Biomasa	Digestión Anaerobia. Fermentación Combustión	Biodigestor Destilería Hornos, calderas.	BIOGÁS. Combustible. Bioetanol. Calor, Electricidad.
Hidráulica	Centrales Hidroeléctricas. Pequeños aprovechamientos.	Pequeñas Centrales Hidráulicas. Ruedas	Electricidad Fuerza Motriz.
Océanos	Mareas, Olas.	Barreras, Turbinas.	Electricidad
Geotermia	Generación eléctrica.	Plantas de Energía.	Electricidad

Fuente: Recopilación Personal.

Con el invento de la máquina de vapor, se abandonaron las formas básicas de aprovechamiento energético por considerarlas inestables en el tiempo, y en su reemplazo se masificó el uso de motores térmicos y eléctricos, justo en una época en que aún no se dimensionaba el agotamiento de las fuentes energéticas y los problemas ambientales. A partir del año 1970 las ERs fueron consideradas como alternativas energéticas importantes tanto por su disponibilidad como por su menor daño ambiental.

Las energías renovables en el año 2011 abarcaron más de un 25% del total de la capacidad de generación de energía mundial y suministraron aproximadamente el 20,3% de la electricidad. (Fuente: Frankfurt School - UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance).

Como referencia, en los **Estados Unidos**, las energías renovables proporcionaron el 12,7% de la electricidad nacional total el año 2011. En la **Unión Europea**, las energías renovables representaron más del 71% del total de la capacidad eléctrica adicional (año 2011), siendo la energía solar fotovoltaica la que tuvo mayor cobertura (46,7%). **Alemania** el año 2011 logro que el 12,2% de las fuentes renovables fueran al consumo total de energía final y el 20% al consumo de electricidad (Fuente: fs-unep-centre.org).

Las ERs se destacan porque sus aplicaciones tienen un bajo impacto ambiental, es fácil su corrección y control. En general los efectos causados por el uso de estas energías no son permanentes (a excepción de la combustión de biomasa).

Las fuentes de energías renovables se dividen en dos categorías, que a su vez se subdividen en otras fuentes, las que se detallan en el siguiente cuadro:

- No Convencionales- **ERNC** (o también denominadas Energías Limpias).
- Convencionales- **ERC**.

FUENTES de ER		
No Convencionales (NC)		Convencionales (C)
Origen	Energía	Hidráulica a gran escala. (Gran potencia instalada)
Sol.	Solar.	
Viento.	Eólica.	
Mares y océanos.	Oceánica.	
Corrientes de agua dulce.	Hidráulica (Baja escala)	
Calor de la Tierra.	Geotérmica.	
Fermentación Anaeróbica Orgánico.	Biomasa.	

Fuente: Recopilación Personal.

Por otro lado, en el siguiente cuadro se especifican las tecnologías asociadas con cada tipo de ERNC:

Categoría	Tipo de Tecnología
Biomasa - Biogás	Electricidad y calor a partir del gas de la biomasa biometanizada: Rellenos sanitarios o plantas anaeróbicas de tratamientos de residuos.
Biomasa – Combustión Directa	Electricidad y calor por la incineración de residuos de biomasa: Madera, residuos agrícolas, RSD, otros.
Geotérmica	Electricidad y calor a partir de energía geotérmica.
Hidráulica Menor	Centrales hidroeléctricas pequeñas.
Solar Fotovoltaica	Generación de energía eléctrica con celdas solares fotovoltaicas.
Solar Térmica	Electricidad y calor mediante energía solar térmica.
De los océanos	Electricidad a partir de la energía de las olas, mareas o corrientes marinas.
Eólica	Electricidad generada por turbinas eólicas (aerogeneración).

Fuente: CNE, 2007.

Cabe señalar que en Chile la energía hidráulica de gran tamaño tiene una importante participación en la matriz energética para la generación eléctrica, por lo que se considera como una fuente de energía convencional.

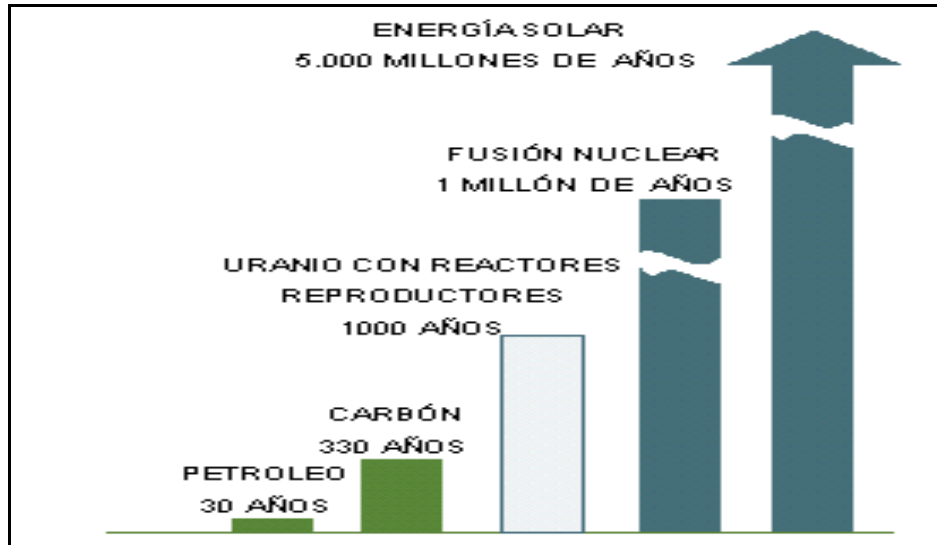
3.2.2 Energía no renovable (ENR).

Las fuentes de ENR son aquellas que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y una vez consumidas en su totalidad, no se pueden regenerar, ya que no existe un sistema de producción o explotación viable. Algunas consideraciones generales de las ENR se detallan en el siguiente cuadro:

Energía No Renovable (ENR)		
	Combustibles Fósiles	Combustibles Nucleares
Aspectos generales	Proviene de restos de seres vivos enterrados hace millones de años, que se transformaron bajo condiciones adecuadas de presión y temperatura.	Son elementos químicos capaces de producir energía por fisión nuclear.
Tipo de Combustible	Carbón Petróleo Gas Natural.	Uranio Plutonio Otros elementos fisibles.
Usos generales	Queman para producir calor y movimiento. Generación de electricidad en las centrales térmicas o termoeléctricas.	Generación de energía eléctrica en centrales nucleares.
Ventajas	Son de fácil uso.	Produce energía continua y a un precio razonable.
Desventajas	El uso produce la emisión de gases contaminantes y tóxicos. Posible agotamiento de las reservas a mediano y largo plazo.	Genera residuos que se mantienen activos por cientos de años. En caso de accidente pueden ocasionar graves catástrofes medioambientales. Difícil almacenamiento.

Fuente: Recopilación Personal.

En el mundo las ENR tienen grandes aplicaciones; pero desafortunadamente son recursos escasos. Para ejemplificar esta situación, en la siguiente figura, se muestra la duración que tendrían algunas fuentes de energía, suponiendo que individualmente cubren todas las necesidades energéticas del planeta, y manteniendo el actual nivel de consumo.



Fuente: Agencia Valenciana de la Energía. 2009.

En los últimos años, las fuentes energéticas alternativas adquieren una mayor importancia en el mundo, básicamente por razones energéticas (uso complementario) y ambientales. Los requerimientos energéticos proyectados infieren que las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles) no parecen ser una solución a largo plazo.

Actualmente, la economía mundial se mueve en torno a los combustibles fósiles. El 90% de las necesidades energéticas de nuestro planeta se cubren con el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón), que se agotan y son muy contaminantes.

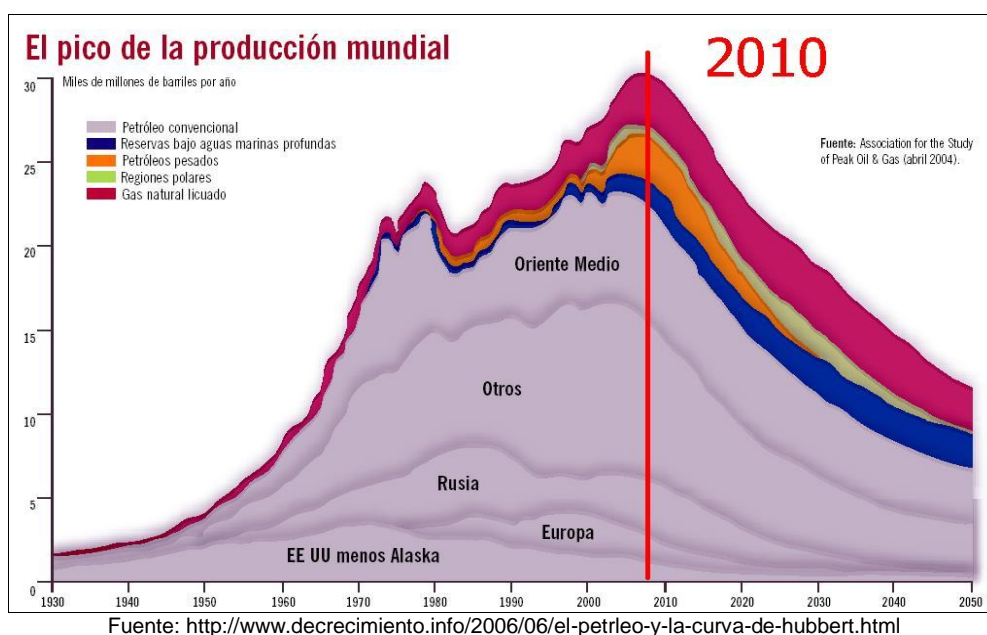
Es importante saber cuánto tiempo más durarán las reservas mundiales de los combustibles fósiles, para lo cual se debe manejar información real, además de disponer de modelos productivos energéticos precisos y de datos que muestren la tendencia mundial de consumo.

Los depósitos mundiales de petróleo, gas y carbón son limitados. Algunos expertos utilizan datos sobre los actuales depósitos para estimar la duración (años) de las reservas mundiales, teniendo en cuenta el consumo actual y el estimado a futuro. Algunos estudios señalan que, las reservas probadas de carbón durarían unos 155 años más. En contraste, las reservas de petróleo durarían unos 41 años más y las de gas natural unos 65 años (Fuente: World Coal Institute).

Los combustibles fósiles se consumen con mayor rapidez de la que se produce en la corteza terrestre, por lo que tarde o temprano, terminaran agotándose.

Una vez que la producción mundial de petróleo inicie su declinación no habrá posibilidad de revertir éste proceso, el que empeorará con los años. El fenómeno de la declinación de la producción mundial se explica por medio de los métodos de análisis que hiciera en la década de los años cincuenta, el geólogo King Hubbert sobre la producción de petróleo de los Estados Unidos.

El método de análisis de Hubbert, conocido como la "**CURVA DE HUBBERT**", (ver siguiente figura), se aplica tanto para pronosticar el periodo de agotamiento de un pozo, como para el de un campo o un yacimiento.

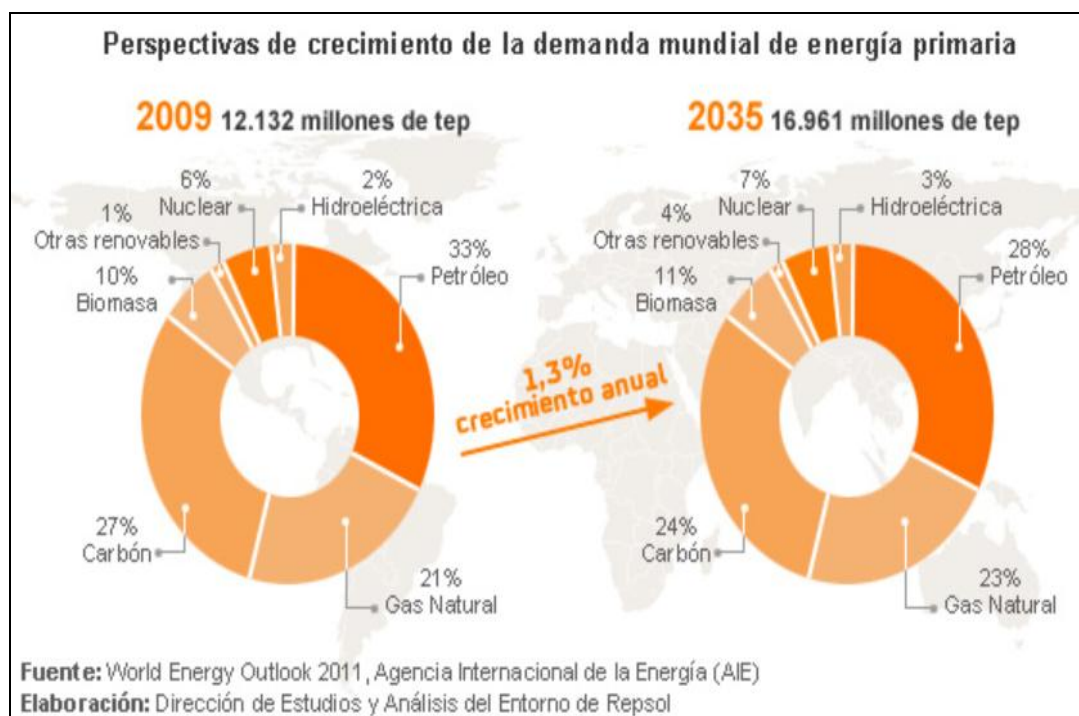


De la gráfica anterior se desprende un drástico descenso de la disponibilidad de petróleo a partir del año 2010. Con ello la oferta de crudo queda muy por debajo de la demanda, lo cual generara un aumento de los precios, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Fuente: Precio Anual del Barril, OPEP 2008.

La gráfica siguiente muestra la estimación de la demanda de otros combustibles para el año 2035.



Fuente: <http://www.repsol.com>.

Con el actual ritmo de consumo se calcula que las reservas de carbón duraran algo más de **200 años**, aunque si se suman aquellas vetas de difícil explotación, el aprovisionamiento podrían llegar a otros **mil años**. Las reservas más relevantes de carbón por país se presentan en la siguiente tabla:

País	EEUU	Antigua URSS	China	Australia	Europa Occidental	América	Sudáfrica y M.O.
Reserva	111,9	135,4	62,2	45,3	27,7	5,6	66,6

Cifras en billones de toneladas. Fuente: www.catamutun.com

El agotamiento de los recursos naturales y de los combustibles fósiles, plantea el desafío de desarrollar nuevas tecnologías que permitan disponer de fuentes energéticas alternativas, como el uso de los residuos orgánicos (por ejemplo: estiércol, biomasa forestal o residuos urbanos) que mediante la aplicación de algunos procesos específicos permiten producir energía.

3.3 Fuente energética alternativa: Biogás.

El biogás es una mezcla de gases resultante de la descomposición natural de materia orgánica debido a la acción bacteriana.

A fines del siglo XIX y principios del siglo XX en varias ciudades de Europa, India y Estados Unidos se instalaron plantas para el tratamiento de aguas negras, donde los sedimentos del alcantarillado eran sometidos a una digestión anaeróbica, a partir del cual se generaba un gas que se utilizó como combustible para el alumbrado público.

Después de la Segunda Guerra Mundial, varios países europeos desarrollaron plantas para obtener biogás en el área rural, para ser utilizado en tractores y automóviles, debido a la escasez de los combustibles fósiles (petróleo).

Actualmente varios proyectos ejecutados en el mundo, que van desde simples granjas lecheras a plantas de tratamiento de aguas servidas, demuestran que la recolección del biogás con fines energéticos es económicamente viable, y con un favorable impacto ambiental.

A diferencia de lo que ocurre con la combustión del petróleo y sus derivados, el biogás recuperado de la digestión orgánica está considerado como CO₂ neutro, por lo que no contribuye al aumento de los gases causantes del efecto invernadero. Por el contrario, se considera que si el biogás se escapa sin transformación o quemado, contribuye 20 a 23 veces más al efecto de invernadero que el CO₂. Resulta entonces primordial recuperar dicho gas, como para transformarlo en calor o electricidad.

El biogás puede extraerse a partir de la biomasa, que corresponde a la materia orgánica renovable de origen vegetal o animal, como resultado de la transformación natural o artificial de ella.

En Chile existe una amplia variedad de biomasa la cual puede ser transformada en biogás con lo que se permitiría disminuir una gran carga de materia orgánica que se desecha y además producir energía. El siguiente cuadro detalla los tipos de biomásas que hay en Chile:

BIOMASA	
HÚMEDA	SECA
Materia de origen natural con menos de 10% de sustancia seca.	Productos sólidos de origen vegetal.
<ul style="list-style-type: none"> • Residuos industriales líquidos. (RILes). • Aguas residuales domésticas. • Estiércol de vacuno. • Estiércol de porcino. • Estiércol de aves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Forestal. • Agroindustriales. • Desechos de plantaciones. • Desechos de podas y malezas. • Residuos de mataderos. • Grasas y aceites. • Lodos de plantas de tratamiento de aguas. • Estiércoles avícolas. • Residuos sólidos domiciliarios.

Fuente: CNE, 2007.

3.3.1 Definición, características y composición del Biogás.

El **Biogás** o **LFG**, es un gas combustible clasificado dentro de las ER. Es la mezcla de gases resultantes de la descomposición natural de la materia orgánica (por ejemplo: carga orgánica de los vertederos de basura: desechos de cocina, restos vegetales y animales, aguas servidas, aserrines y virutas, bosta y excrementos, etc.) debido a la acción bacteriana en condiciones anaerobias (fermentación anaeróbica o en ausencia de oxígeno).

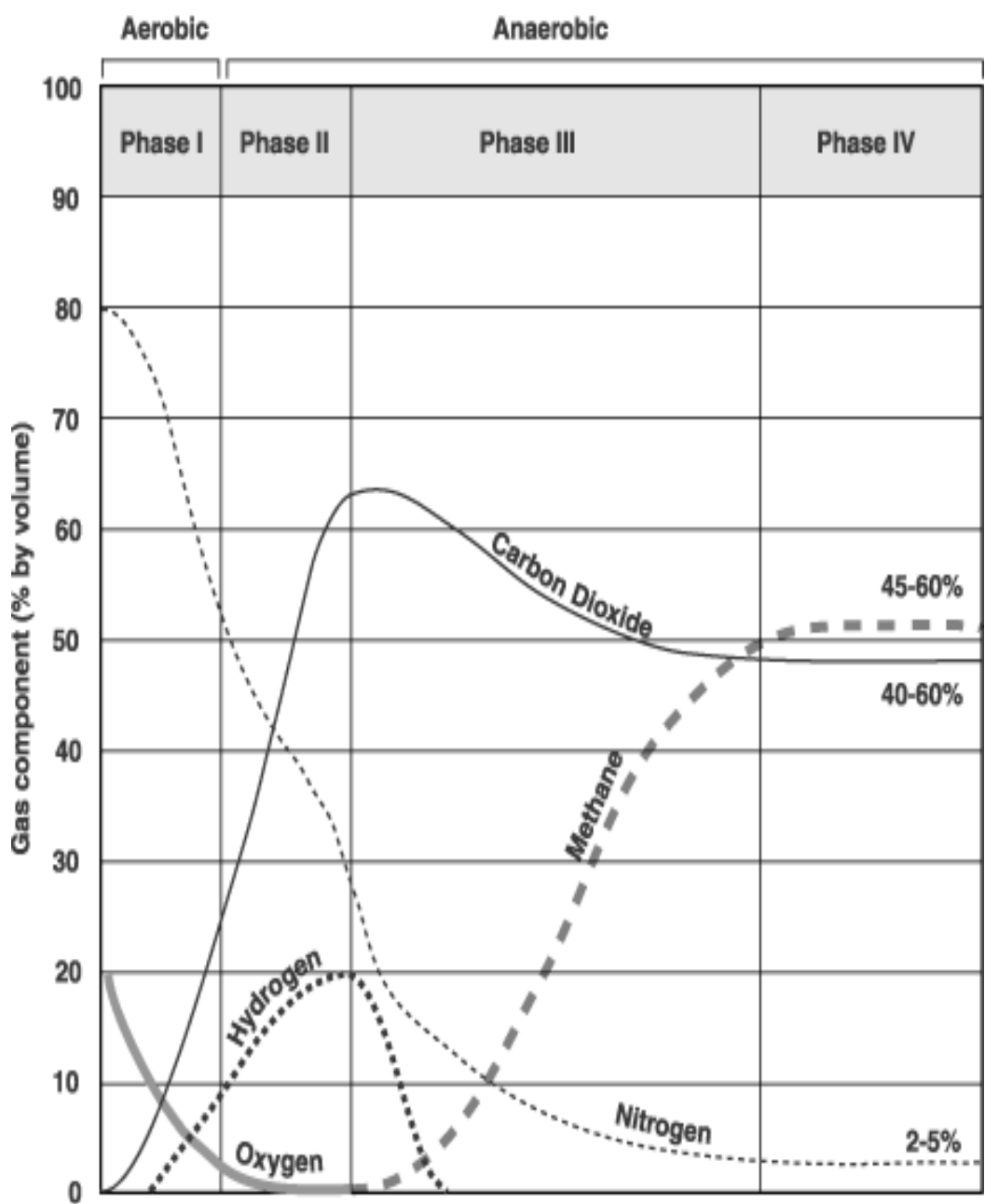
El LFG tiene un poder calórico aproximado de 4.700 a 5.500 kcal/m³, con lo que se han desarrollado varias aplicaciones en el área de la calefacción, iluminación, combustión, y específicamente para la alimentación de motores que accionan máquinas herramientas, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas.

La generación natural del LFG es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono, que se inicia con la fermentación anaeróbica de los productos orgánicos, cuando las bacterias consumen el carbono (en la forma de carbohidratos) y el nitrógeno (en proteínas, nitratos, amoníaco, etc.), originando una combinación de gases formado entre un 40% a 60% de metano, 20% de anhídrido carbónico, trazas de CO y anhídrido sulfuroso.

3.3.2 Fases en la generación de LFG de vertederos de basura.

La degradación anaerobia de la materia orgánica es un proceso complejo, en el que intervienen distintas poblaciones bacterianas. El resultado final es la generación de un gas específico en cantidad y composición que varía a lo largo del tiempo.

