



FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

**“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS
SITIOS DE DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARIOS EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE.”**

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

SR. SEBASTIAN MARCOS CARVALLO ALBORNOZ

PROFESOR GUIA: OCIEL COFRE

Valparaíso - Chile, 2007

Quisiera agradecer sinceramente a todas las personas que me han acompañado en este largo camino. A mi familia, mi primer apoyo en la vida; Marcos y Mónica, mis padres y primer orgullo, gracias por su paciencia y sus consejos, pero sobre todo, por confiar en mis sueños. A mi hermano Marcos por estar a mi lado y ser parte de mi vida.

A mis profesores; Ociel Cofré y Marcel Szantó por su interés en mi trabajo, por su dedicación y guía durante todo este proceso, muchas gracias.

A mis amigas y compañeras de estudio que fueron clave en los últimos años de Universidad; Lorena y Alejandra, gracias por convertirse en un excelente complemento.

A Karina Francis y Jaime Díaz, dos grandes profesionales que tienen toda mi admiración y con los cuales he tenido la suerte de trabajar. Gracias por convertirse en dos excelentes referentes.

A mis amigos; Adriana, Paulo, Miguel, Estefa y Gabriela, por ser un apoyo fundamental en mi día a día durante todo este tiempo.

Y finalmente a mis compañeros del CTTL, que constituyen un excelente grupo humano, gracias por ser parte también durante este proceso.

RESUMEN

La captura del gas de vertedero colabora con el mejoramiento de las prácticas de gestión de residuos sólidos y además reduce las emisiones de metano, un potente gas que incide en el calentamiento global; Las ganancias que pueden resultar de la comercialización de los bonos de carbono y de la generación de energía representan un incentivo económico que puede generar fondos adicionales y así catalizar mejores prácticas en su gestión.

A nivel internacional han sido exitosos los proyectos de utilización de gases de vertedero tanto para la venta de bonos de carbono como para la generación de energía eléctrica. Desafortunadamente, la falta de información respecto al potencial energético de los sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios en nuestra región, ha limitado las iniciativas de aprovechamiento.

En el presente trabajo se estimó, en primer lugar, el potencial de generación de biogás de acuerdo a relaciones teóricas existentes en la literatura especializada, que establecen que este potencial depende de variables como: la cantidad de basura depositada periódicamente en los vertederos, la cantidad de basura acumulada en cada uno, las condiciones de la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios, condiciones generales respecto a variables climáticas, la edad de los vertederos y vida útil esperada o proyectada de cada uno, entre otras variables.

Además se analiza el potencial de conversión energética del biogás en base a lo establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y se calculan las eventuales reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero de esta actividad bajo dos escenarios, en primer lugar para la situación real, vale decir con 12 vertederos funcionando y en segundo lugar, para un escenario teórico, que considera el sistema de disposición final de residuos sólidos domiciliarios funcionando solo con dos vertederos que abastecen a toda la Región, de manera de comparar, en cuanto al potencial de generación eléctrica, ambos escenarios.

Este primer acercamiento sugiere líneas de investigación futuras para mejorar la información registrada con miras a una real utilización del recurso, obteniendo de esta manera una nueva alternativa para diversificar la matriz energética chilena.