En la siguiente ilustración se indican las etapas evolutivas de la composición del LFG a partir de la degradación de los residuos orgánicos durante un determinado periodo.



Note: Phase duration time varies with landfill conditions

Source: EPA 1997

Fuente: EPA 1997.

En el siguiente cuadro, se describe brevemente las fases de la generación de biogás de vertederos.

Fases	Tiempo	Descripción
<u>Fase I</u> Aerobia	15 días	Breve degradación anaerobia. El O ₂ retenido en los residuos recién depositados se consume rápidamente, produciéndose compost y CO ₂ a partir de la materia orgánica muy degradable.
<u>Fase II</u> Anaerobia	2 meses	Bacterias fermentativas y acidogénicas producen bajo condiciones anaerobias, ácidos grasos volátiles, CO ₂ e H ₂ . La presencia de estos gases reduce el porcentaje relativo de N ₂ .
<u>Fase III</u> Anaerobia	2 años	Actúan las bacterias metanogénicas produciendo CH ₄ . El CO ₂ e H ₂ disminuyen en proporción relativa.
<u>Fase IV</u> Anaerobia	10 años	Se estabiliza la metanogénesis. 50 a 60% de CH ₄ y bajos niveles de H ₂ . El CO ₂ es reducido en parte a CH ₄ .

Fuente: Gonzáles, 1997 (tesis doctoral).

Cabe señalar que la duración de cada fase depende de múltiples factores, tales como ambientales, manejo y gestión del vertedero, tratamiento de los RS, etc. Lo anterior puede incidir en que la producción de CH₄ y CO₂ puede prolongarse durante varios años, luego del cierre del vertedero (Fuente: UK Department of the Environment, 1994).

3.3.3 Gases componentes del LFG.

La composición y calidad del biogás depende de las siguientes variables

(Fuente: Crawford y Smith 1985; DOE 1995; EPA 1993):

- **La composición del residuo:** Cuanto más residuos orgánicos hay presentes en un vertedero, más LFG se generara. Algunos residuos orgánicos contienen nutrientes, tales como sodio, potasio, calcio y magnesio que ayudan a la multiplicación bacteriana. Por el contrario, algunos compuestos dañan a las bacterias lo que causa menor producción de LFG, por ejemplo, altas concentraciones de sal.
- **Edad del vertido:** En general, los residuos enterrados con menos de 10 años producen menos biogás. Se estima que el máximo volumen de LFG se produce luego de 10 años después que los desechos son enterrados.
- **Presencia de oxígeno en el relleno sanitario:** El CH_4 se producirá sólo cuando el O_2 ya no está presente en el relleno sanitario.
- **Contenido de humedad:** La humedad (no saturada) en un vertedero aumenta la producción de LFG, ya que favorece la descomposición bacteriana. La humedad permite las reacciones químicas entre los gases. Un contenido de humedad del 40% o superior, en base al peso húmedo de los residuos, posibilita la máxima producción de gas (por ejemplo, en un vertedero cubierto).
- **Temperatura:** El aumento de las temperaturas, estimula aún más la actividad bacteriana, se incrementa la tasa de volatilización y las reacciones químicas lo cual incrementa la producción de LFG. Bajas temperaturas inhiben la actividad bacteriana, sobre todo por debajo de los 50°F (10°C).
- **Clima:** Precipitaciones y temperaturas específicas.
- **Modo de extracción y explotación del biogás.**

Aunque la composición del biogás varía según los factores anteriormente señalados, los principales componentes son el CH₄ y el CO₂. A continuación se presentan los gases componentes del LFG:

Producto/Gas	Símbolo	Concentraciones en el LFG	
		Rango % Volumen	Promedio
Metano	CH ₄	54 - 70% volumen	50%
Dióxido de carbono	CO ₂	27 – 50%	45%
Hidrógeno	H ₂	1 - 10%	Sin dato.
Nitrógeno	N ₂	0.5 – 5%	5%
Acido Sulfídrico	H ₂ S	0.1%	-
Vapor de agua	H ₂ O	1 – 10%	Sin dato.
Oxígeno	O ₂	1 – 5%	<1%
Haluros	-	Sin dato.	132 ppmv
Amoniaco	NH ₃	1%	-
Ácido Sulfhídrico	H ₂ S	20 – 20.000 ppm	-
Componentes orgánicos no metálicos	NMOCS	237 – 14294 ppmv	2700 ppmv

Fuentes: Demonstration of fuel cells to recover energy from landfill, 2001.
 Fachagentur Nachwachsende; Biogasgewinnung und nutzung. Leipzig 2004.

El CH₄ es el principal componente del biogás, y es el elemento que le confiere la propiedad de combustible. Las propiedades del Metano se muestran en el siguiente cuadro:

Propiedad del CH₄.	RANGO
Peso Molecular	16.04
Densidad a 0°C, 1000 HPa (g/cm ³)	0.7167
Densidad (Kg/m ³)	1.09 – 1.2
Gravedad Especifica Relativa al Aire	0.55
Rango Explosivo (% en volumen de aire)	5:15
Viscosidad (mPa/s)	0.001
Poder Calorífico (Kcal/m ³) <i>aproximado.</i>	8500
Poder Calórico (MJ/m ³).	37.65
Punto de Ebullición (°C).	-161.4
Presión Crítica (Psia).	673.1
Temperatura Critica (°C)	82.5

Fuente: Tesis UTFSM.

“Proyecto de desarrollo de un biodigestor para generar biogás a partir de materia orgánica.”
Aliaga y Paris, 2005

Como se indicó, el LFG está compuesto de varios gases cuyas características generales individuales se presentan en la siguiente tabla:

Producto/Gas	Características generales gases componentes del LFG.
CH ₄	Gas de origen natural, incoloro e inodoro. Los vertederos son la principal fuente de emisiones de CH ₄ .
CO ₂	Gas presente en la atmósfera (0,03%) Es incoloro, inodoro, y ligeramente ácido.
H ₂	Gas inodoro e incoloro.
N	Principal gas componente de la atmósfera (79%). Es inodoro, insípido, y incoloro.
Ácido Sulfídrico	Se origina por la degradación bacteriana de materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Gas inflamable, incoloro, de un olor desagradable y putrefacto.
Vapor de agua	-
O ₂	Es inodoro, insípido, y incoloro
Haluros	-
<p>NMOCs</p> <p>Componentes orgánicos no metálicos.</p>	<p>Son compuestos orgánicos no metálicos, es decir, compuestos que contienen carbono. Son de origen natural o por procesos químicos sintéticos. Son extremadamente tóxicos.</p> <p>NMOCs más comúnmente en los vertederos son: acrilonitrilo, benceno, dicloroetano, cisco dichloroethylene, diclorometano, el sulfuro de carbonilo, etil benceno, hexano, metil etil cetona, tetracloroetileno, tolueno, el tricloroetileno, el cloruro de vinilo, y xilenos .</p>

Fuente: Tchobanoglous, Theisen y Vigil 1993; EPA 1995.

El desarrollo de proyectos energéticos a partir del LFG permite reducir las emisiones de los gases causantes del efecto invernadero, lo que conlleva a mejorar la calidad del aire local y minimizar los posibles riesgos para la salud de los habitantes, y a su vez complementar la matriz energética del país.

3.3.4 Equivalencias energéticas, usos y aplicaciones del LFG.

Las alternativas de uso energético más comunes del biogás son:

- ❖ Combustión directa para la producción de calor.
- ❖ Motores de combustión interna para la generación de eléctrica.
- ❖ Vehículos con recuperación de la energía mecánica.
- ❖ Aporte a la red de gas natural.
- ❖ Producción de sustancias químicas.

Como referencia, en el siguiente cuadro se presentan las equivalencias caloríficas que tiene el LFG frente a otros combustibles. La tabla considera los valores promedio del poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente respecto del LFG.

Combustible	PODER CALORÍFICO		Cantidad equivalente a 1.000m ³ de LFG.
	kcal/m ³	kcal/kg	
FLG	5.335	-	1.000 m ³
Gas natural	9.185	-	851 m ³
CH ₄	8.847	-	603 m ³
Propano	22.052	-	242 m ³
Butano	28.588	-	187 m ³
Electricidad	860 kcal/kw/h	-	6.203 kw/h
Carbón	-	6.870	776 kg
Petróleo	-	11.357	470 kg. / 553 litros.

Fuente: Instituto Virtual Ingefor.
 (<http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso01/biogas1.html#1.2>)

A modo de ejemplo, en el siguiente cuadro se muestran algunos artefactos domésticos que utilizan LFG y sus correspondientes requerimientos energéticos.

EQUIPO	Consumo de biogás m ³ /hora
Estufa de cocina.	0.150 – 0.200
Fogón para cocinar alimentos.	0.300
Lámpara de gas equivalente a una ampolleta de 60 W.	0.100
Calentadores para lechones.	0.250
Calentadores para cría de pollos.	0.150
Motor biogás – diesel por b.h.p.	0.420
Producción de 1 kWh de corriente eléctrica con una mezcla biogás diesel.	0.700

Fuente: Formulación de un programa de normalización para aplicación de energías alternativas. UPME. Marzo 2005.

Otra forma de analizar el uso del Biogás, es conocer la capacidad energética equivalente al combustionar totalmente 1m³ de LFG, tal y como se detalla a continuación. Los valores citados son referenciales.

	Equivalencia Energética
Área Energética	1.25 kW/hr de electricidad.
	6 horas de luz de ampolleta de 60 watt.
	Refrigerador de 1 m ³ durante 1 hora.
	Incubadora de 1 m ³ durante 30 minutos.
	Motor de 1 HP durante 2 horas.

Fuente: Recopilación personal.

3.3.5 Ventajas y desventajas del uso de LFG.

Ventajas	Desventajas
Recuperación energética y económica, ya que es un combustible alternativo usado directamente en aparatos que consumen gas.	La emisión de LFG es el segundo problema medioambiental después de la producción de lixiviados.
Creación de empleos asociados con el diseño, construcción y operación de sistemas de recuperación de energía.	Malos olores por las emisiones de LFG en el vertedero. El CH ₄ , es el principal constituyente del LFG, es inflamable y en determinadas proporciones con el O ₂ del aire, es explosivo. (Gendebien <i>et al.</i> , 1986; EPA, 1994; UK Department of the Environment, 1994).
Su uso reduce la contaminación de aire, incluyendo reducciones en smog, olores y emisiones de gas invernadero.	Se causan daños a la vegetación debido a la generación de LFG, como clorosis, defoliación y pérdida de ramaje. (Gendebien <i>et al.</i> , 1992).
Los proyectos para la obtener LFG a partir de RSD garantizan la buena gestión de los rellenos locales y transforman el área perimetral en un mejor lugar para vivir.	El 70% de las emisiones de CH ₄ a la atmósfera son causadas por la actividad humana. Entre un 6% y 13% del total de emisiones de CH ₄ tiene su origen en los vertederos. Estas emisiones de CH ₄ repercuten en el calentamiento global de la Tierra (Efecto Invernadero, Yasuda, K., 1996).
El LFG es una fuente combustible local confiable y renovable que disminuye la dependencia de los combustibles fósiles. Es el único gas renovable que directamente reduce la contaminación de la atmósfera.	Comparado con el CO ₂ , el CH ₄ tiene un potencial de 11 veces superior sobre el calentamiento global (a 100 años). Es decir, la emisión de 1 toneladas de CH ₄ a la atmósfera es tan negativa como la emisión de 11 toneladas de CO ₂ .

Fuente: www.yobiogas.com/index2.htm.

Conviene señalar que el deficiente manejo del LFG produce los siguientes riesgos:

- Incendios.
- Explosiones espontaneas.
- Malos olores.
- Contaminación atmosférica (compuestos orgánicos volátiles, amoniaco, etc.)
- Daños a la vegetación por asfixia.

3.3.6 Restricciones económicas, medioambientales y tecnológicas para el uso del LFG.

Restricción	Fundamentos
Económica	Baja o nula rentabilidad económica del proyecto, respecto de otros combustibles.
Medioambiental	La ley obliga a quemar el biogás para evitar explosiones, incendios espontáneos o la fuga directa a la atmósfera.
Tecnológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Cada vertedero produce biogás, con caudal y composición variable. (Test de bombeo en terreno). • Métodos teóricos de estimación: Imprecisos. • Distancia del vertedero a las zonas industriales o centros de consumo, lo cual podría afectar la rentabilidad del proyecto. • Eficiencia recolección de biogás: ≈ 75%.

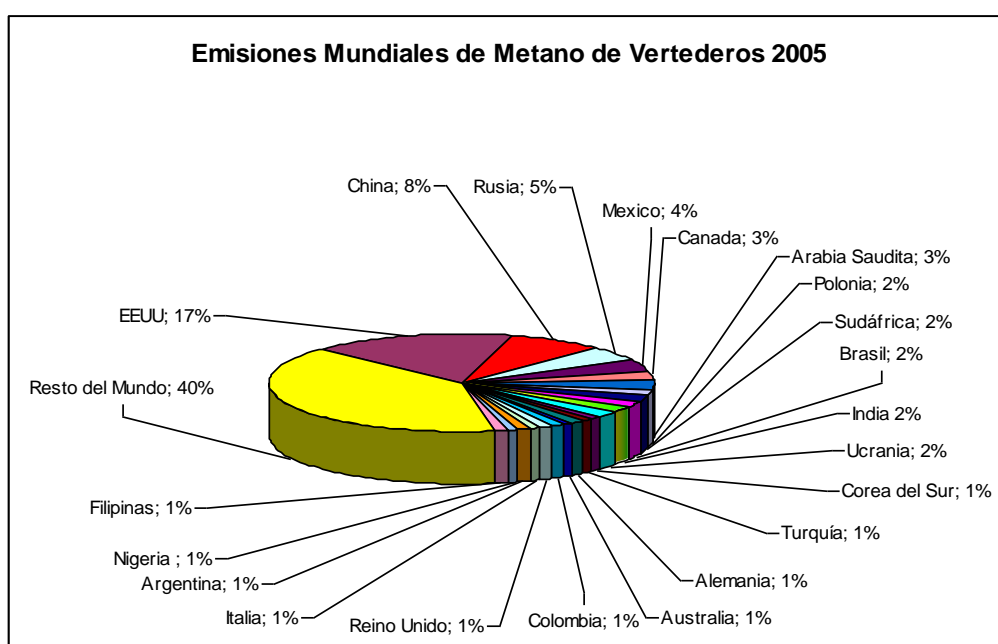
Fuente: <http://aegi.eutig.uniovi.es/invest/app/cv/TesisBiogas.htm>.

3.3.7 El metano: Un gas de efecto invernadero.

El valor energético del LFG está determinado por la concentración de CH₄ alrededor de 20 – 25 MJ/m³ (Gas Natural: 33 – 38MJ/m³). El metano es un gas combustible, incoloro, inodoro, cuya combustión produce una llama azul.

El CH₄ es el componente principal del LFG, constituye alrededor del 16% de todas las emisiones de los gases de efecto invernadero. Casi el 60% de las emisiones de metano provienen de fuentes antropogénicas, el resto provienen de fuentes naturales como pantanos, hidratos de gas (sólidos cristalinos que almacenan grandes cantidades de gases), subsuelo congelado y digestión de termitas.

Este gas se considera un gas de efecto invernadero potente debido a que es 21 veces más eficaz para atrapar el calor dentro de la atmósfera que el CO₂. La siguiente figura presenta las principales países emisores de CH₄:



Fuente: http://www.methanetomarkets.org/resources/factsheets/analysis_fs_spa.pdf

La producción de CH₄ se estima en 500 millones de toneladas métricas anuales, de las que 345 millones son producto de la actividad humana.

Cabe señalar que se entiende por **Efecto Invernadero** al sobrecalentamiento de la atmósfera terrestre debido a la acumulación de los GEI ⁽⁵⁾ que permiten la entrada de la radiación visible, pero que impide su salida en forma de radiación infrarroja y que posteriormente se vuelve a irradiar de vuelta hacia la superficie terrestre.

El siguiente cuadro, muestra la contribución dañina aproximada que cada uno de los GEI provoca:

Tipo de Gas	% Incidencia
Dióxido de Carbono - CO ₂	66%
Metano - CH ₄	18%
CFC	11%
Óxidos de Nitrógeno - NO ₂	5%

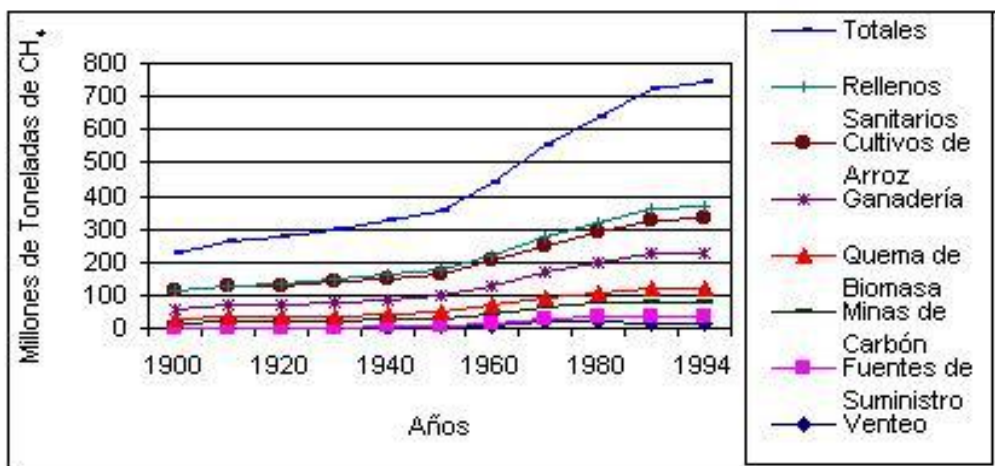
Fuente: USEPA, 2000.

El metano ocupa el 2° lugar en cuanto a GEI (su presencia en la atmósfera afecta la temperatura y el sistema climatológico de la Tierra) causados por las actividades humanas. El CH₄ tiene una vida atmosférica corta de aproximadamente 12 años.

Es posible capturar el CH₄ proveniente de los RSD en instalaciones diseñadas especialmente para este fin y usarlo como fuente de energía. El consumo de LFG a pequeña (nivel local) o gran escala (industrial) reducirá el uso de combustible fósil y por lo tanto, de las emisiones de CO₂.

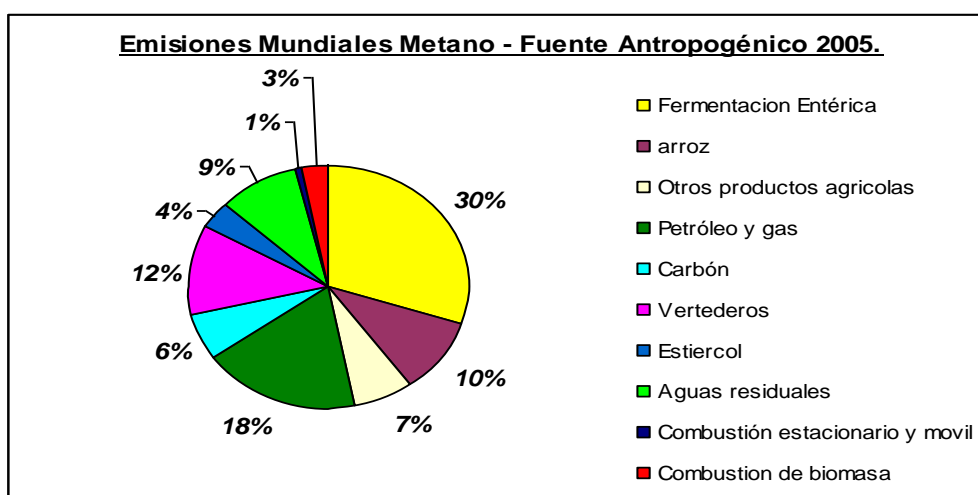
⁽⁵⁾ GEI: Gases de Efecto Invernadero.

La siguiente gráfica muestra las principales fuentes de CH₄ a nivel mundial y su tendencia durante los últimos años. Las cifras corresponden a emisiones históricas de CH₄ (en millones de toneladas) y sus fuentes.



Fuente: Marlan et al. 2003.

Como referencia, la siguiente gráfica presenta la participación porcentual de todas las fuentes productivas que emiten CH₄ a escala mundial. Los rellenos sanitarios y vertederos de basuras tienen una importante participación.



Fuente: Emisiones antropogénicas mundiales de CH₄ el año 2005, EPA.

En el siguiente cuadro se detallan los GEI y algunas consideraciones. En términos generales, si se logra reducir de manera importante las emisiones de CH₄, se mitigaría fuertemente el calentamiento atmosférico.

GEI	Ppm	TMA	Fuente Origen	¿Por qué ha aumentado?
CO₂ Dióxido de Carbono	360	100	Quema de combustibles fósiles. Deforestación y cambios de uso de suelo. Producción de cemento.	Mayor demanda de combustibles fósiles. Destrucción de bosques y disminución de fotosíntesis. Quema de zonas verdes.
CH₄ Metano	1,7	10	Residuos orgánicos en vertederos. Producción de energía y minería del carbón. Quema de residuos y de biomasa. Cultivos de arroz.	Aumento del ganado. Aumento de las áreas cultivables. Cambios orográficos.
N₂O Óxido Nitroso	0,3	130	Uso de fertilizantes. Quema de combustibles fósiles. Producción de ácidos.	Mayor demanda de combustibles fósiles. Mayor uso de fertilizantes. Aumento áreas cultivables.
O₃ Ozono	0,01-0,05	Se desconoce	Combustión interna.	Uso de combustibles fósiles de medios de transporte.
CFCs Carbonos Clorofluorados	0,003	55 -116	Propulsores de refrigerantes.	Mayor uso como refrigerante.

Fuente: http://www.alertatierra.com/CambC_causas.htm

GEI : Gases de Efecto Invernadero.

TMA : Tiempo medio que permanece en la atmósfera (años).

Ppm : Partes por millón.

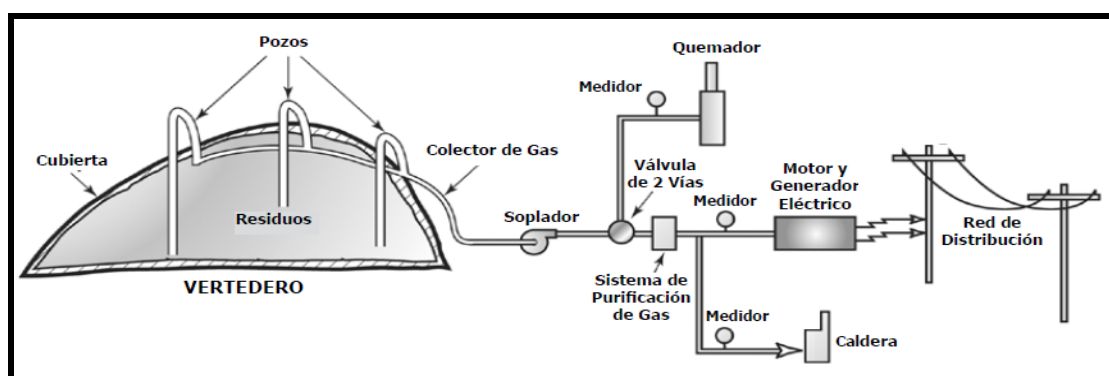
3.3.8 Casos de manejo del biogás de vertederos de basura.

El biogás que se extrae de los vertederos de basura, se puede:

- Quemar.
- Usar para generar electricidad.
- Sustituir combustibles fósiles en operaciones industriales. Por medio de purificadores se puede mejorar la calidad del gas y usarse directamente como combustible alternativo.
- Combinar alguna de las operaciones anteriores (Calor y Energía).

En general se puede producir energía eléctrica a partir de los "residuos sólidos urbanos" (MSW – "Municipal Solid Waste") por 2 vías:

- **Plantas tipo (WTE – "Waste to energy"):** Están diseñadas para recibir RSU y producir electricidad como un subproducto de un incinerador. Este tipo de planta se considera dentro de la categoría de biomasa debido a que la basura contiene materia orgánica (Basura con ~70% de materia orgánica es considerada como biomasa).
- **Biogás de rellenos sanitarios:** El siguiente esquema detalla las partes componentes típicas de una planta generadora de electricidad a partir del biogás captado de un relleno sanitario.



Fuente: global methane.org

Otras opciones de uso del biogás, son (*):

Uso directo como Combustible de BTU Mediano: Utilizado directamente o con tratamiento básico para uso comercial, institucional e industrial, abasteciendo a calentadores de agua, hornos, secadores de agregados, incineradores de basura y generadores de electricidad convencionales. También se puede usar para la evaporación de lixiviado del vertedero. Ejemplos:

- Calderas.
- Hornos.
- Calentadores.

Uso directo como Combustible de BTU Alto: El biogás se somete a un tratamiento de purificación para obtener características similares al gas natural o gas natural comprimido. Ejemplos: Inyección a gasoducto, biogás como combustible vehicular (Gas natural comprimido - GNC), biodiesel o etanol.

Energía Eléctrica: Es utilizado como combustible en motores de combustión interna y turbinas que generan energía eléctrica para luego suministrarla a la red. Existen casos de proyecto de generación de 4 MW, con venta de electricidad a la red nacional, a cooperativas o industrias que están calificadas para comprar directamente, o bien, a algún consumidor cercano. También hay proyectos de autogeneración o “net metering” con motores de combustión interna (de 100 KW a 3 MW), turbina de Gas (de 800 KW a 10.5 MW) y Microturbina (de 30 KW a 250 KW).

(*) Fuente: “Biogás de rellenos sanitarios: captura y utilización”, Methane to Markets, 2010.

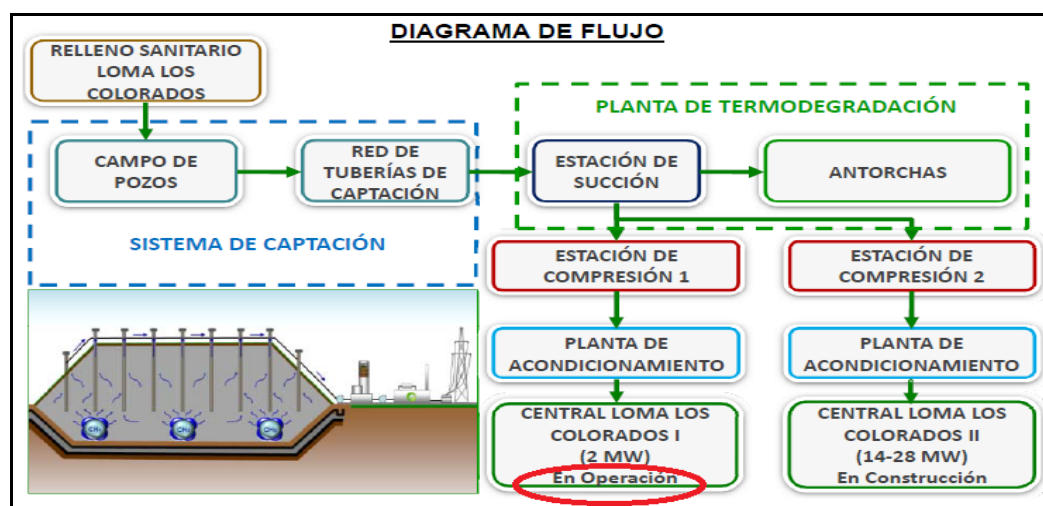
En Chile y en otros países existen varios proyectos relacionados con la explotación y manejo del LFG. A modo de ejemplo se presentan algunos casos:

A) Casos **NACIONALES**:

a.- Relleno Sanitario Loma Los Colorados (RSLLC) de Til Til, Santiago.

- El relleno sanitario Loma Los Colorados, se ubica a 60 km al norte de Santiago de Chile (capta el 64% de los RSM de Santiago).
- Se ejecuto el proyecto de Reducción de emisiones de GEI y generación eléctrica en base al biogás del RSLLC, con lo que se logró:
 - La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mediante la destrucción de metano (CH₄) y el desplazamiento de combustibles fósiles de la red (1 tonelada de CH₄ equivale a 21 toneladas de CO₂).
 - Generar energía eléctrica en base a biogás para su inyección a la red eléctrica nacional.
- La planta aportaría al SIC un 0,02% (la potencia instalada en el Sistema Interconectado Central es de 10.000 MW).
- Equipos de generación:
 - Capacidad instalada: 2 MW.
 - Grupo de generadores serie WAUKESHA APG1000.
 - Grupos de generadores tipo APG1000.
 - Potencia Nominal: 1000 kWe.
 - Configuración: V16 - 48 Lt -Turboalimentado.
 - Tecnología de “combustión pobre” que minimiza las emisiones.
 - Tensión de generación: 400 Volts.
 - Eficiencia eléctrica: 42%.

A continuación se presenta un esquema que resume los principales componentes y secciones de la planta RSLLC que actualmente valoriza el biogás con generación eléctrica.



Fuente: KDM.

b.- Vertedero de Lepanto, Santiago:

Este vertedero se ubica en el fundo Lepanto en San Bernardo, Región Metropolitana. Dejó de funcionar el año 2002. El biogás se capta para quemarse, y concretar un proyecto MDL que le permite vender bonos de carbono, según lo indicado en el Protocolo de Kyoto, a saber:

“El Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático, auspiciado por la ONU dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y firmado en 2002 por la Unión Europea, tiene por objetivo que los países industrializados reduzcan sus emisiones de gases en un 8% por debajo del volumen presentado en el año 1990. Los países desarrollados buscan lugares en donde hay emisiones de GEI; como por ejemplo el CH₄ que se produce espontáneamente de la basura descompuesta; para compensar a las empresas o países que sobrepasan lo estipulado por dicho acuerdo”.

Con la venta de bonos de carbono, se pretende demostrar y garantizar que el interesado quemó una cierta cantidad de Metano, y que éste no fue “arrojado” a la atmósfera, con lo cual la Comisión de Cambio Climático de la ONU procede al pago respectivo. Los parámetros cuantitativos exigidos son: Flujo de gas, temperatura del gas, presión del gas, temperatura de incineración y porcentaje de CH₄. Tales variables deben ser monitoreadas y enviadas en tiempo real para su certificación.

c.- Relleno Sanitario Santa Marta, Santiago:

Este relleno cuenta con resolución de calificación ambiental favorable, otorgada por la Autoridad Ambiental COREMA RM, obtenidas a través de su tramitación en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, Ley N° 19.300. Entre las resoluciones está:

509-2005: Califica ambientalmente favorable el proyecto “MANEJO DE BIOGÁS DEL RELLENO SANITARIO SANTA MARTA”; por medio del cual quema el 80% del biogás generado en el relleno sanitario, por medio de 160 pozos conectados a tuberías secundarias y a una matriz principal, que conduce el gas hasta la planta de quemado. Hoy la planta tiene una capacidad instalada de 3.000 m³/hora (operando a 85%) y con una concentración superior a 50% de metano.

d.- Empresa Rexin, Puerto Montt.

Esta empresa se ubica en el vertedero El Empalme, a 35 kilómetros de Puerto Montt (comuna de Maullín). Este proyecto se inserta en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), y contempla la quema de LFG proveniente de la descomposición de los residuos de la industria salmonera, mediante la captación activa y controlada de CH_4 para transformarlo en bonos de carbono y venderlos a países industrializados. Actualmente dispone de 600.000 toneladas de basura.

e.- Proyecto Bionersis LFG Chile 4, Los Ángeles:

Desarrolla un proyecto de MDL para el saneamiento y la valorización del biogás en un vertedero de la ciudad de Los Ángeles. Este centro recibe actualmente 80.000 toneladas/año de desechos y ejecutará la explotación del biogás (reducción de emisiones de CH_4) para vender los bonos de carbono.

f.- Otros rellenos sanitarios:

En general estos sitios son administrados por empresas que brindan soluciones ambientales integrales a las municipalidades y a particulares. Sus servicios se concentran en la recolección y disposición final de los desechos. Se preocupan del manejo de los lixiviados y de las emisiones de biogás (captación con extracción pasiva para quemarlo). Estas empresas buscan vertederos de basura que estén en plan de cierre y ejecutan trabajos específicos para asegurar el control del biogás, de los lixiviados y de las aguas lluvia. Para captar el biogás se realizan perforaciones en el terreno, se instalan pozos captadores, y se tienden redes de tuberías que dirigen el gas a una planta para quemarlo (se requieren como mínimo $800\text{ }^\circ\text{C}$ para quemar el CH_4).

B) Casos INTERNACIONALES:

a.- Relleno sanitario Bandeirantes Aterro cerca, Sao Paulo, Brasil: 2007.

- Es uno de los proyectos más grandes del mundo en la captación de LFG para la propulsión plantas termoeléctricas.
- Inició sus operaciones en 1979: procesa 8.000 toneladas/día.
- Fue una inversión de US\$17 millones.
- A plena carga puede producir 170.000 MW/hora/año, suficiente energía para alimentar una ciudad de 300.000 habitantes durante 15 años.
- Las plantas termoeléctricas de éste relleno sanitario producen energía para el Grupo Unibanco y también para la red pública.
- Utiliza 24 generadores CAT de 935 KW, con una potencia de 20 MW
Vende su generación a la compañía eléctrica local, ANEEL.

b.- México:

b.1 Relleno sanitario de Bordo Poniente (Enero 2012): acumulada aproximadamente 70.000.000 toneladas de basura de ciudad de México a lo largo de 17 años. Tiene una planta que genera eléctrica a partir de biogás.

b.2 Relleno Sanitario Norte, Quintana Roo (Diciembre 2010): se convierte en una planta de energía eléctrica a través del sistema de extracción y quemado de biogás.

c.- Argentina (2012): La Central San Martín, aprovecha los gases producidos por la basura, para:

- Inyectar al Sistema Argentino de Interconexión (SADI) 1 (MW) a partir de los rellenos sanitarios.
- Las instalaciones cuentan con 5 motores generadores accionados a partir de la combustión del biogás previamente depurado y que proveniente de 250 pozos de extracción.
- Central San Miguel, es otra instalación que aportará 10 MW de potencia al SADI, generados a partir de biogás de rellenos sanitarios.

d.- E.E.U.U.:

- La EPA (Environmental Protection Agency - Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) estima que a partir de julio del 2011, aproximadamente 560 proyectos de LFG para generar energía eléctrica estaban en funcionamiento en los EEUU. Estos proyectos generaron aproximadamente 1.730 (MW) de electricidad al año, y podrán entregar 310.000.000 de pies cúbicos diarios de biogás en aplicaciones directas. Algunos ejemplos se presentan en las siguientes tablas:

d.1 LFGE Utilization Type (Electricity):

Landfill Name	Landfill City	Waste In Place (tons)	Landfill Closure Year	Project Status	Project Start Date	LFGE Project Type	MW Capacity
Anchorage Regional Landfill	Eagle River	8.000.000	2045	Operational	31-07-2012	Reciprocating Engine	5,6
Scottsboro Landfill	Hollywood	475.000	2014	Operational	01-12-2011		0,5
Eco-Vista LLC	Springdale	3.500.000	2030	Operational	01-11-2010		4,0
Two Pine Landfill - Phase 1	North Little Rock	8.910.336	2009	Operational	01-10-2006		4,8
City of Glendale Municipal Landfill	Glendale	5.000.000	2017	Operational	30-01-2010		2,8
Los Reales Landfill	Tucson	15.917.000	2060	Shutdown	15-12-1999		6,0
Los Reales Landfill	Tucson	15.917.000	2060	Operational	01-01-2009		2,4
Salt River Landfill	Scottsdale	3.000.000	2018	Operational	01-03-2008		2,0
Tri-Cities Landfill	Scottsdale	11.500.000	1993	Operational	01-05-2001		2,0
Acme LF	Martinez	10.800.000	2003	Operational	01-08-2003	Microturbine	0,3
Altamont SLF	Livermore	57.857.143	2060	Operational	01-01-1989	Gas Turbine	6,2
Altamont SLF	Livermore	57.857.143	2060	Operational	15-09-2002	Reciprocating Engine	2,7
American Canyon SLF	Napa	4.230.000	1995	Operational	01-01-2010		0,8
American Canyon SLF	Napa	4.230.000	1995	Operational	01-06-2008		0,2
Austin Road Landfill	Manteca	7.354.000	2020	Operational	01-01-1985		0,8
Badlands Disposal Site	Moreno Valley	4.081.500	2040	Operational	01-02-2001		1,1
Bailard LF	Oxnard	4.336.609	1997	Operational	15-12-1984		1,7
Calabasas SLF	Agoura Hills	23.410.000	2025	Operational	12-07-2010	Gas Turbine	13,8
City of Corona LF	Corona	4.000.000	1986	Operational	04-03-1986	Reciprocating Engine	0,6
City of Santa Clara LF	Santa Clara	3.500.000	1993	Operational	31-10-2009	Microturbine	0,8
Coastal LF	Oxnard	3.300.000	1989	Operational	15-12-1984	Reciprocating Engine	2,6

d.2 LFGE Utilization Type (Direct-Use):

Landfill Name	Waste In Place (tons)	Year Landfill Opened	Landfill Closure Year	Project Status	Project Start Date	Project Developer Organization	LFGE Project Type
Morgan County Regional Landfill	3.659.174	1980	2040	Operational	01-01-2010	Granger Energy	Direct Thermal
North Montgomery SLF MSWLF	7.259.313	1973	2040	Operational	01-10-1998	DTE Biomass Energy	Direct Thermal
North Montgomery SLF MSWLF	7.259.313	1973	2040	Operational	01-01-2000	DTE Biomass Energy	Direct Thermal
Veolia ES Star Ridge Landfill, Inc.	4.822.600	1982	2061	Operational	15-03-2012		Direct Thermal
City of Little Rock Landfill	2.000.000	1993	2073	Operational	01-04-2008	Johnson Controls, Inc.	Direct Thermal
Acme LF	10.800.000	1954	2003	Operational	01-01-1982	Acme Fill Corporation	Boiler
Palo Alto LF	2.700.000	1954	2011	Operational	01-08-2005		Direct Thermal
Sacramento City LF	3.900.000	1968	1994	Operational	01-01-1990	Fortistar Methane Group	Boiler
Highlands County Solid Waste Management Center	1.000.000	1996	2096	Operational	17-01-2009		Direct Thermal
Lena Road County LF	8.400.000	1979	2043	Operational	31-07-2008		Direct Thermal
PBCSWA RRF Site #7	4.418.356	1989	2044	Operational	01-08-2009	Solid Waste Authority of Palm Beach County, FL	Direct Thermal
Saint Lucie County SLF Phase I	4.300.000	1978	2054	Operational	22-08-2005	Tropicana, CPL Systems Inc.	Boiler
City of LaGrange Landfill	2.520.738	1983	2030	Operational	03-10-2005	City of LaGrange, GA, InterfaceFLOR	Direct Thermal
Macon Landfill	3.500.000	1960	2020	Operational	01-01-2009	Cherokee Brick & Tile	Direct Thermal
Pine Bluff Landfill	9.631.908	1993	2038	Operational	23-02-2005	Ameresco, Inc.	Boiler
Pine Bluff Landfill	9.631.908	1993	2038	Operational	01-01-2007	Ameresco, Inc.	Boiler
Scott County SLF	2.277.600	1977	2043	Operational	01-01-1997	NST Landfill Gas of Iowa	Direct Thermal
Scott County SLF	2.277.600	1977	2043	Operational	01-09-2008	Waste Commission of Scott County, IA	Direct Thermal
Fighting Creek Farm Landfill	1.000.000	1993	2040	Operational	26-02-1999	Fenn Tech	Leachate Evaporation
South Side Landfill	15.000.000	1971	2062	Operational	30-06-2009	Granger Energy	Boiler
Allen County LF	607.729	1976	2080	Operational	01-01-2007		Direct Thermal
Outer Loop RDF	25.616.428	1969	2065	Operational	01-05-1999	Horizon LFG, Inc.	Boiler

CAPITULO IV: POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS DE VERTEDEROS DE BASURA EN LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN.

4.1 Comentarios generales.

En éste capítulo se analizará el manejo actual del biogás en los rellenos sanitarios y vertederos de basura más relevantes de la provincia de Concepción. Se realizará un catastro de los centros de disposición de basura en operación y aquellos que están en fase de cierre. A partir de la cantidad de basura nominal (de diseño) que recibe cada centro de acopio, se pretende determinar el volumen total de residuos disponible durante la vida útil de cada vertedero.

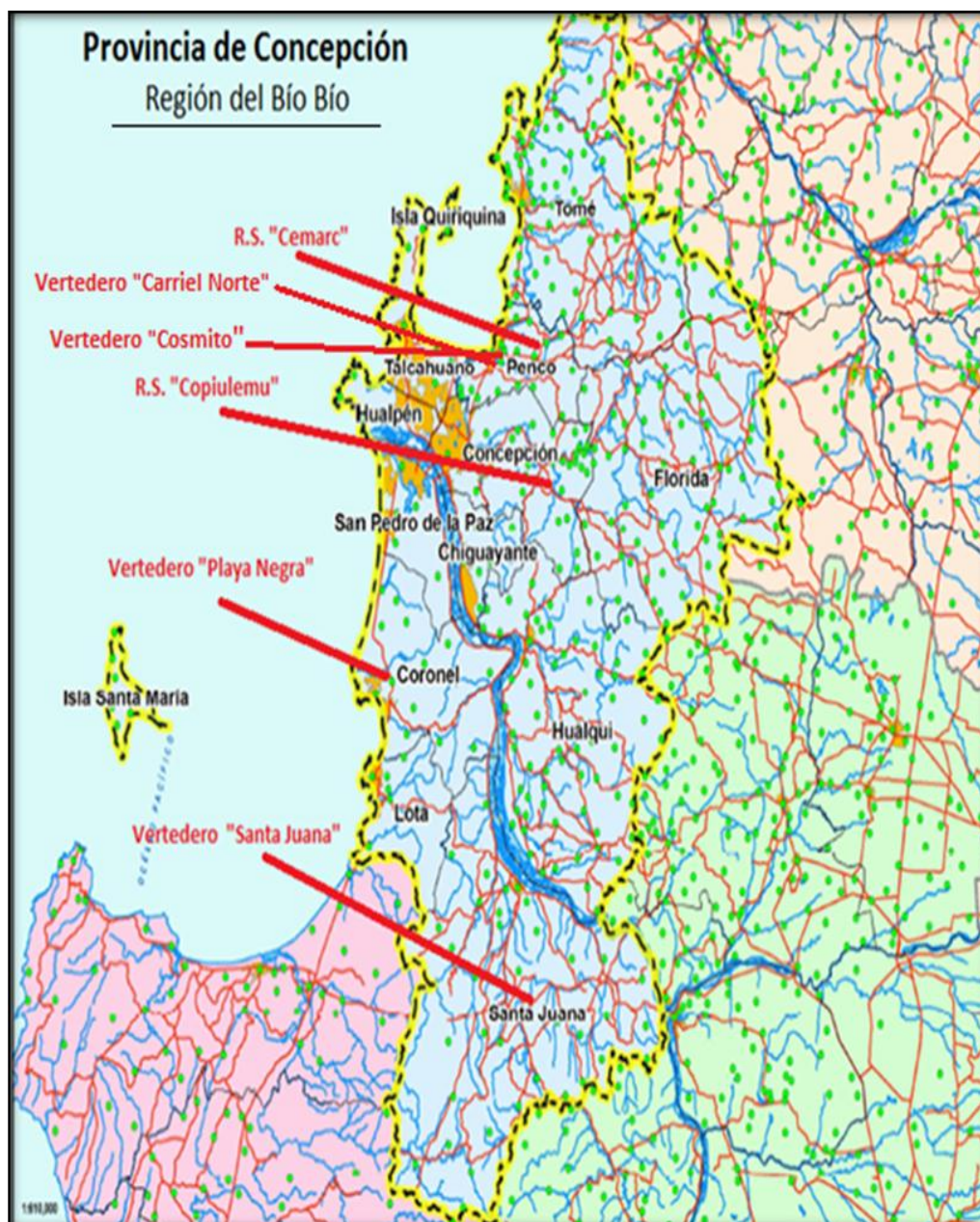
Se estimará la cantidad de biogás disponible para capturar y explotar energéticamente en cada centro de acopio. Cabe señalar que, ciertos datos serán estimados al no contar con una fuente de información directa.