INDICE

1. INTRODUCCION	1
2. PROBLEMA	4
3. OBJETIVOS	6
Objetivo General:.....	6
Objetivos Específicos:.....	6
4. REVISION BIBLIOGRAFICA	8
4.1 Cambio Climático y Protocolo de Kyoto.	8
4.2 Generación de residuos	10
4.3 Clasificación de los residuos sólidos	12
4.4 Composición de los residuos sólidos domiciliarios	13
4.5 Gestión Integral de los residuos sólidos domiciliarios.....	15
4.6 El vertedero como método de evacuación de residuos sólidos.	16
4.7 Generación de los principales gases de vertedero.....	17
4.7.1 Fase I: Ajuste Inicial	18
4.7.2 Fase II: Fase de Transición.....	19
4.7.3 Fase III: Fase Ácida.	20
4.7.4 Fase IV: Fase de Fermentación del Metano.....	21
4.7.5 Fase V: Fase de Maduración	22
4.8 Duración de fases	22
4.9 Volumen del gas producido.....	24
4.10 Variación de la producción de gas en el tiempo.	26
4.11 Tecnología de recuperación y utilización de gases de vertedero.....	26
4.12 Obtención de energía a partir de gas de vertedero en América Latina.....	30
4.13 Aprovechamiento de gas de vertedero en Chile.....	32
4.14 Modelación para la producción de gas de vertedero.	38
4.14.1 Modelo de biogás Mexicano (México LGF Model)	41
4.14.2 Generación de gas de vertedero	43
4.15 Estimación de la eficiencia del sistema de recolección	45
4.16 Conversión energética del gas de vertedero.	46
5. METODOLOGÍA	49

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
6.1 Situación actual de los sitios de disposición	55
6.2. Estimación de la generación de biogás.	64
6.3. Estimación del porcentaje de eficiencia del sistema de recolección	73
6.4. Cuantificación del potencial de generación de energía a partir del biogás.	78
6.5. Escenario Teórico.	84
6.5.1 Determinación de la ubicación de ambos sitios.	84
6.5.2 Estimación de la generación de biogás para ambos sitios.....	87
6.5.3 Estimación del potencial de generación de energía para ambos sitios a partir de biogás	89
7. CONCLUSIONES	93
8. BIBLIOGRAFIA	97
9. ANEXOS	102
Anexo 1: Tablas de proyecciones de generación y recuperación de biogás.....	108
Anexo 2: Gráficos de proyecciones de generación y recuperación de biogás.	114
Anexo 3: Tablas de proyecciones de generación eléctrica anual en cada sitio de disposición	120
Anexo 4: Gráficos de proyecciones de generación eléctrica anual en cada sitio de disposición	130
Anexo 5: Proyecciones de generación y recuperación de biogás para el escenario teórico.....	136
Anexo 6: Proyecciones de electricidad anual generada para el escenario teórico.....	139

Capitulo 1

Introducción

1. INTRODUCCION

Según los distintos diagnósticos y catastros que se han realizado en el país en el marco de las políticas nacionales y regionales de residuos sólidos domiciliarios, los lugares de disposición final varían según sus edades, condiciones de manejo de la basura, características técnicas, tamaños, cantidad y tipo de residuos que reciben, ubicación geográfica y condiciones climáticas imperantes, propiedad, operador y control de variables ambientales. Sin embargo, no existe información detallada acerca de muchas de estas variables y, por lo tanto, no se conoce el potencial de generación de biogás con el que cuentan los sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios en el país.

Bajo condiciones anaeróbicas, la descomposición de residuos orgánicos genera biogás, el cual está constituido principalmente por gases como el metano y el dióxido de carbono. Sin embargo, el metano tiene una equivalencia en cuanto a su contribución al efecto invernadero de 21 veces la del dióxido de carbono, por lo que el control de las emisiones de biogás permite reducir estas emisiones y así contribuir al control del efecto invernadero.

Por otro lado, dado el alto poder calorífico del metano, el biogás puede ser utilizado como combustible para la generación de energía, reemplazando de esta manera el uso de fuentes más contaminantes y de mayor impacto global.

La Región de Valparaíso es la segunda a nivel nacional, luego de la Región Metropolitana, en generar residuos sólidos. Para su tratamiento y disposición final la Región cuenta con 16 vertederos, de los cuales 3 son insulares. Cabe destacar que ninguno de estos sitios es un relleno sanitario que cuente con las condiciones adecuadas para cuidar el medio ambiente y la salud de la población.