Se investigará el marco legal vigente que regula la generación y uso de las energías renovables no convencionales para la generación eléctrica, sus alcances y oportunidades.

Los resultados de éste análisis no son concluyentes, ya que se utilizó información secundaria y algunos valores referenciales. Sin embargo, éste estudio dejar abierta una inquietud ambiental y energética que requerirá de un proyecto de factibilidad técnico y económico futuro, que considere mediciones en terreno, toma de muestras, monitoreo de caudales, análisis de las características físico y químicas del biogás, estudio de impacto ambiental y social, etc.

4.2 Lugares de disposición final de residuos domiciliarios en la provincia de Concepción.

En la provincia de Concepción se destacan 2 Rellenos Sanitarios y 4 vertederos de basura domiciliaria. En la siguiente figura se indica su ubicación referencial:



Algunas características relevantes de éstos centros de acopio de basura, se detallan a continuación:

Relleno Sanitario COPIULEMU S.A.:

Ubicación	Camino a Cabrero Km 51,6.
Superficie	25 hectáreas.
Inicio Operación	2000.
Vida Útil	15 años.
Recepción	120.000 toneladas/año (300 toneladas diarias).
Capacidad Máxima	1.720.000 m ³ .
Cobertura	Hualpén, Talcahuano y Florida.

Fuente:

"Modificación Planta de Tratamiento de Riles del Relleno Sanitario del Centro de Manejo de Residuos Concepción, Cemarc S.A.". Resolución de Calificación Ambiental (RCA), 2010).

Relleno Sanitario CEMARC S.A.:

Ubicación	4 kilómetros de la ciudad de Penco.
Superficie	22 hectáreas.
Inicio Operación	2010.
Vida Útil	16 años.
Recepción	219.000 toneladas/año (600 toneladas diarias).
Capacidad Máxima	2.300.000 m ³ .
Cobertura	Concepción, Chiguayante, San Pedro de la Paz, Penco, Tomé, Coronel y Lota.

Fuente:

"Modificación Planta de Tratamiento de Riles del Relleno Sanitario del Centro de Manejo de Residuos Concepción, Cemarc S.A.". Resolución de Calificación Ambiental (RCA), 2010).

Vertedero **PLAYA NEGRA:**

Ubicación	Sector playa Negra, Coronel.
Superficie	10 hectáreas
Inicio Operación	1991.
Vida Útil	2013.
Recepción	275.500 toneladas/año.
Capacidad Máxima	Sin dato.
Cobertura	Concepción, Chiguayante, San Pedro de la Paz, Penco, Tomé, Coronel y Lota

Fuente: "Sitios de disposición final, gestión y tratamientos de RSD e Industriales", Marzo 2006.

Vertedero **SANTA JUANA:**

Ubicación	Km 11 camino a Santa Juana.
Superficie	2.4 hectáreas.
Inicio Operación	2006.
Cierre	2012.
Recepción	4.000 toneladas/año. (cifra estimada).
Capacidad Máxima	Sin dato.
Cobertura	Santa Juana.

Fuente: Recopilación diversa.

Vertedero **COSMITO:**

Ubicación	Fundo San José de Cosmito, a 4 Km. del aeropuerto.
Superficie	12 hectáreas.
Inicio Operación	1990.
Cierre	2002.
Recepción	216.000 toneladas/año.
Capacidad Máxima	Sin dato.
Cobertura	Concepción, Chiguayante, San Pedro de la Paz, Penco, Tomé, Talcahuano y Hualqui.

Fuente: "Sitios de disposición final, gestión y tratamientos de RSD e Industriales", Marzo 2006.

Vertedero **CARRIEL NORTE:**

Ubicación	Fundo Carriel Norte, Talcahuano.
Superficie	10 hectáreas.
Inicio Operación	1989.
Cierre	2003.
Recepción	87.576 toneladas/año.
Capacidad Máxima	Sin dato.
Cobertura	Talcahuano y Hualqui.

Fuente: "Sitios de disposición final, gestión y tratamientos de RSD e Industriales", Marzo 2006.

En la siguiente tabla se resume la capacidad de basura nominal que puede recibir cada centro de acopio. Además se estima la cantidad total acumulada en el periodo de funcionamiento (vida útil del recinto).

Recinto	Años Operando	Toneladas/año Recibida	Toneladas Acumuladas
Copiulemu	13	120.000	1.560.000
Cemarc	2	219.000	438.000
Playa Negra	22	275.500	6.061.000
Santa Juana	6	4.000 (*)	24.000
Cosmito	12	216.000	2.592.000
Carriel Norte	14	87.576	1.226.064
Total	-	922.076.-	11.901.064.-

Fuente: "Primer catastro sitio de disposición final, gestión y tratamientos de residuos sólidos domiciliarios e industriales", 2006.

(*): Cifra estimada.

Sin perjuicio de lo anterior, en la provincia de Concepción existen lugares "informales" usados indiscriminadamente para botar desechos (basurales clandestinos y microbasurales). Estos sitios concentran pequeños volúmenes de material de diversos orígenes (escombros, desechos de podas, material orgánico, etc.) que con el tiempo se transforman en un foco de contaminación. Éstos lugares no se consideran en éste estudio.

Cabe señalar que, en Chile, el 68% de los vertederos operan al margen de la norma, vale decir, 7 de cada 10 centros de acopio de RSU funcionan de forma irregular. La normativa vigente es el decreto supremo 189 del año 2008, que establece que al 31 de diciembre del 2010, todos los sitios que reciban basura deben cumplir con todas las especificaciones técnicas, sanitarias y ambientales de un relleno sanitario. Algunos requisitos básicos son:

- Estar ubicados a más de 600 metros de lugares de captación de agua y a más de 60 metros de cursos de agua.
- Disponer de un cerco perimetral que impida el ingreso de personas ajenas al recinto.
- Contar con las autorizaciones sanitarias correspondientes.
- Tener la aprobación del Servicio de Calificación Ambiental, en el caso que corresponda. (Fuente: www.chiledesarrollosustentable.cl, Julio 2012).

En materia de gestión del biogás, los centros de acopio considerados en éste estudio, se preocupan básicamente de su quema controlada mediante el uso de antorchas o ductos de venteo. En éstos lugares se dispone de una red de tuberías ubicadas en varios puntos del relleno sanitario por donde circula el biogás, para luego canalizarlo a una antorcha en donde se concretar la combustión. Con ésta acción se cumple la normativa vigente para evitar la ocurrencia de explosiones espontaneas en el recinto, además de reducir el daño de los gases de efecto invernadero al transformar el CH₄ en bióxido de carbono y agua. Por otro lado, con la quema del biogás se pueden obtener beneficios por venta de los bonos de carbono.

En las siguientes tablas, se muestran algunos ejemplos nacionales y locales de vertederos de basuras que queman y uso de biogás (año 2010).

Instalaciones de Biogás Operando (año 2010)

INSTALACION Y SUSTRATO	GENERACION DE BIOGAS	ENERGÍA ELÉCTRICA	INVERSION	USOS DEL BIOGAS	ESTADO DEL PROYECTO
	miles de m ³ /año	MWh/año	US\$		
RELLENOS SANITARIOS Y VERTEDEROS					
Lomas los Colorados	8.800	18.419	1.600.000	Combustión en Antorcha y Generación eléctrica (2 MW)	Operando
Lomas los Colorados	58.000	121.395	s/l	Combustión en Antorcha	Operando
Consortio Santa Marta	43.800	91.674	2.000.000	Combustión en Antorcha	Operando
El Molle	13.000	27.209	1.500.000	Combustión en Antorcha	Operando
Collihues –La Yesca	10.000	20.930	s/l	Combustión en Antorcha	Operando
Copilulemu	5.500	11.512	1.600.000	Combustión en Antorcha	Operando
El Empalme	2.500	5.233	1.200.000	Combustión en Antorcha	Operando
Coronel	7.500	15.698	1.400.000	Combustión en Antorcha	Operando
El Panul	5.000	10.465	2.000.000	Combustión en Antorcha	Operando

Instalaciones de Biogás en Desarrollo (año 2010)

INSTALACION Y SUSTRATO	GENERACION DE BIOGAS	ENERGÍA ELÉCTRICA	INVERSION	USOS DEL BIOGAS	ESTADO DEL PROYECTO
	miles de m ³ /año	MWh/año	US\$		
RELLENOS SANITARIOS Y VERTEDEROS					
Lomas Los Colorados	58.000	121.395	15.000.000	100% Energía Eléctrica	Operando primera fase (2MW)
Consortio Santa Marta	43.800	91.674	10.000.000	Energía Eléctrica	Estudio
Ecomaule	7.000	14.651	5.000.000	Cogeneración	Estudio

Fuente: "Modelos de negocio que rentabilicen aplicaciones de biogás en Chile y su fomento".
Ministerio de Energía. 2011.

4.3 Estimación del volumen de biogás, CH₄, energía eléctrica y potencia instalada.

Para la calcular la cantidad de biogás, existen una serie de autores que proponen sus respectivas fórmulas, basadas en criterios y parámetros específicos. En la siguiente lámina, se muestran algunos modelo para estimar el volumen de biogás y CH₄, respectivamente.

Tabla A.1. Modelos para la predicción de generación de biogás

Metodología	Tasa de generación LFG	Autor
Tier 3	$q_{LFG} = \frac{Q_e}{m^2}$	Walter 2003
IPCC	$CH_4 \cdot \text{emisiones (Gg/año)}$ $= (MSW_T \times MSW_F \times MCF \times DDC) \times DDC_F \times F \times 16/12 - R) \times (1 - DX)$	Chiemchaisri y Visvanathan 2008; Ngnikam <i>et al.</i> 2002; Machado <i>et al.</i> 2009
LandGEM o EMCOM	$Q = L_0 R (e^{-kx} - e^{-kt})$	Chiemchaisri y Visvanathan 2008; Ngnikam <i>et al.</i> 2002
Método de cámara de flujo cerrado	$J = (V/A)dC/dt$	Chiemchaisri y Visvanathan 2008
EPA	$LFG = 2L_0 R (e^{-kx} - e^{-kt})$	EPA-LMOP 1996
Combinación IPCC y USEPA	$q = L_0 \cdot k \cdot e^{-kt}$	Machado <i>et al.</i> 2009
USEPA EPLUS	$Q_{T,X} = kR_X L_0 e^{-k(T-X)}$	LFG Consult (2007)
Modelo Mexicano de Biogás	$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left[\frac{M_i}{10} \right] (e^{-k_i t}) (MCF)(F)$	SCS Engineers 2009
Modelo de primer orden (TNO)	$\alpha_i = \zeta 1.87 A C_0 k_i e^{-k_i t}$	Scharff y Jacobs 2006
Modelo multifase	$\alpha_i = \zeta \sum_{j=1}^3 c A C_0 k_j e^{-k_j t}$	Scharff y Jacobs 2006
LandGem US EPA	$Q_{CH_4} = \sum_{j=1}^n k L_0 M_j (e^{-k_j t})$	Scharff y Jacobs 2006
GasSim	Este equipado con dos enfoques para calcular la estimación de las emisiones de CH ₄ . El primer enfoque usa la ecuación multifase de GasSim el cual está basado en el modelo multifase descrito por Scheepers and Van Zanten (1994). El segundo enfoque utiliza el modelo LandGEM.	Scharff y Jacobs 2006
EPER modelo Frances	$FE_{CH_4} = \sum_x FE_0 \cdot \left(\sum_{i,2,3} A_i \cdot p_i \cdot k_i \cdot e^{-k_i t} \right)$	Scharff y Jacobs 2006
EPER modelo Alemán	$Me = M \cdot BDC \cdot BDC_F \cdot F \cdot D \cdot C$	Scharff y Jacobs 2006

Este documento debe citarse como:
 Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P. A., Ojeda-Benítez, S. (2011). Modelo Mexicano para la estimación de la generación biogás. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 15-1, pp 37-45, ISSN: 1665-529-X.

En éste estudio, para estimar el potencial energético se supondrá un mínimo de 10 años después del cierre de cada vertedero, tiempo esperado para concentrar un alto volumen de biogás y la estabilización del CH₄.

Cabe señalar que, la estimación del volumen de biogás generado en un relleno sanitario, es bastante compleja. Tal y como se mencionó anteriormente, existen varias fórmulas de cálculo, pero todas presentan limitaciones debido al uso de constantes experimentales y supuestos que tratan de simular las complejas reacciones físicas y químicas que ocurren dentro del vertedero.

Sin perjuicio de lo anterior, y por tratarse de un estudio preliminar, se hará uso de un modelo práctico y simple para pronosticar el volumen de biogás. La fórmula en cuestión corresponde a una variante del modelo LandGem US EPA:

$$Q_M = \sum_{i=1}^n 2 k L_o M_i (e^{-kt_i})$$

Donde:

- $\sum_{i=1}^n$ = La suma desde el año de apertura +1 (i=1) hasta el año de proyección (n);
- Q_M = Generación máxima de biogás (m³/año);
- k = Índice de generación de metano (1/año);
- L_o = Generación potencial de metano (m³/Mg);
- M_i = Masa de residuos sólidos dispuestos en el año i (Mg);
- t_i = Edad de los residuos dispuestos en el año i (años).

Fuente: Código 40 Leyes Federales EEUU.

Los valores de k y L_o están tabulados, según los parámetros establecidos para éste modelo:

Precipitación anual (mm/año)	k (1/año)
0 - 249	0,04
250 - 499	0,05
500 - 999	0,065
Por lo menos 1000	0,08

Fuente: EPA.

Precipitación anual (mm/año)	L_o (m³/Mg)
0 – 249	60
250 – 499	80
Por lo menos 500	84

Fuente: EPA.

Para efectos de éste estudio, se supondrá que el biogás contiene un 50% de CH₄ (Según datos bibliográficos).

Considerando el nivel de precipitación local, se tomaron los siguientes valores:

$$L_o = 84 \text{ (m}^3\text{/Mg)}$$

$$k = 0,08 \text{ (1/año)}$$

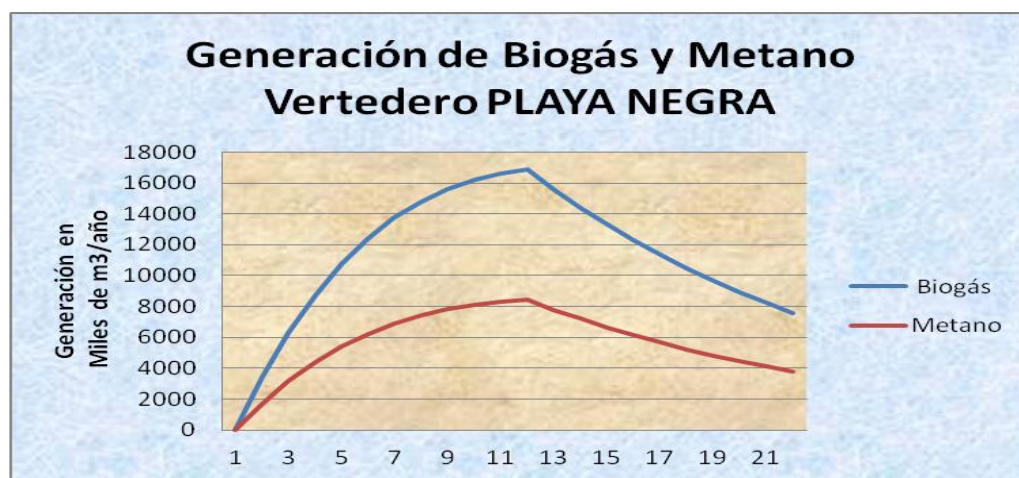
En base a los supuestos citados y a la cantidad de basura depositada en cada centro de acopio, se logro determinar el volumen generado de biogás y CH₄. Los valores respectivos se encuentran tabulados a continuación:

1.- Vertedero **PLAYA NEGRA**:

Año (*)	Generación en Miles de m ³ /año	
	Biogás	Metano
1991	0	0
1992	3.418	1.709
1993	6.310	3.155
1994	8.738	4.369
1995	10.755	5.377
1996	12.410	6.205
1997	13.747	6.874
1998	14.805	7.403
1999	15.619	7.810
2000	16.221	8.110
2001	16.637	8.319
2002	16.894	8.447
2003	15.595	7.798
2004	14.396	7.198
2005	13.289	6.645
2006	12.268	6.134
2007	11.324	5.662
2008	10.454	5.227
2009	9.650	4.825
2010	8.908	4.454
2011	8.223	4.112
2012	7.591	3.795

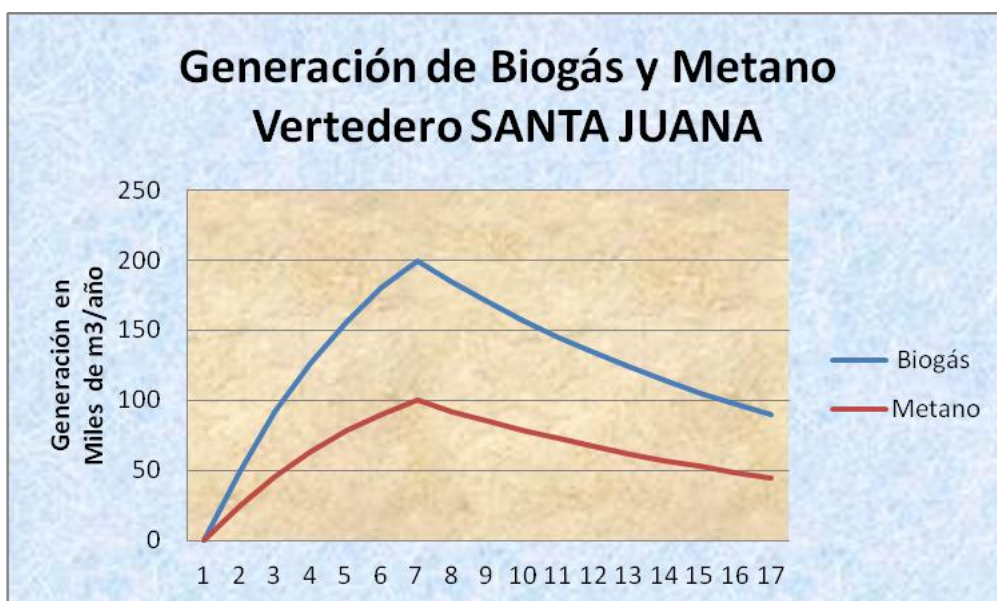
(*) Años de vida útil del vertedero.

En el siguiente gráfico se muestra las curvas de generación de biogás y CH₄, respectivamente considerando una proyección de análisis a 20 años.



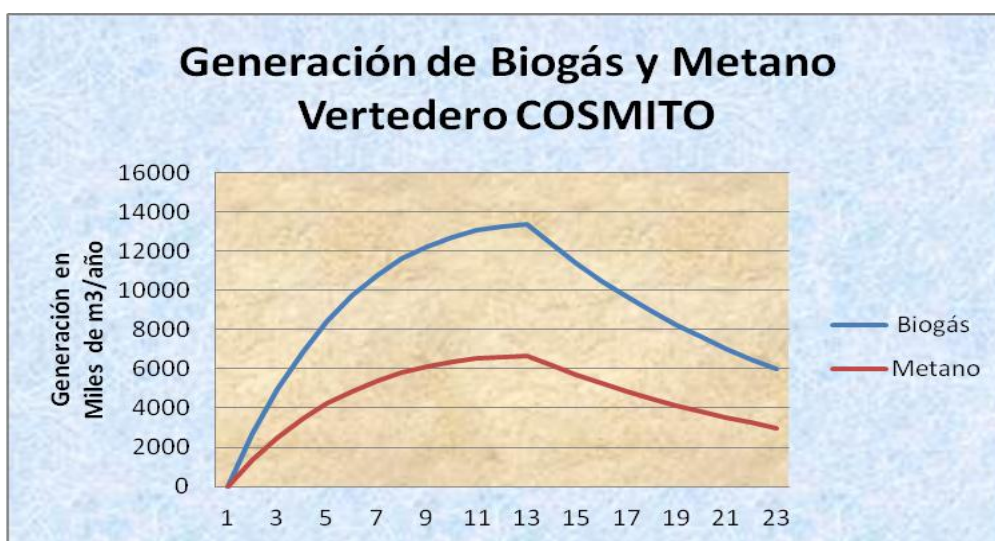
2.- Vertedero **SANTA JUANA:**

Año	Generación en Miles de m ³ /año	
	Biogás	Metano
2006	0	0
2007	50	25
2008	92	46
2009	127	63
2010	156	78
2011	180	90
2012	200	100
2013	184	92
2014	170	85
2015	157	79
2016	145	72
2017	134	67
2018	124	62
2019	114	57
2020	105	53
2021	97	49
2022	90	45



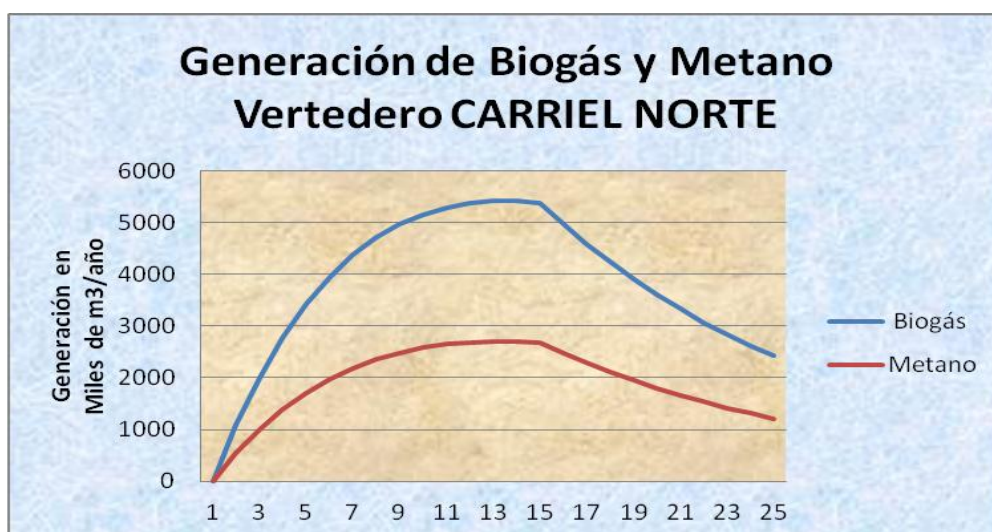
3.- Vertedero **COSMITO**:

Año	Generación en Miles de m ³ /año	
	Biogás	Metano
1990	0	0
1991	2.682	1.341
1992	4.950	2.475
1993	6.853	3.426
1994	8.434	4.217
1995	9.732	4.866
1996	10.780	5.390
1997	11.610	5.805
1998	12.248	6.124
1999	12.720	6.360
2000	13.046	6.523
2001	13.247	6.624
2002	13.341	6.670
2003	12.315	6.158
2004	11.368	5.684
2005	10.495	5.247
2006	9.688	4.844
2007	8.943	4.472
2008	8.256	4.128
2009	7.621	3.811
2010	7.035	3.518
2011	6.495	3.247
2012	5.995	2.998



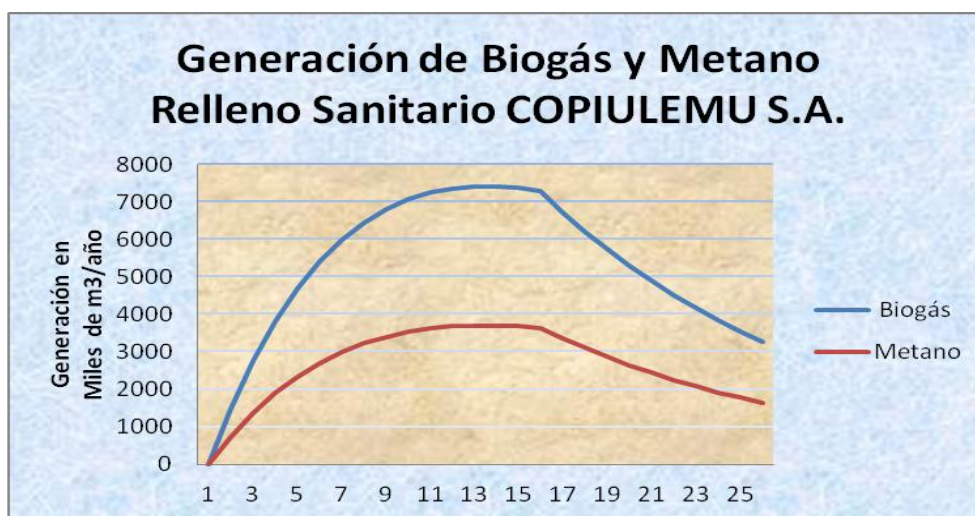
4.- Vertedero **CARRIEL NORTE:**

Año	Generación en Miles de m ³ /año	
	Biogás	Metano
1989	0	0
1990	1.089	544
1991	2.008	1.004
1992	2.780	1.390
1993	3.421	1.710
1994	3.947	1.973
1995	4.372	2.186
1996	4.708	2.354
1997	4.967	2.484
1998	5.158	2.579
1999	5.291	2.645
2000	5.372	2.686
2001	5.410	2.705
2002	5.410	2.705
2003	5.379	2.689
2004	4.965	2.483
2005	4.584	2.292
2006	4.231	2.116
2007	3.906	1.953
2008	3.606	1.803
2009	3.329	1.664
2010	3.073	1.537
2011	2.837	1.419
2012	2.619	1.310
2013	2.418	1.209



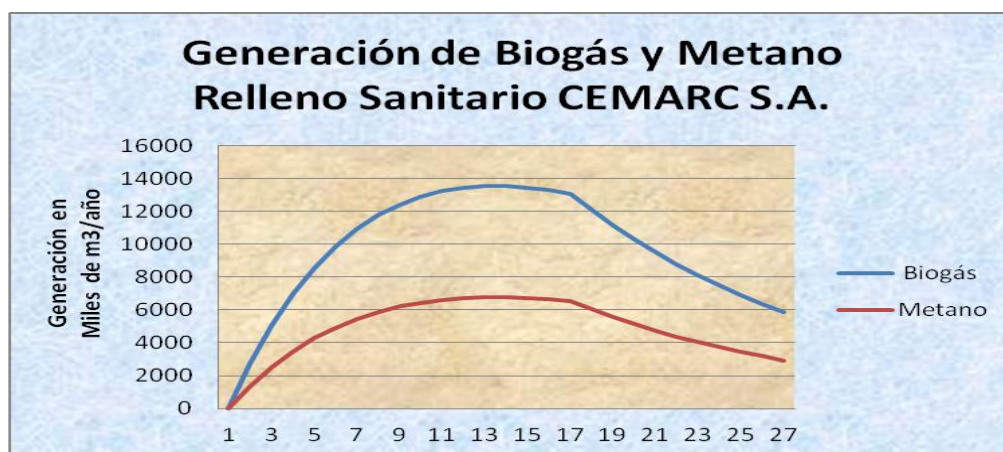
5.- Relleno Sanitario **COPIULEMU S.A.**:

Año	Generación en Miles de m ³ /año	
	Biogás	Metano
2000	0	0
2001	1.491	745
2002	2.751	1.375
2003	3.808	1.904
2004	4.687	2.343
2005	5.407	2.704
2006	5.990	2.995
2007	6.451	3.225
2008	6.805	3.403
2009	7.067	3.534
2010	7.249	3.624
2011	7.361	3.680
2012	7.412	3.706
2013	7.413	3.706
2014	7.369	3.685
2015	7.289	3.644
2016	6.728	3.364
2017	6.211	3.106
2018	5.734	2.867
2019	5.293	2.647
2020	4.886	2.443
2021	4.511	2.255
2022	4.164	2.082
2023	3.844	1.922
2024	3.549	1.774
2025	3.276	1.638



6.- Relleno Sanitario **CEMARC S.A.**:

Año	Generación en Miles de m ³ /año	
	Biogás	Metano
2010	0	0
2011	2.717	1.359
2012	5.016	2.508
2013	6.946	3.473
2014	8.549	4.275
2015	9.865	4.932
2016	10.928	5.464
2017	11.769	5.884
2018	12.416	6.208
2019	12.894	6.447
2020	13.225	6.613
2021	13.429	6.715
2022	13.524	6.762
2023	13.524	6.762
2024	13.445	6.723
2025	13.298	6.649
2026	13.094	6.547
2027	12.087	6.044
2028	11.158	5.579
2029	10.300	5.150
2030	9.508	4.754
2031	8.777	4.389
2032	8.102	4.051
2033	7.479	3.740
2034	6.904	3.452
2035	6.373	3.187
2036	5.883	2.942



En las siguientes tablas se detalla la energía eléctrica disponible (KWh) en cada centro de acopio, según los m³ de biogás calculados:

CENTRO DE ACOPIO									
	PLAYA NEGRA			SANTA JUANA			COSMITO		
Año	Biogás m ³ /año	Biogás m ³ /hr	Energía Eléctrica KWh	Biogás m ³ /año	Biogás m ³ /hr	Energía Eléctrica KWh	Biogás m ³ /año	Biogás m ³ /hr	Energía Eléctrica KWh
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	0	0	0
1991	0	0	0,0	-	-	-	2.681.834	306,1	1.530,7
1992	3.418.041	390,2	1.950,9	-	-	-	4.949.606	565,0	2.825,1
1993	6.310.500	720,4	3.601,9	-	-	-	6.852.828	782,3	3.911,4
1994	8.737.988	997,5	4.987,4	-	-	-	8.434.152	962,8	4.814,0
1995	10.754.906	1.227,7	6.138,6	-	-	-	9.731.824	1.110,9	5.554,7
1996	12.410.037	1.416,7	7.083,4	-	-	-	10.780.113	1.230,6	6.153,0
1997	13.747.090	1.569,3	7.846,5	-	-	-	11.609.695	1.325,3	6.626,5
1998	14.805.191	1.690,1	8.450,5	-	-	-	12.248.005	1.398,2	6.990,9
1999	15.619.330	1.783,0	8.915,1	-	-	-	12.719.549	1.452,0	7.260,0
2000	16.220.766	1.851,7	9.258,4	-	-	-	13.046.199	1.489,3	7.446,5
2001	16.637.393	1.899,2	9.496,2	-	-	-	13.247.445	1.512,3	7.561,3
2002	16.894.075	1.928,5	9.642,7	-	-	-	13.340.641	1.522,9	7.614,5
2003	15.595.197	1.780,3	8.901,4	-	-	-	12.315.119	1.405,8	7.029,2
2004	14.396.181	1.643,4	8.217,0	-	-	-	11.368.443	1.297,8	6.488,8
2005	13.289.350	1.517,0	7.585,2	-	-	-	10.494.550	1.198,0	5.990,0
2006	12.267.616	1.400,4	7.002,1	0	0	0,0	9.687.846	1.105,9	5.529,6
2007	11.324.437	1.292,7	6.463,7	49.627	5,7	28,3	8.943.164	1.020,9	5.104,5
2008	10.453.773	1.193,4	5.966,8	91.623	10,5	52,3	8.255.736	942,4	4.712,2
2009	9.650.049	1.101,6	5.508,0	126.867	14,5	72,4	7.621.160	870,0	4.350,0
2010	8.908.118	1.016,9	5.084,5	156.151	17,8	89,1	7.035.373	803,1	4.015,6
2011	8.223.229	938,7	4.693,6	180.182	20,6	102,8	6.494.623	741,4	3.707,0
2012	-	-	-	199.595	22,8	113,9	5.995.448	684,4	3.422,1
2013	-	-	-	184.249	21,0	105,2	-	-	-
2014	-	-	-	170.083	19,4	97,1	-	-	-
2015	-	-	-	157.007	17,9	89,6	-	-	-
2016	-	-	-	144.936	16,5	82,7	-	-	-
2017	-	-	-	133.792	15,3	76,4	-	-	-
2018	-	-	-	123.506	14,1	70,5	-	-	-
2019	-	-	-	114.010	13,0	65,1	-	-	-
2020	-	-	-	105.245	12,0	60,1	-	-	-
2021	-	-	-	97.153	11,1	55,5	-	-	-
2022	-	-	-	89.684	10,2	51,2	-	-	-

CENTRO DE ACOPIO									
	CARRIEL NORTE			COPIULEMU S.A.			CEMARC S.A.		
Año	Biogás m³/año	Biogás m³/hr	Energía Eléctrica KWh	Biogás m³/año	Biogás m³/hr	Energía Eléctrica KWh	Biogás m³/año	Biogás m³/hr	Energía Eléctrica KWh
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	1.088.516,7	124,3	621,3	-	-	-	-	-	-
1991	2.007.973,0	229,2	1.146,1	-	-	-	-	-	-
1992	2.779.624,6	317,3	1.586,5	-	-	-	-	-	-
1993	3.420.763,9	390,5	1.952,5	-	-	-	-	-	-
1994	3.946.898,3	450,6	2.252,8	-	-	-	-	-	-
1995	4.371.921,9	499,1	2.495,4	-	-	-	-	-	-
1996	4.708.272,2	537,5	2.687,4	-	-	-	-	-	-
1997	4.967.071,9	567,0	2.835,1	-	-	-	-	-	-
1998	5.158.257,6	588,8	2.944,2	-	-	-	-	-	-
1999	5.290.696,2	604,0	3.019,8	-	-	-	-	-	-
2000	5.372.291,2	613,3	3.066,4	-	-	-	-	-	-
2001	5.410.077,6	617,6	3.087,9	1.490.802	170,2	850,9	-	-	-
2002	5.410.309,6	617,6	3.088,1	2.750.676	314,0	1.570,0	-	-	-
2003	5.378.538,4	614,0	3.069,9	3.808.022	434,7	2.173,5	-	-	-
2004	4.965.171,6	566,8	2.834,0	4.686.536	535,0	2.675,0	-	-	-
2005	4.583.586,1	523,2	2.616,2	5.407.465	617,3	3.086,5	-	-	-
2006	4.231.338,3	483,0	2.415,1	5.989.848	683,8	3.418,9	-	-	-
2007	3.906.172,7	445,9	2.229,6	6.450.728	736,4	3.681,9	-	-	-
2008	3.606.007,1	411,6	2.058,2	6.805.345	776,9	3.884,3	-	-	-
2009	3.328.919,4	380,0	1.900,1	7.067.314	806,8	4.033,9	-	-	-
2010	3.073.135,3	350,8	1.754,1	7.248.787	827,5	4.137,4	-	-	-
2011	2.837.016,9	323,9	1.619,3	7.360.591	840,3	4.201,3	2.717.064	310,2	1.550,8
2012	2.619.052,2	299,0	1.494,9	7.412.367	846,2	4.230,8	5.016.332	572,6	2.863,2
2013	2.417.845,5	276,0	1.380,0	7.412.684	846,2	4.231,0	6.945.987	792,9	3.964,6
2014	-	-	-	7.369.150	841,2	4.206,1	8.549.272	975,9	4.879,7
2015	-	-	-	7.288.504	832,0	4.160,1	9.864.966	1.126,1	5.630,7
2016	-	-	-	6.728.293	768,1	3.840,4	10.927.814	1.247,5	6.237,3
2017	-	-	-	6.211.154	709,0	3.545,2	11.768.917	1.343,5	6.717,4
2018	-	-	-	5.733.773	654,5	3.272,7	12.416.091	1.417,4	7.086,8
2019	-	-	-	5.293.096	604,2	3.021,2	12.894.184	1.471,9	7.359,7
2020	-	-	-	4.886.300	557,8	2.789,0	13.225.369	1.509,7	7.548,7
2021	-	-	-	4.510.779	514,9	2.574,6	13.429.410	1.533,0	7.665,2
2022	-	-	-	4.164.130	475,4	2.376,8	13.523.899	1.543,8	7.719,1
2023	-	-	-	3.844.133	438,8	2.194,1	13.524.477	1.543,9	7.719,5

Continuación de la tabla anterior...

CENTRO DE ACOPIO									
	CARRIEL NORTE			COPIULEMU S.A.			CEMARC S.A.		
Año	Biogás m ³ /año	Biogás m ³ /hr	Energía Eléctrica KWh	Biogás m ³ /año	Biogás m ³ /hr	Energía Eléctrica KWh	Biogás m ³ /año	Biogás m ³ /hr	Energía Eléctrica KWh
2024	-	-	-	3.548.739	405,1	2.025,5	13.445.025	1.534,8	7.674,1
2025	-	-	-	3.276.055	374,0	1.869,9	13.297.845	1.518,0	7.590,1
2026	-	-	-	-	-	-	13.093.822	1.494,7	7.473,6
2027	-	-	-	-	-	-	12.087.121	1.379,8	6.899,0
2028	-	-	-	-	-	-	11.157.819	1.273,7	6.368,6
2029	-	-	-	-	-	-	10.299.965	1.175,8	5.879,0
2030	-	-	-	-	-	-	9.508.066	1.085,4	5.427,0
2031	-	-	-	-	-	-	8.777.051	1.001,9	5.009,7
2032	-	-	-	-	-	-	8.102.240	924,9	4.624,6
2033	-	-	-	-	-	-	7.479.310	853,8	4.269,0
2034	-	-	-	-	-	-	6.904.273	788,2	3.940,8
2035	-	-	-	-	-	-	6.373.447	727,6	3.637,8
2036	-	-	-	-	-	-	5.883.433	671,6	3.358,1

En la siguiente tabla se resume la capacidad instalada (MW) posible de obtener en cada centro de acopio de basura. Cabe señalar que las cifras calculadas son aproximadas y referenciales.

Año	CAPACIDAD DISPONIBLE (MW)					
	Vertedero				Relleno Sanitario	
	PLAYA NEGRA	SANTA JUANA	COSMITO	CARRIEL NORTE	COPIULEMU S.A.	CEMARC S.A.
1989	-	-	-	0	-	-
1990	-	-	0	0,15	-	-
1991	0	-	0,38	0,29	-	-
1992	0,49	-	0,70	0,39	-	-
1993	0,90	-	0,97	0,49	-	-
1994	1,24	-	1,20	0,56	-	-
1995	1,53	-	1,38	0,62	-	-
1996	1,76	-	1,53	0,67	-	-
1997	1,95	-	1,65	0,71	-	-
1998	2,10	-	1,74	0,73	-	-
1999	2,22	-	1,81	0,75	-	-
2000	2,31	-	1,85	0,76	0	-
2001	2,36	-	1,88	0,77	0,21	-
2002	2,40	-	1,90	0,77	0,39	-
2003	2,22	-	1,75	0,76	0,54	-
2004	2,05	-	1,62	0,71	0,67	-
2005	1,89	-	1,49	0,65	0,77	-
2006	1,74	0	1,38	0,60	0,85	-
2007	1,61	0,01	1,27	0,56	0,92	-
2008	1,49	0,01	1,17	0,51	0,97	-
2009	1,37	0,02	1,08	0,47	1,00	-
2010	1,27	0,02	1,00	0,44	1,03	0
2011	1,17	0,03	0,92	0,40	1,05	0,39
2012	1,08	0,03	0,85	0,37	1,05	0,71
2013	-	0,03	-	0,34	1,05	0,99
2014	-	0,02	-	-	1,05	1,21
2015	-	0,02	-	-	1,04	1,40
2016	-	0,02	-	-	0,96	1,55
2017	-	0,02	-	-	0,88	1,67
2018	-	0,02	-	-	0,81	1,76
2019	-	0,02	-	-	0,75	1,83
2020	-	0,01	-	-	0,69	1,88
2021	-	0,01	-	-	0,64	1,91
2022	-	0,01	-	-	0,59	1,92
2023	-	-	-	-	0,55	1,92
2024	-	-	-	-	0,50	1,91
2025	-	-	-	-	0,47	1,89
2026	-	-	-	-	-	1,86
2027	-	-	-	-	-	1,72
2028	-	-	-	-	-	1,59
2029	-	-	-	-	-	1,46
2030	-	-	-	-	-	1,35
2031	-	-	-	-	-	1,25
2032	-	-	-	-	-	1,15
2033	-	-	-	-	-	1,06
2034	-	-	-	-	-	0,98
2035	-	-	-	-	-	0,91
2036	-	-	-	-	-	0,84

Supuestos considerados para los cálculos:

- 1.- Uso de un equipo de generación por 7.884 horas al año.
- 2.- Rendimiento eléctrico 42%.
- 3.- Factor de Planta 100%.
- 4.- Flujo másico de biogás constante.
- 5.- El biogás tiene un 50% de CH₄ (constante en todo el periodo de explotación).
- 6.- La cantidad nominal de basura recibida en cada centro de acopio, se mantiene constante en todo el periodo de vida útil.

ANEXOS

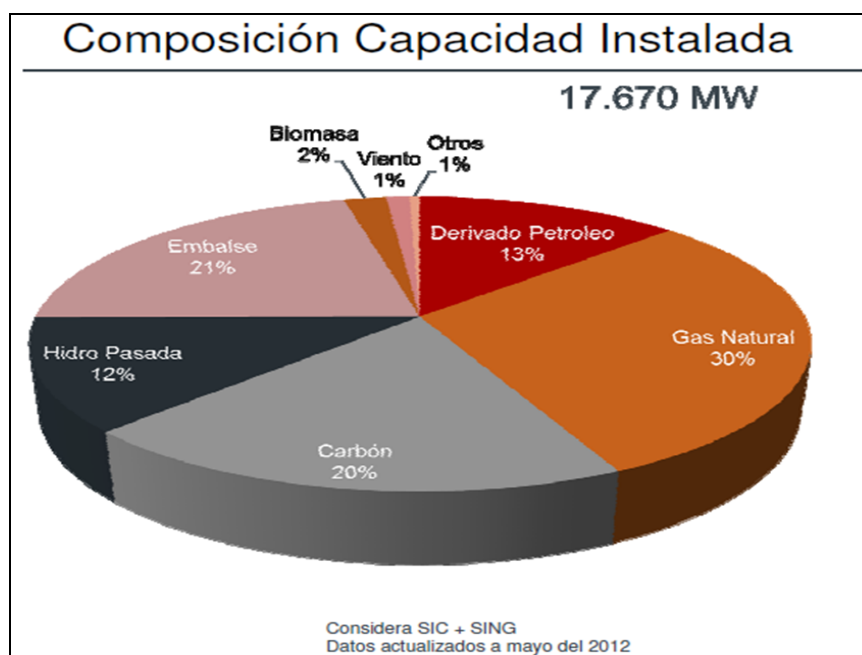
ANEXO A: ASPECTOS ELÉCTRICOS GENERALES EN CHILE.

ANEXO B: MARCO INSTITUCIONAL Y NORMATIVO.

ANEXO C: ESQUEMA PLANTA GENERADORA DE ELECTRICIDAD.

ANEXO A: ASPECTOS ELÉCTRICOS GENERALES EN CHILE.

a.1 Matriz generación eléctrica en CHILE (2012).



Fuente: www.amchamsal.com

Tecnología	Capacidad Instalada (MW)
Gas Natural	5.278
Petróleo	2.308
Embalses	3.769
Pasada	2.186
Carbón	3.467
Biomasa	372
Eólica	198
Otros	92

Fuente: <http://www.centralenergia.cl/>

Chile alrededor del año 1990 desarrolló una tecnología generadora centrada en la energía hidroeléctrica, para luego pasar al uso del gas natural hasta que Argentina estableció restricciones en el suministro; esto llevó al uso de turbinas a diesel y fuel oil como solución de emergencia. Posteriormente hubo una fuerte expansión en la instalación de centrales termoeléctricas a carbón. Actualmente, la matriz de energía eléctrica tanto del SIC (Sistema Interconectado Central) y del SING (Sistema Interconectado Norte Grande), están compuestas casi en un 96% de energías convencionales; de las cuales el 63% corresponden a generación térmica (usando como combustible: Petróleo, Gas Natural y Carbón):

- 3% de participación de ERNC,
- 34% de hidroelectricidad y
- 63% de generación térmica.

Cabe señalar que la capacidad instalada nacional, distribuida según los 4 sistemas eléctricos existentes es:

Sistema Eléctrico	Capacidad (MW)	%
Sistema Interconectado Norte Grande (SING)	4.417	25
Sistema Interconectado Central (SIC)	13.075	74
Sistemas medianos de las Regiones de Aysén.	50	0.2829
Sistema medianos de Magallanes.	101	0.5715

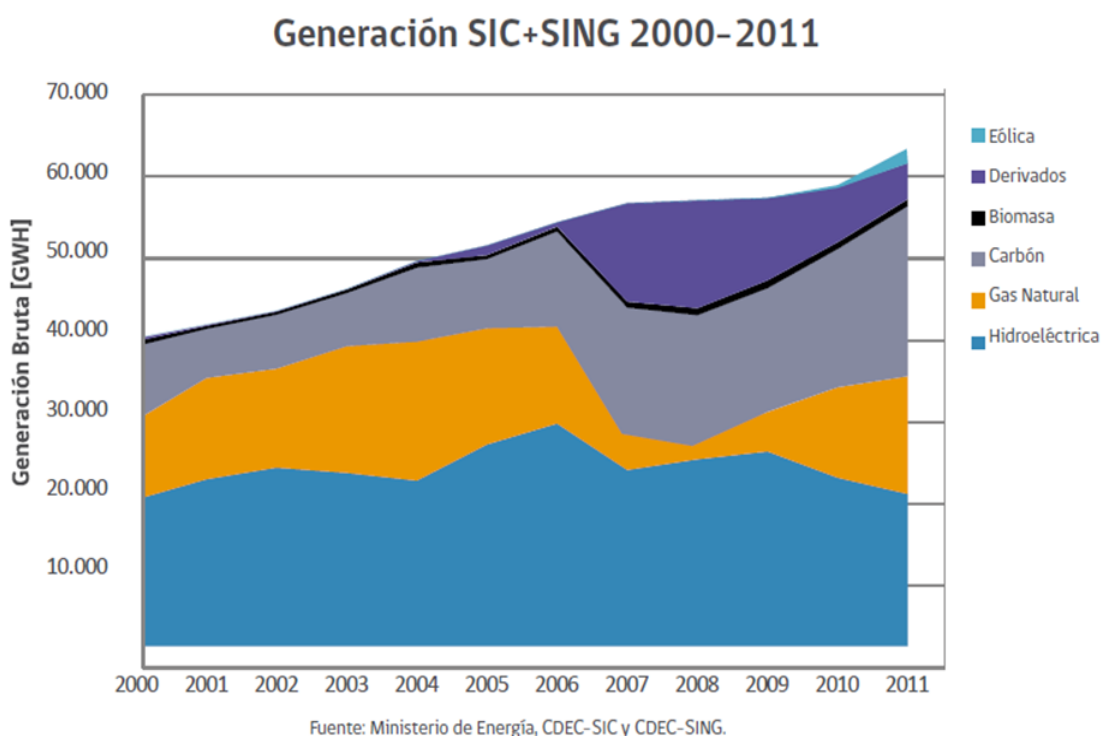
Fuente: CER, 2012.

Observaciones:

- El SING basa su potencia instalada casi exclusivamente por centrales termoeléctricas.
- El SIC abastece a más del 90% de la población. Inicialmente su matriz estaba compuesta por centrales hidroeléctrica, para luego dar paso a las termoeléctricas (a mediados de los años 90's el gas natural proveniente de Argentina fue muy conveniente por su bajo precio y abundancia) que poseen mayor cobertura pero con poco aporte energético dado los altos costo de producción. Actualmente las centrales termoeléctricas a carbón presentan mayor desarrollo durante los últimos años. Este sistema eléctrico está compuesto de la siguiente forma: Termoeléctrico: 6.973 MW (53.5%), Hidroeléctrico: 5.858 MW (45.0%) y Eólico: 197 MW (1.5%) (Fuente: CDEC, CNE Octubre 2012).
- El sistema eléctrico de Aysén, basa su aporte energético en algunas unidades hidroeléctricas (20 MW, 42.1%), pequeñas unidades diesel (25 MW, 53.7%) y eólica (2 MW, 4.2%) (Fuente: CDEC, CNE Octubre 2012).
- El sistema eléctrico de Magallanes genera su producción casi exclusivamente por centrales termoeléctricas (gas natural y diesel). La única fuente alternativa (no térmica) es el parque eólico Cabo Negro que fue inaugurado el año 2010, y cuenta con 3 aerogeneradores con una capacidad de 2,55 MW.

a.2 Generación eléctrica nacional.

En Chile, las alternativas de generación con energías renovables no convencionales compiten con las tecnologías convencionales en un marco regulador y económico diseñado para éstas últimas. No obstante, se han concretado algunas iniciativas gubernamentales en apoyo a proyectos de ERNC, pero aún no es suficiente. En la siguiente gráfica se muestra el aporte de las diferentes fuentes energéticas para la generación eléctrica en el SIC y SING. Queda de manifiesto el bajo aporte de generación a partir de las fuentes no convencionales (eólica y biomasa) en contraposición a los combustibles tradicionales.



En la siguiente tabla se detallan los GWh (año total país) generados por cada uno de los sistemas eléctricos existentes en Chile. Se evidencia el importante aporte que realiza el SIC en la generación eléctrica nacional.

Año	Total	Generación por Sistemas(GWh)					
		SING	%	SIC	%	Otros (*)	%
1997	32.549	6.603	20,3	23.784	73,1	2.162	6,6
1998	34.885	7.245	20,8	25.677	73,6	1.963	5,6
1999	38.019	9.125	24,0	26.915	70,8	1.979	5,2
2000	39.586	8.237	20,8	29.074	73,4	2.275	5,7
2001	41.286	8.460	20,5	30.237	73,3	2.589	6,2
2002	42.353	8.865	20,9	30.969	73,1	2.519	5,9
2003	45.239	9.869	21,8	32.729	72,3	2.641	5,8
2004	48.871	11.379	23,3	34.742	71,1	2.750	5,6
2005	51.575	11.425	22,2	36.472	70,7	3.677	7,1
2006	54.396	11.522	21,2	39.409	72,4	3.465	6,4
2007	57.705	13.068	22,6	40.677	70,5	3.960	6,9
2008	58.708	14.373	24,5	40.174	68,4	4.161	7,1
2009	58.392	14.118	24,2	40.169	68,8	4.105	7,0
2010	60.159	14.390	23,9	42.275	70,3	3.494	5,8
2011	63.723,0	14.627		44.981		4.115	

Fuente: INE, 2012.

Cabe señalar que al cierre del año 2012, la producción bruta de energía del SIC fue de 48.869 GWh, cifra que superó en casi un 5,5% al obtenido el año anterior (Fuente: Cdec – SIC).

Respecto de los aportes realizados por tecnología, en las siguientes tablas se especifica la participación y aporte de las diferentes fuentes energéticas para la generación eléctrica en el SIC y SING, respectivamente. En el SIC se destaca el aporte de la generación hídrica de embalse y de pasada; el aporte térmico se concentra con el uso de carbón, gas y los derivados del petróleo.

Generación de Energía Eléctrica (Gwh) - SIC										
Año	Total	%	C.C.	%	Térmica	%	Hidráulica	%	ERNC	%
2007	40.696	100	7.097	17,4	11.451	28,1	22.148	54,4	-	-
2008	40.174	100	4.606	11,5	12.147	30,2	23.390	58,2	31	0,1
2009	40.169	100	4.894	12,2	10.941	27,2	24.275	60,4	59	0,1
P/2010	42.275	100	7.560	17,9	13.280	31,4	21.104	49,9	331	0,8

Nota: C.C.: Ciclo Combinado.

Generación de Energía Eléctrica (Gwh) - SING									
Año	Total	%	C.C.	%	Térmica	%	Hidráulica	%	
2007	13.068	100	3.250	24,9	9.764	74,7	54	0,4	
2008	14.373	100	3.394	23,6	10.926	76,0	53	0,4	
2009	14.118	100	3.786	26,8	10.270	72,7	62	0,4	
P/2010	14.390	100	4.443	30,9	9.886	68,7	61	0,4	

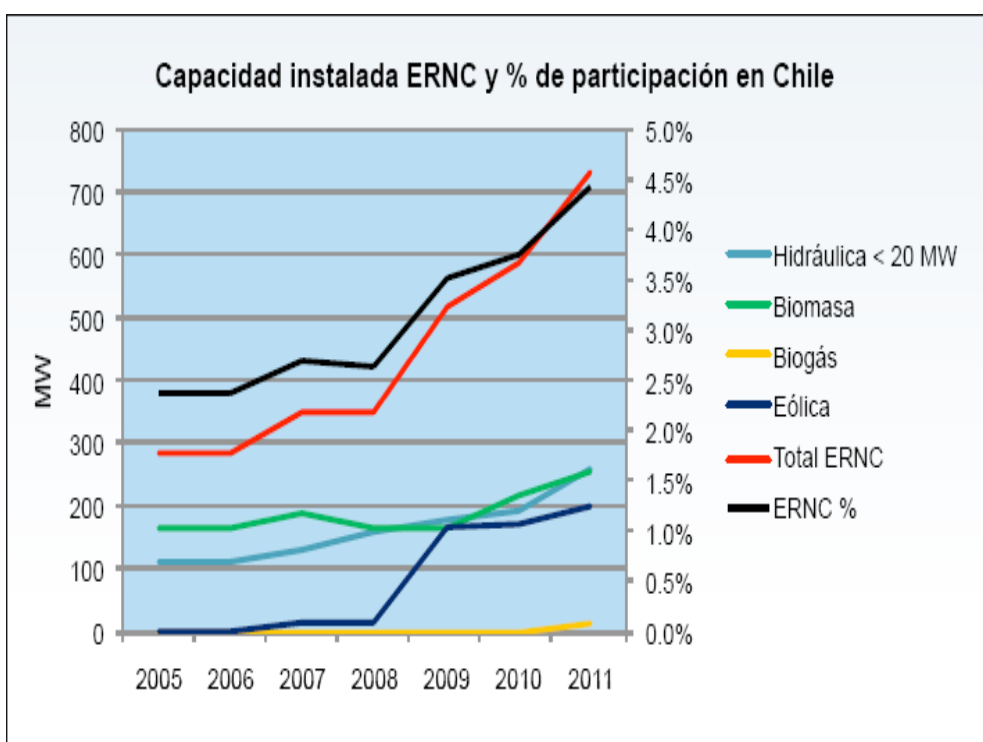
Fuente: INE, 2012.

Cabe señalar que en el sistema eléctrico de Aysén, se destaca el uso de petróleo en la generación térmica (alrededor de 33 GWh, 2011), la generación hídrica de pasada y embalse (89 GWh, 2011) y la generación eólica (7,6 GWh, 2011).

En el caso del sistema eléctrico de Magallanes, la generación térmica (276 GWh, 2011) se base en el uso de gas seguido del petróleo.

a.3 Antecedentes generales energía renovables no convencionales (ERNC).

- Actualmente cerca del 4% de la energía que se genera en Chile es a través de las ERNC. Se espera que para el año 2020 el aporte de dichas energías alcance el 20% (Proyecto 20/20 propuesto por el gobierno de turno).
- En la siguiente gráfica se muestra la evolución que experimenta el aporte energético de las ERNC durante los últimos años:



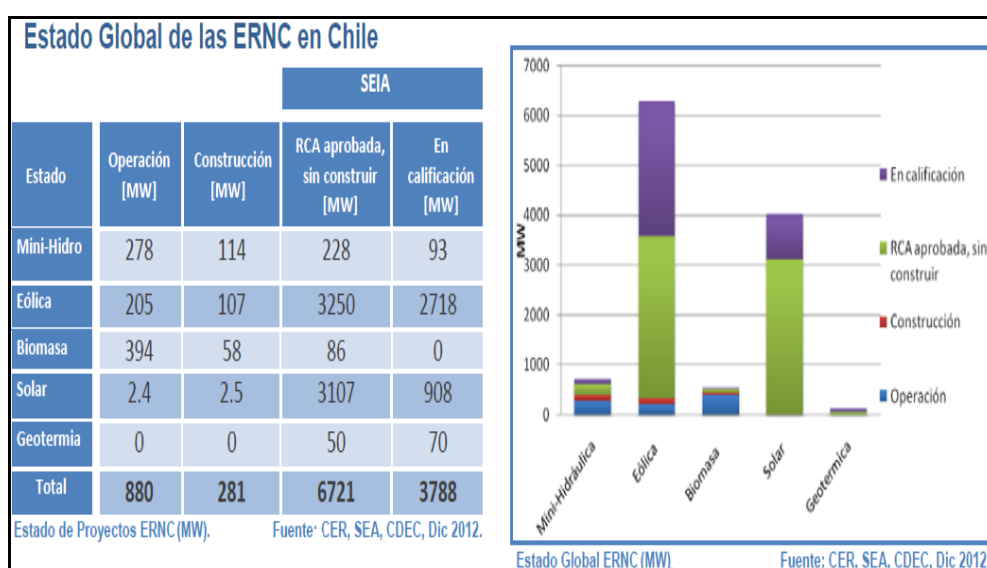
Fuente: "Las Energías Renovables No Convencionales en el Mercado Eléctrico Chileno", 2012.

- En Diciembre del año 2012, la capacidad instalada de las ERNC conectadas a la red alcanzó los 879 MW (Fuente: CER), los cuales se distribuyeron de la siguiente manera:

- SING: 16.2 MW.
- SIC: 840 MW.
- Otros: 22,4 MW.

- La energía generada en Chile por las ERNC alcanzó aproximadamente un 4,83% y de las energías convencionales un 95,17%. Se destaca el aporte de la biomasa con un 2,18%, seguido por las centrales mini hidroeléctricas 1,54%, las eólicas 1,11% y las solares 0,01% (Fuente: CER, Diciembre 2012).

- Existe un fuerte desarrollo y participación de ERNC en el área eólica y solar. El aporte de energía proveniente de la biomasa (y que incluye a la basura de rellenos sanitarios) es bastante discreto y está centrado en los desechos forestales. En la siguiente gráfica se muestra el número de proyectos en curso o aprobados de ERNC en Chile (Diciembre 2012).



Fuente: Centro Energías Renovables Chile, CER 2012.

- Se estima que Chile cuenta con un potencial de 40.000 MW, sumando la energía eólica, solar, mini-hidroeléctricas, geotérmica, biomasa, biogás, etc. Actualmente existen 3.791 MW en proyectos de ERNC “aprobados” y 4.343 MW que están en calificación ambiental. De concretarse dichas iniciativas, las ERNC alcanzarían al 45% de la capacidad instalada energética nacional (Fuente: ECOAMERICA, 2012).
- La asociación chilena de energías renovable (Acera) señala que para el año 2020 se incorporarán entre 500 MW y 600 MW de potencia por año. Estiman que al año 2015 al menos el 6% del SIC estaría aportado por ERNC y que para el año 2020 la meta de un 20% de cobertura de estas energías en la matriz eléctrica nacional podría ser superada, alcanzando los 6.000 MW.
- Marco regulador Ley 20.257 ERNC: Esta ley pretende fomentar el desarrollo de la generación eléctrica con ERNC, para diversificar la matriz energética nacional y mejorar la seguridad del abastecimiento, junto con establecer un desarrollo sustentable de la economía nacional. Esta ley obliga a las empresas generadoras de energía que efectúen retiros de energía de los sistemas eléctricos con capacidad instalada superior a 200 MW para comercializarla con distribuidores eléctricos o consumidores finales, una cantidad de energía equivalente al 10% (hoy sólo un 5,5%) que haya sido inyectada a esos sistemas por medios de generación de ERNC. Dicha ley se encuentra orientada para que el generador eléctrico (empresas de alta capacidad económica), inyecte ya sea por sí mismo o por un tercero, la energía limpia a los sistemas eléctricos. (Fuente: www.anescochile.cl).

- En general, todos los países tienen que respaldar sus matrices energéticas con combustibles tradicionales. Como ejemplo, el año 2010, Dinamarca tuvo cerca del 30% de su matriz con ERNC y un 48% a base a carbón. Suecia generó cerca del 10% con ERNC y un 43% con energía nuclear. Alemania generó alrededor de un 12% con ERNC, sin embargo 46% es a base de carbón. Por otro lado, Irlanda posee un 99% de su matriz energética con energías renovables, con un 50% aportado por geotermia y el resto con hidroeléctrica (Fuente: ACERA, 2012).
- En la siguiente gráfica se muestran las centrales que en Chile operan con biomasa forestal y biogás. La capacidad instalada de la biomasa es de 395 MW y la del biogás es de 16,9 MW (Fuente: CER, Octubre 2012).

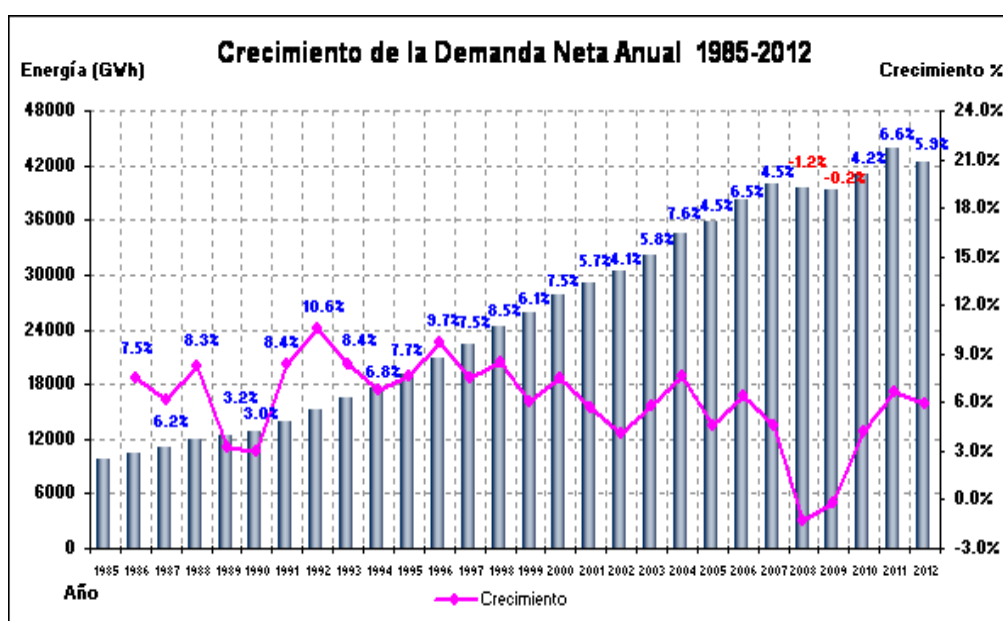
Nombre Central	Región	Tecnología	Potencia Neta
Arauco	VIII	Biomasa	24
Ampliación Arauco	VIII	Biomasa	15
Celco-Constitución	VII	Biomasa	8
Cholguán	VIII	Biomasa	13
Licantén	VII	Biomasa	4
Valdivia	XIV	Biomasa	61
Nueva Aldea I	VIII	Biomasa	14
Laja	VIII	Biomasa	12
Constitución	VII	Biomasa	11
Escuadrón (ex FPC)	VIII	Biomasa	15
Nueva Aldea III	VIII	Biomasa	37
KDM Loma Los Colorados	RM	Biogás	2,
Masisa	VIII	Biomasa	11,1
Planta Biogás HBS Los Angeles	VIII	Biogás	2,2
Central Energía Pacífico	VI	Biomasa	15,6
Loma Los Colorados II	RM	Biogás	12,7
Bioenergía Lautaro	IX	Biomasa	25
Santa Fe	VIII	Biomasa	98
Viñales	VII	Biomasa	31

Fuente: "Energías Renovables y las oportunidades del Biogás en Chile".
 Seminario Energías Renovables para el Sector Agroalimentario: Las oportunidades del biogás.
 Fundación para la Innovación Agraria, Ministerio de Agricultura de Chile.
 Noviembre de 2012, Santiago.

a.4 Demanda energética nacional.

Según datos publicados en “La Generación Eléctrica para el Desarrollo Minero, Expomin 2012” (Fuente: Ministerio de energía), el consumo de electricidad se duplica cada 10 años. Según ésta fuente, se estima que para el año 2023 se necesitará duplicar la capacidad instalada actual, y al 2030 casi triplicarla.

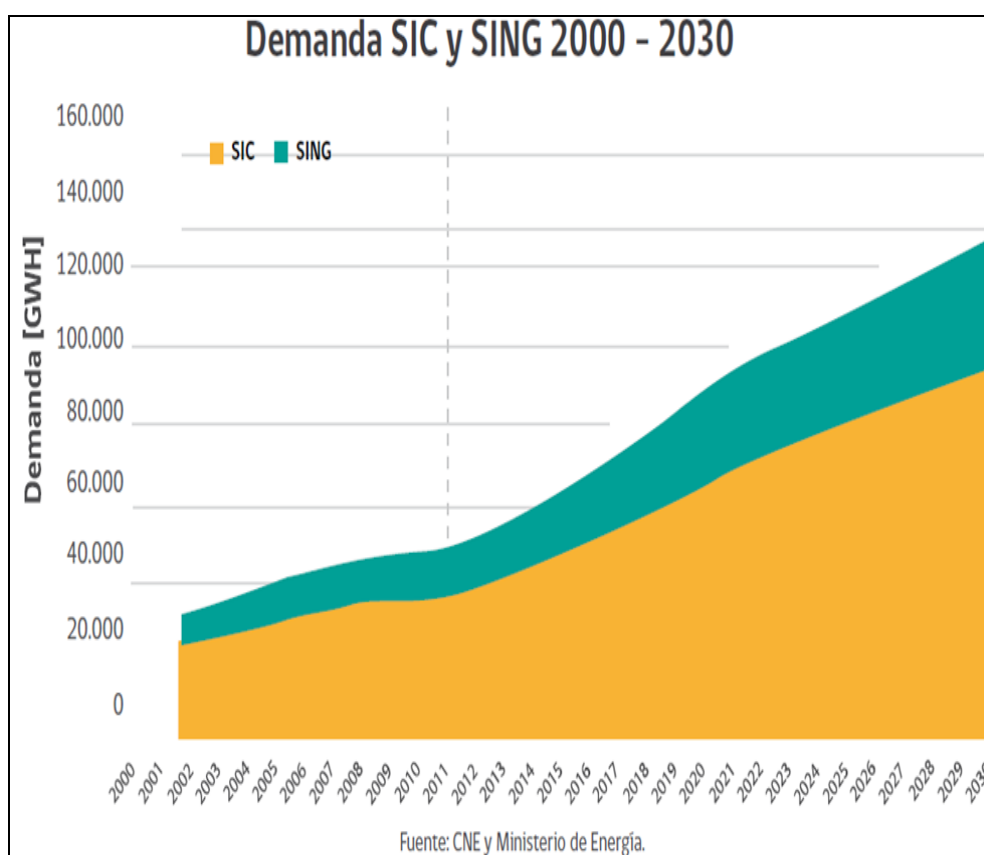
En la siguiente gráfica se presenta la tendencia de la demanda que Chile presenta desde el año 1985 a la fecha. Queda en evidencia que anualmente el desarrollo económico del país y sus aspiraciones de crecimiento obligan a un mayor consumo de energía eléctrica.

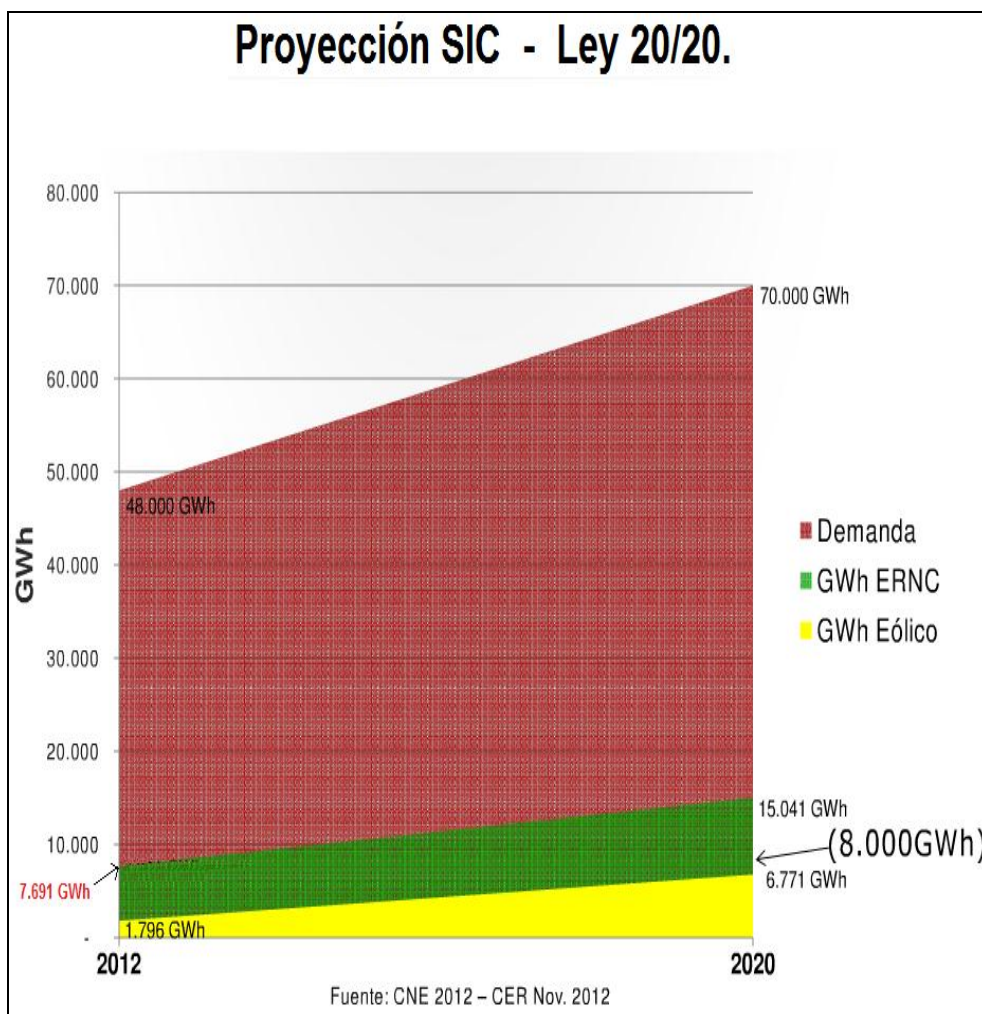


Fuente: CDEC-SIC, 2012.

Para Chile en el año 2020 se proyectan tasas de crecimiento del consumo eléctrico en torno al 7%, lo que significa cerca de 100 mil GWh de demanda total de energía eléctrica a dicho año, lo que requerirá aumentar la oferta, sólo en dicho período, en más de 8.000 MW (Fuente: CNE, 2012).

En la siguiente gráfica se muestra la proyección de la demanda eléctrica nacional, destacándose las tendencias del SIC y SING. Se proyecta una marcada participación de aporte energético del SIC.

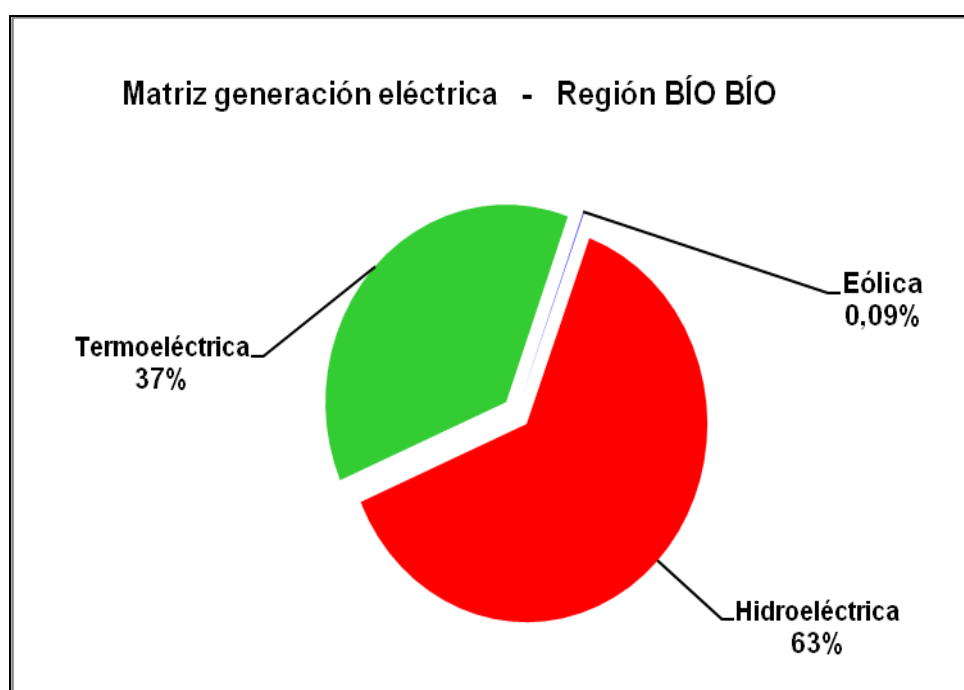




a.5 Generación eléctrica región del Bío Bío: Aspectos generales.

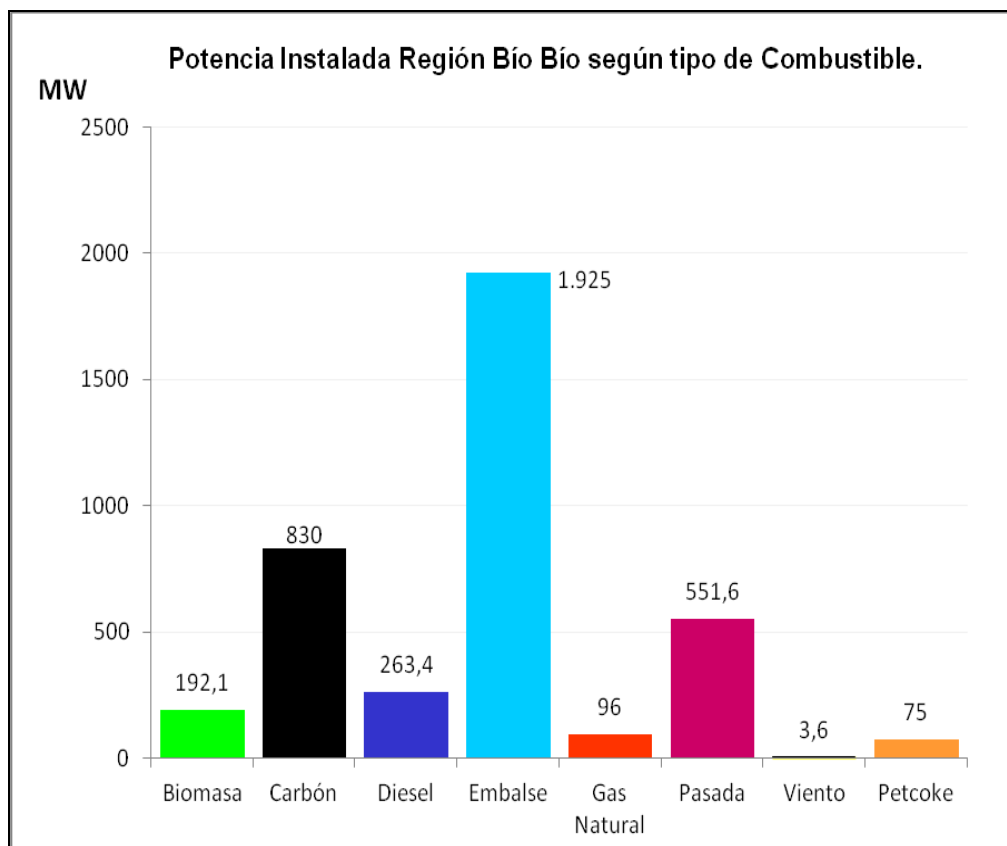
a.5.1 Matriz eléctrica de la región del Bío Bío.

La región del Bío Bío aporta casi un 21,5% de la capacidad instalada del país (Total país 18.277 MW según cifras a Noviembre 2012). En la siguiente gráfica se muestra la conformación de la matriz energética según las fuentes generadoras:



Fuente: www.centralenergia.cl - CDEC SIC, Noviembre 2012.

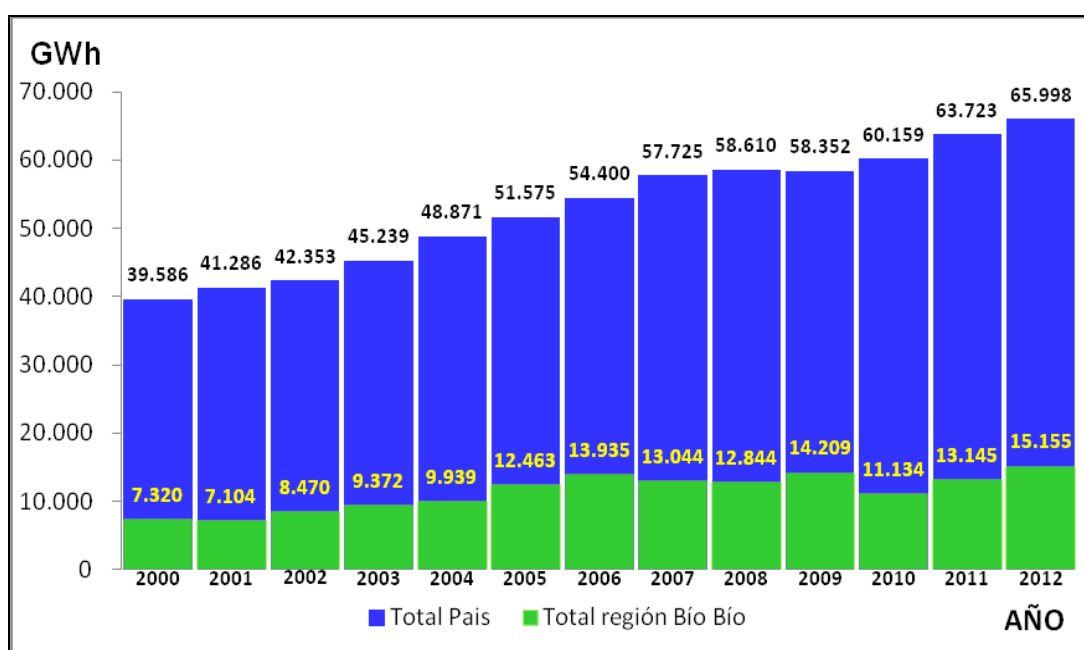
Se destaca el aporte energético hídrico de embalse, y en segundo término el uso de carbón como energía primaria. En la siguiente gráfica se detalla la potencia instalada en la región del Bío Bío, según el tipo de combustible usado para la generación eléctrica.



Fuente: www.centralenergia.cl - CDEC SIC, Noviembre 2012.

a.5.2 Generación y consumo eléctrico en la región del Bío Bío.

El año 2012, la región del Bío Bío generó un total de 15.155 GWh, lo cual representa un 23% del total nacional. La siguiente gráfica muestra la tendencia de la generación eléctrica del país en comparación con la realidad local, durante los últimos 12 años. Se observa que la generación eléctrica regional crece un 107% desde el año 2000.

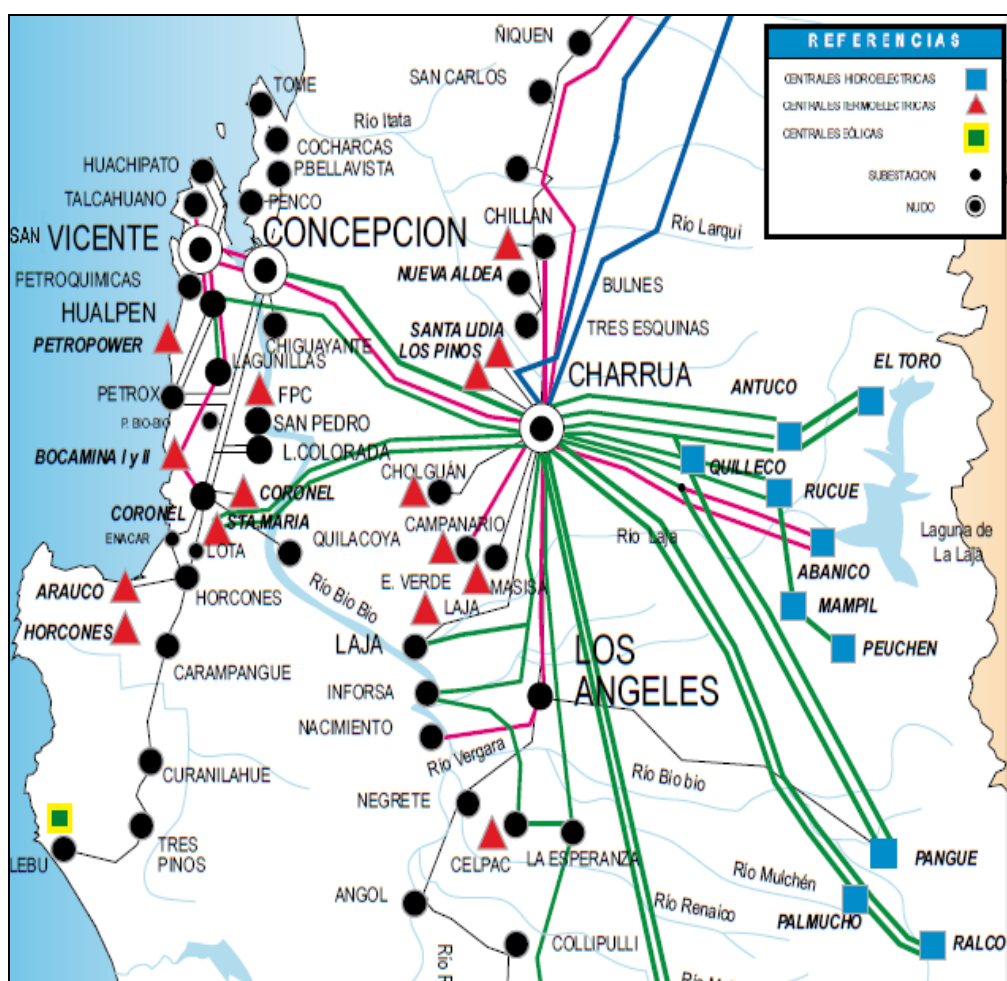


Fuente: INE Bio Bio.

Observación:

- Los valores citados son aproximados, considerando redondeo de cifras, y desde octubre del 2009 por la producción de generación eólica.

Se destaca el aporte energético de las fuentes térmicas (7.300 GWh, 2012), y las fuentes hídricas (7.843 GWh, 2012). Actualmente la generación eléctrica, cuenta con una central eólica, 10 centrales hídricas y 13 térmicas, las cuales se pueden identificar en la siguiente gráfica:



Fuente: Modificado a partir del "Anuario 2012" CDEC-SIC, actualizado a Julio 2012.

En lo que respecta al consumo eléctrico regional, se tiene que el año 2012, la demanda fue de 7.526.437 MWh, cifra que estuvo un gran participación del sector industrial (67,06%) seguido por el sector residencial (13,59%) y otros clientes/consumidores eléctricos (11,18%). Fue bajo el aporte del sector agrícola (0,53%) y minero (0,00%) (Fuente: INE 2012).

a.6 Proyectos con aprobación de la Autoridad Nacional Designada del MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) (Actualizado al 2008).

●Iniciativas **NACIONALES:**

PROYECTO	TITULAR	FECHA CARTA	
Reducción de Emisiones de GEI Corneche-Los Guindos.	Captura de metano.	Agrícola Super Ltda.	jul-03
Reducción de Emisiones de GEI Peralillo.			jul-03
Reducción de Emisiones de GEI Pocillas-La Estrella.			jul-03
El Molle Landfill Gas Project.	Recuperación de metano.	Gestión Integral de Residuos S.A.	jul-05
Recuperación de Biogás Vertedero Zona Sur.		Aconcagua S.A.	ene-06
Reducción de Emisiones 'La Manga'.	Captura de metano.	Agrícola Super Ltda.	jun-06
Reducción de Emisiones 'Maitenlahue'.			jun-06
Reducción de Emisiones 'Ramirana'.			jun-06
Reducción de Emisiones 'Valdebenito'.			jun-06
Manejo de Biogas del Relleno Sanitario Santa Marta.		Consorcio Santa Marta S.A.	jul-06
Desgasificación del ex Vertedero de Lajarilla.		Sistema de Biogases Bionersis Chile Ltda.	sep-06
Desgasificación del ex Vertedero Municipal de Rancagua.			sep-06
Desgasificación del Relleno Sanitario de Leña Dura.			sep-06
Recuperación de Biogás en el Vertedero Viñita Azul en Copiapó, IIIa Región de Chile.			sep-06
Biogás en el Relleno Sanitario Loma Los Colorados.			KDM S.A.
El Alto Landfill Gas Project.		Eco Garbage Ltda.	jul-07
Proyecto de Recuperación de Biogás en los Vertederos La Hormiga de San Felipe y El Belloto de Quilpué.		Bionersis Chile S.A.	jun-08
Recuperación de Biogás en el Vertedero El Empalme.		Sociedad Comercial Rexin Ltda.	jun-08
Proyecto de Biogás a Energía en el Relleno Sanitario El Panul-EcoMethane.		Tasui Norte Sur S.A	ene-09
Proyecto de recuperación de Biogás Relleno Sanitario Fundo Las Cruces.		Hera Ecobío S.A	abr-09
Proyecto de Recuperación y Utilización del CO2 del gas de Cola de Refinería.	Recuperación de metano en relleno sanitario.	Indura S.A. Industria y Comercio	sep-09
Planta Biogás Santiago.	Captura de metano.	Gestión y Servicios S.A.	may-10
Planta Biogás Ventana.		Schwager Energy S.A.	may-10
Captura en relleno sanitario El Retamo.	Generación de biogás.	KDM Energía S.A.	abr-12
Captura en relleno sanitario El Huanaco.		KDM Energía S.A.	abr-12

•Iniciativas **REGIÓN del BIO-BIO:**

PROYECTO	TITULAR	FECHA CARTA
Centro de Almacenamiento y Transferencia, Recuperación y Revalorización de Residuos, Tratamiento y Disposición de Desechos de Origen Industrial y Domiciliario.	Recuperación de metano.	Empresa de Tratamiento de Residuos Copiulemu S.A.
Mejoramiento del Sistema de Extracción en el Antiguo Vertedero de Cosmito.	Recuperación de metano.	
Recuperación de Biogás Vertedero Zona Sur.	Recuperación de metano.	Aconcagua S.A.
Captura de gas del vertedero de Coronel.	Captura de metano.	Inversiones Biogás Chile Ltda.
Vertederos Regionales en Chile.	Captura de metano.	Bionersis Chile S.A.

ANEXO B: MARCO INSTITUCIONAL Y NORMATIVO.

b.1 Marco Institucional:

A contar del año 2010, bajo la ley 20.402, se estableció un nuevo marco institucional en el área eléctrica liderado por el Ministerio de Energía. Éste órgano está en directa colaboración con el Presidente de la República en materias relacionadas con la administración del sector energético del país.

En el siguiente esquema se detalla la nueva estructura institucional del sector eléctrico con sus funciones específicas:

Organismo	Función Principal
Ministerio de Energía	Elaborar y coordinar planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector energético del país, velar por su cumplimiento y asesorar al gobierno en todas las materias relacionadas y vinculantes.
Comisión Nacional de Energía CNE	Analizar precios, tarifas, y normas técnicas que rigen a las empresas productoras, generadoras, de transporte y de distribución de energía que permita un servicio suficiente, seguro y de calidad con más economía.
Superintendencia de Electricidad y Combustibles. SEC	Vigilar la adecuada operación de los servicios de electricidad, gas y combustibles líquidos, en términos de su seguridad, calidad y precios, cuando éstos son regulados.
Comisión Chilena de Energía Nuclear CChEN	Realizar investigación y desarrollo; regular, controlar y fiscalizar las materias relacionadas con la energía nuclear.
Centro de Energías Renovables CER	Fortalecer la matriz energética del país, aumentando su diversificación e independencia por medio del apoyo de proyectos de ERNC.
Agencia Chilena de Eficiencia Energética ACHEE	Promueve y fortalece el uso eficiente de la energía, articulando a las entidades más importantes a nivel nacional o extranjero.

Fuente: Recopilación y modificado de "Las ERNC en el mercado eléctrico chileno", CORFO 2012.

b.2 Normativas relevantes vinculadas a ERNC en el mercado eléctrico. (*)

b.2.1. **Ley 20.571**: “Ley Netmetering”: En términos generales, ésta ley:

- Regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales.
- Habilita la inyección de excedentes de energía de medios de generación de pequeña escala en redes de distribución eléctrica.
- Permite a clientes regulados que dispongan de equipos de generación eléctrica por ERNC, el inyectar parte de la energía generada a la red de distribución a través de sus respectivos empalmes.

b.2.2. **Ley 20.257**: En términos generales, ésta ley:

- Exige la acreditación de un porcentaje de la energía comercializada en los sistemas eléctricos mayores con origen en fuentes de ERNC.
- Monitorea que cada empresa eléctrica que efectúe retiros de energía desde los sistemas eléctricos con capacidad instalada superior a 200 MW (SING y SIC) para comercializarla con distribuidoras o clientes finales, deberá acreditar que una cantidad de energía equivalente al 10% de sus retiros en cada año calendario, hayan sido inyectadas a cualquiera de dichos sistemas, por medios de ERNC, propios o contratados.

- La obligación de inyectar energía por medio de ERNC, será incrementada en el transcurso de los años. Hasta el año 2014 sea de un 5% anual, sobre el que se irá aumentando 0,5% anualmente hasta llegar al 10% para el 2024.

b.2.3. Normas técnicas de seguridad y calidad de servicio (NTCyCS):

En términos generales, ésta ley:

- Es el conjunto de exigencias mínimas de seguridad y calidad de servicio asociadas al diseño de las instalaciones y a la coordinación de la operación de los sistemas eléctricos interconectados, según lo establece la Ley General de Servicios Eléctricos y en su reglamentación vigente (Fuente: www.emb.cl).
- Establece una serie de exigencias que garanticen el correcto funcionamiento del Sistema Interconectado (SI) nacional, de tal forma que ante una contingencia que desequilibre la relación entre la generación y el consumo de la energía eléctrica, los esquemas de desconexión automática de carga (EDAC) o generación (EDAG) restablezcan dicho equilibrio y aseguren el normal funcionamiento. (Fuente: www.emb.cl).

(*) Fuente-. Extraído de “Las Energías Renovables No Convencionales en el Mercado Eléctrico Chileno”, CORFO 2012.

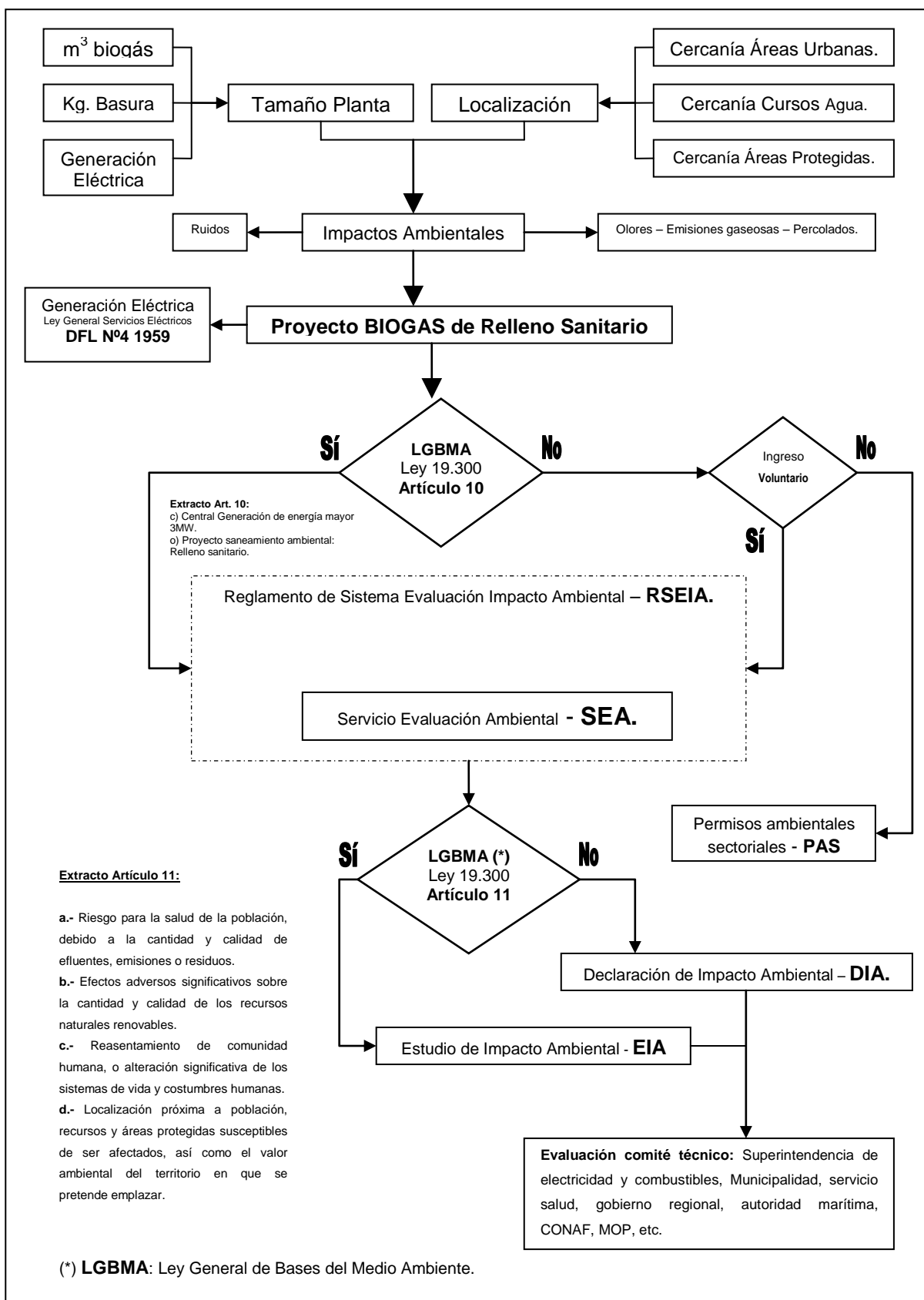
b.3 Marco regulador en proyectos de generación eléctrica mediante biogás.

La implementación de un proyecto con manejo del biogás proveniente de vertederos de basura, requiere del cumplimiento de una serie de normativas ambientales, técnicas y sanitarias. El marco regulador aplicable estará relacionado con el tratamiento que se le dará finalmente al biogás: Captura y quema de biogás o la recuperación con fines de generación eléctrica.

A continuación se presentaran los diferentes requisitos a considerar para la implementación de un proyecto de generación eléctrica por medio de biogás de vertederos, acorde con la normativa vigente.

b.3.1 Marco legal ambiental y antecedentes a presentar a la autoridad respectiva:

En el siguiente esquema se resume el procedimiento a seguir por los proyectos que usan biogás, y los antecedentes básicos que hay que presentar ante la autoridad reguladora correspondiente.



b.4 Requisitos generales básicos para un proyecto de biogás (Por Etapas).

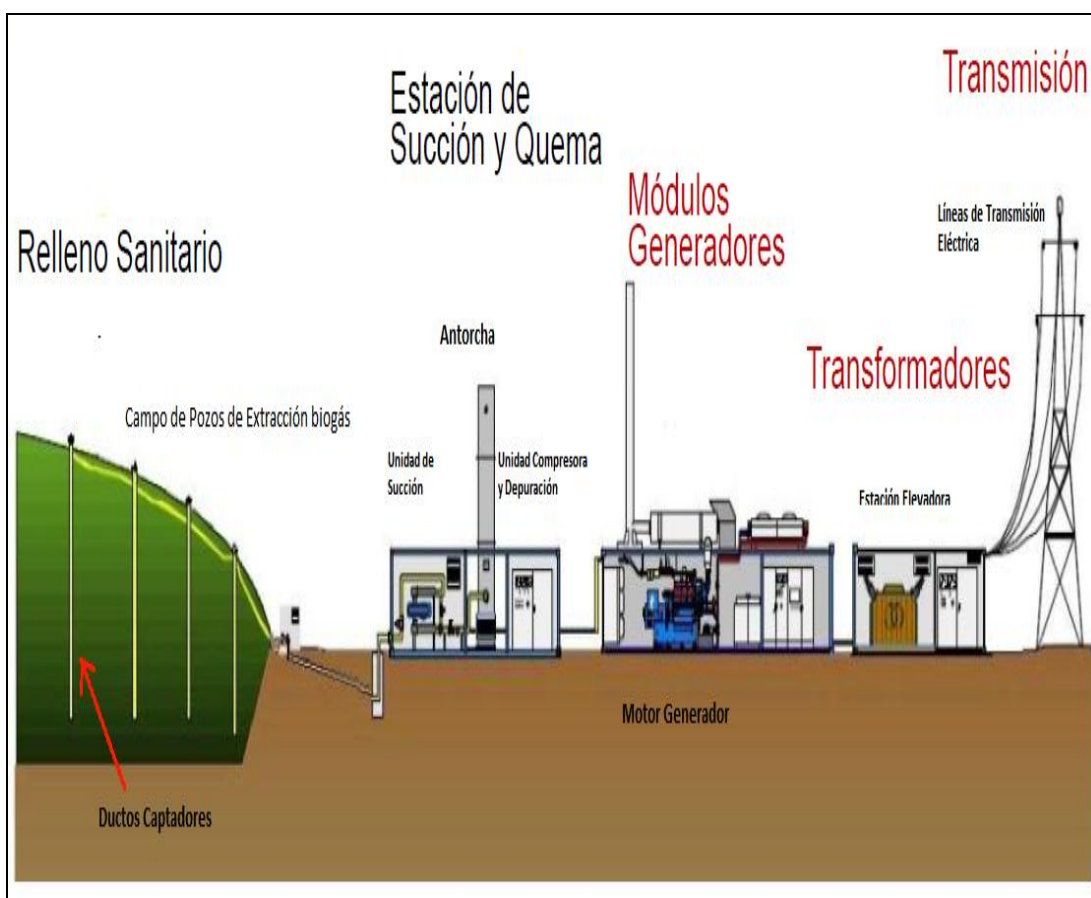
Etapas	Requisitos		
Antecedentes Generales	Identificación del titular.		
	Nombre del proyecto.		
	Tipología del proyecto.		
	Proyecto nuevo o modificación.		
	Objetivo del proyecto: Generación de energía por biogás de relleno sanitario.		
	Monto de la inversión.		
	Vida útil del proyecto.		
	Desarrollo del proyecto.		
	Inicio del proyecto.		
	Vínculo del proyecto con planes y políticas locales y regionales de desarrollo.		
	Información de negociaciones.		
	Localización	Localización político administrativa.	
Justificación de la localización.			
Cartografía – georeferencia: Ubicación, referencia de caminos			
Caminos de accesos permanentes y temporales.			
Partes y obras del proyecto	Temporales.	Instalaciones de apoyo.	
	Permanentes	Unidad almacenamiento Combustible.	Ubicación.
			Superficie m ² , tipo de acopio.
			Capacidad máxima almacenamiento.
			Sistema de conexión para captación, transporte, preparación y acopio del biogás.
			Sistema control olores y vectores.
			Sistema compresión y limpieza (limpieza/filtrado) del biogás.
	Permanentes	Unidad de generación eléctrica con biogás.	Motor combustión interna.
			Elementos control de biogás.
			Generadores: MW – Kv.
			Sistemas evacuación de gases.
	Permanentes	Unidad de control de emisiones.	Control de biogás: vapor de agua, siloxanos, sulfuros de hidrógeno.
			Control de gases de combustión: NO y CO.
	Permanentes	Chimenea	Cantidad, altura, diámetro, unidades con descarga en la chimenea, sistema monitorea de emisiones, etc.
	Permanentes	Subestación eléctrica.	Función: concentrar o sumar potencia, elevar o reducir tensión.
			Ubicación, superficie, n° de transformadores.
	Permanentes	Líneas o tendidos eléctricos.	Función: autoconsumo, transporte, distribución, etc.
			Longitud (metros), origen y destino.
			Ancho fajas de seguridad.
			Tensión nominal de la línea (Kv).
	Permanentes	Instalaciones auxiliares.	Trazado aéreo o subterráneo de la línea.
			Oficinas, talleres, bodegas, etc. Sistema de tratamiento de aguas: m ³ , capacidad (m ³ /día).

Etapas	Requisitos			
Construcción	Cronología de la ejecución de obras: inicio, carta Gantt, duración aproximada de ésta etapa.			
	Actividades	Acondicionamiento terreno.		
		Tránsito y funcionamiento de vehículos y maquinarias.		
		Transporte de insumos, residuos y mano de obra.		
		Habilitación, operación y cierre de las instalaciones de apoyo a las faenas de construcción.		
		Construcción caminos de acceso, obras civiles, subestación eléctrica, tendidos eléctricos.		
	Insumos	Agua.		
		Energía eléctrica.		
		Sustancias peligrosas.		
		Equipamiento y maquinarias.		
		Áridos – Hormigón – otros insumos.		
	Mano de Obra	Cantidad operadores, suministro de agua, servicios higiénicos, alojamiento.		
	Emisiones	Atmosféricas	Material Particulado.	Nombre, tasa emisión, mitigaciones, periodo emisión, etc.
			Olores	Estacionario/móvil, puntual/permanente, periodo emisión, sistema control, etc.
		Líquidas	Aguas servidas	Nombre, m ³ , régimen de generación.
		Otras emisiones líquidas.		
		Ruidos	Origen, estacionaria/móvil, horario, etc.	
		Vibraciones	Origen, magnitud, temporalidad, medidas de control, etc.	
		Campos Electromagnéticos	Fuentes generadoras, magnitud, etc.	
	Residuos	Peligrosos	Identificación, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento y eliminación.	
		Sólidos domiciliarios	Cantidad (kilos/mes), almacenamiento, manejo, transporte, eliminación.	
		Construcción	Tipo, cantidad m ³ , acopio, manejo, eliminación.	
		Industriales	Tipo, cantidad, acopio, eliminación.	
Contingencias	Derrames, fugas, incendios (Identificación y planes de acción).			

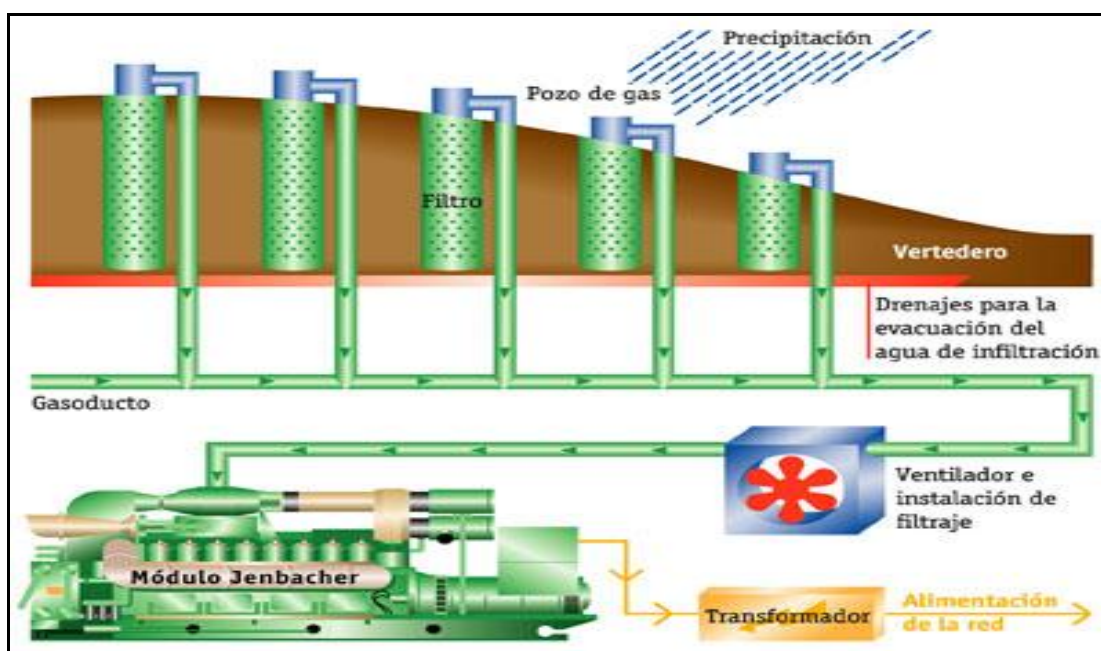
Etapas	Requisitos (resumen)	
	Cronología.	Fecha inicio, duración, carta gantt de actividades.
	Actividades puesta marcha	Central Unidad generadora de energía eléctrica.
		Sistema control emisiones.
		Chimeneas de evacuación gases de combustión.
	Actividad de mantención	Programas de mantenimiento de todas las unidades.
	Actividad de mantención de tendidos eléctricos.	
Operación	Actividades de manejo biogás.	Captación Biogás: Matriz captadora (m ³ /hora), estación extractora (m ³ /hora). Estimación de generación de biogás y para generación eléctrica: Biogás generado (m ³ /hora), Proyección de biogás capturado (m ³ /hora) con 50% eficiencia, Biogás enviado a generación (m ³ /hora), Potencia efectiva (MW) y potencia instalada (MW).
		Características: procedencia, composición, rango de CH ₄ , CO ₂ , N ₂ , O ₂ , H ₂ S, H ₂ y agua. Poder calorífico.
		Usos: Consumo de biogás por cada generador.
		Control: Limpieza (flujo de agua para absorber H ₂ S y siloxanos), condiciones proceso de compresión del biogás, tasa recambio filtros de activación.
	Actividades del sistema control emisiones.	Óxidos de nitrógeno.
		CO (indicar consumo de O ₂ o aire Nm ³ /h), NO, SO _x , PM10, etc.
	Insumos	Estimación los insumos del proyecto en la fase de operación.
	Mano obra	Especificar tipo de mano de obra requerida.
	Productos y servicios generados.	Capacidad máxima o potencia eléctrica instalada (MW), estimación energía eléctrica generada (GWh), factor de planta (%), usuarios del servicio (SING, SIC, otros).
	Emisiones	A la atmósfera m ³ N/h de gases de combustión, velocidad de flujos, T ^o salida, tasa emisión de cada contaminante (kg/h), concentración de cada contaminante (mg/m ³ N).
		Líquidas Corresponden a la que se genera de la limpieza del biogás.
	Residuos	Corresponden a residuos de filtros por carbón activado.
	Contingencias	Incendios, fugas, derrames, etc.

Etapas	Requisitos
Cierre por término de las operaciones	Desmantelamiento y retiro de las estructuras.
	Restitución de las características del terreno.
	Mantenimiento, conservación y supervisión.
	Control y prevención de futuras fugas, incendios, derrames, etc.
	Registro de cierre: Documentación, planos y testimonios fotográficos correspondientes.

ANEXO C: ESQUEMAS DE PLANTAS GENERADORAS ELÉCTRICAS.



Esquema con los principales componentes planta generadora de electricidad a partir de biogás.



Esquema que detalla el sistema de extracción y circulación del biogás del vertedero de basura.



Esquema que muestra un relleno sanitario tecnificado y que capta biogás para generar electricidad.

COMENTARIOS FINALES.

El crecimiento económico sustentable del país está ligado directamente con su desarrollo energético y con el cuidado del medio ambiente. Para satisfacer la demanda eléctrica proyectada de Chile, se requiere aumentar la capacidad energética instalada. Esto implica fortalecer y diversificar la actual matriz energética nacional. Es ahí donde las ERNC tienen un gran desafío pendiente.

Aprovechar el biogás de los rellenos sanitarios puede otorgar dos importantes contribuciones, por un lado, su uso provoca menores daños ambientales en comparación con los combustibles fósiles tradicionales; y además está la posibilidad de contar con una fuente energética alternativa.

En éste proyecto se deja de manifiesto que la basura domiciliaria puede ser considerada como un recurso energético, permitiendo dar un valor agregado a los centros de acopio de desechos (tanto los cerrados como los actuales en operación) que va más allá de almacenar y termodegradar el CH₄.

En éste estudio se calculo la potencia eléctrica estimada (MW) para cada uno de los centros de acopio de RSU en la provincia de Concepción. Si bien los valores no son significativos, ésta energía podría usarse a baja o mediana escala. Por esta razón se deja un precedente para realizar a futuro un estudio de factibilidad técnico económico que cuantifique los reales beneficios del uso de biogás.

Se confirmó la existencia de un marco regulador ambiental que rige en proyectos energéticos innovadores que usan biogás de RSU.

Se identificó la operación de una planta generadora de energía eléctrica (Santiago, Chile) que usa biogás de un relleno sanitario, y que aporta 2 MW de potencia al SIC (con posibilidad de ampliarse a 12 MW a corto plazo). Esto sin lugar a dudas constituye un importante precedente del uso de la basura como una fuente de ERNC.

Se valida la existencia de tecnología y equipos que puede operar con biogás de relleno sanitario.

Se podría realizar un estudio que evalúe un modelo de negocio que permita obtener ingresos: por venta de potencia eléctrica o energía térmica de cogeneración, por sustitución de otros combustibles o por venta de bonos de carbono.

Aparte de los beneficios económicos, también se podrían validar los beneficios ambientales al usar el biogás de los rellenos sanitarios, ya que se reduce el daño que provoca el CH₄ como gas de efecto invernadero (GEI).