Por lo anteriormente expuesto, este proyecto estima el potencial de generación eléctrica a partir de la generación de biogás de estos sitios de disposición final de residuos sólidos domiciliarios, para lo cual se utilizó el Modelo Mexicano de Biogás, por considerar la tipología tanto de los desechos sólidos como la estructura de los vertederos en Chile cercana a la configuración mexicana.

Este modelo se basa en una ecuación de degradación de primer orden, que entrega las proyecciones de generación y recuperación de biogás, este método es el único razonable en un estudio como este, donde se intenta conocer el potencial total de generación en un sistema de disposición final de residuos sólidos domiciliarios tan variable como lo es el chileno, específicamente el de la Región de Valparaíso. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que en este informe se presentan cálculos que buscan ilustrar las eventuales oportunidades de reducción de emisiones de este sector y que no se pretende evaluar el proyecto de recolección y utilización de biogás que se pudiera avizorar.

Capitulo 2

Problema

2. PROBLEMA

Las complicaciones asociadas a la generación de residuos sólidos domiciliarios han estado presentes como preocupación en los distintos sectores del país. Su espectro es amplio, debido a que su manejo inadecuado tiene impactos presentes y futuros. A los problemas sanitarios y ambientales de hoy, se agrega la generación de pasivos ambientales, que conllevarán altos costos de reparación, los cuales deberán ser asumidos por las generaciones futuras. La complejidad del tema se expresa en las múltiples dimensiones que involucra: institucional, económica, sanitaria, tecnológica, ambiental, territorial, social y política.

Actualmente en Chile, el problema ambiental generado por los residuos sólidos domiciliarios, específicamente con sus sitios de disposición final, no ha sido resuelto completamente, pero se han encontrado nuevas soluciones dentro de los desarrollos técnicos que ha presentado la gestión ambiental de residuos sólidos en los últimos años. De estas es importante destacar los estudios de factibilidad técnica y económica para utilizar el gas de vertedero (biogás). La importancia de estos estudios viene avalada por experiencias y medidas internacionalmente adoptadas, como la venta de bonos de carbono y la generación de energía eléctrica a partir de biogás.

La Región de Valparaíso es la segunda a nivel nacional en volumen de generación de residuos sólidos, luego de la Región Metropolitana, razón por la cual sus sitios de disposición final representan un potencial energético que puede ser caracterizado y cuantificado para su posterior explotación. Desafortunadamente, la falta de información respecto de este potencial ha limitado las iniciativas de aprovechamiento.

Mediante este trabajo de tesis, se generarán nuevos antecedentes sobre el potencial energético que presenta la Región, los que podrán ser utilizados para una posterior explotación de este recurso energético.

Capitulo 3

Objetivos

3. OBJETIVOS

Objetivo General: Determinar el potencial energético de los sitios de disposición final de residuos sólidos domiciliarios en la Región de Valparaíso, Chile.

Objetivos Específicos:

- Realizar un catastro de los sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios en la Región de Valparaíso.
- Cuantificar el potencial energético presente en los actuales sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios en la Región de Valparaíso.
- Crear un escenario teórico del sistema de disposición final de residuos sólidos domiciliarios en la Región de Valparaíso, cuantificando su potencial energético y comparándolo con la situación actual.

Capítulo 4

Revisión Bibliográfica

4. REVISION BIBLIOGRAFICA

4.1 Cambio Climático y Protocolo de Kyoto.

Según publicaciones realizadas el año 2006 por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, se predice un cambio en el clima de la Tierra debido a que las diferentes actividades humanas están alterando la composición química de la atmósfera por medio de la acumulación de gases de efecto de invernadero, principalmente dióxido de carbono, metano y ácido nítrico.

Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), las crecientes concentraciones atmosféricas de estos gases, denominados Gases de Efecto Invernadero (GEI), producen un forzamiento radiativo positivo¹, calentando de esta manera la superficie terrestre. Aunque existe incertidumbre acerca de la manera exacta de como el clima de la Tierra responde a estos gases, las temperaturas globales siguen aumentando. Esto se representa en la Figura 1:

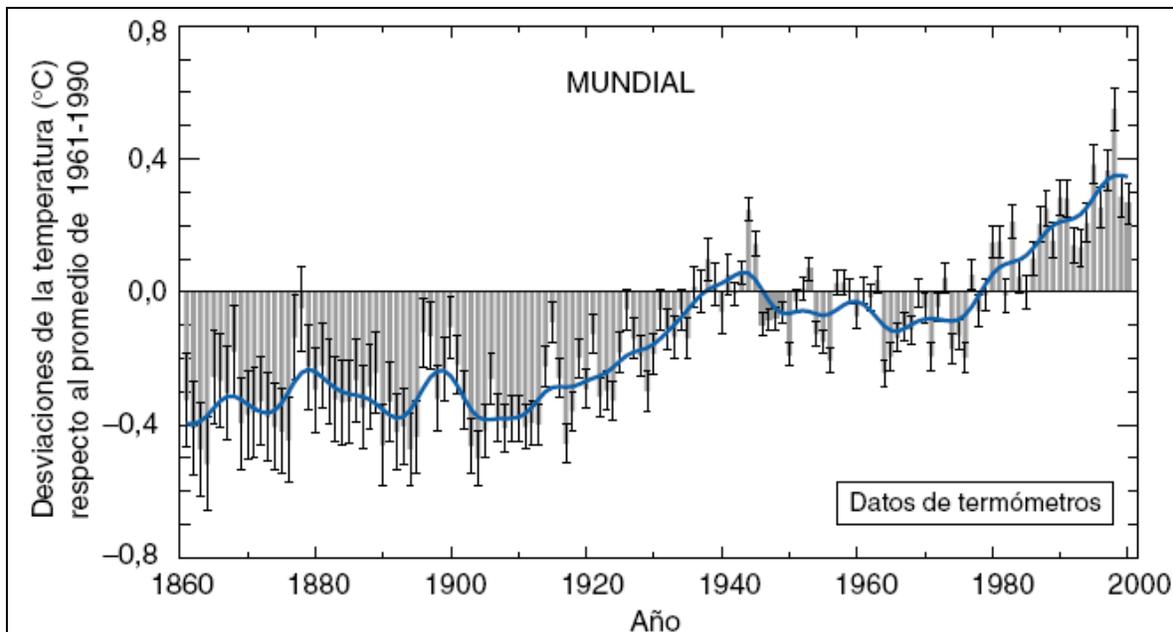


Figura 1: Variaciones de la temperatura de la superficie de la Tierra en los últimos 140 años IPCC, 2001.

¹ El forzamiento radiativo es una medida de la influencia que un factor ejerce en la modificación del equilibrio entre la energía entrante y saliente en el sistema Tierra-atmósfera, y es un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial de cambio climático.

La utilización de combustibles fósiles y otras actividades humanas son la principal razón del aumento en la concentración atmosférica de dióxido de carbono. La respiración de las plantas y la descomposición de la materia orgánica liberan más de diez veces el CO₂ que es liberado por actividades humanas, pero estas liberaciones de CO₂ han sido por lo general en balance, siendo el dióxido de carbono incorporado por la vegetación terrestre y los océanos durante siglos hasta la llegada de la Revolución Industrial (EPA, 2006).

Lo que ha cambiado en los últimos cien años es una liberación adicional de dióxido de carbono debida a actividades humanas. Los combustibles fósiles quemados para poner en marcha los automóviles y camiones, para calentar casas y negocios y para darle energía a las fábricas son responsables de cerca del 98% de las emisiones de dióxido de carbono, 24% de las emisiones de metano, y 18% de las emisiones de óxido nitroso. El crecimiento de la agricultura, la deforestación, los vertederos, la producción industrial y la minería han contribuido una parte significativa de las emisiones (EPA, 2006).

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, las concentraciones de metano (CH₄) en la atmósfera han aumentado en un 150% (1,060 ppm) desde 1750. La concentración actual no había sido superada durante los últimos 420.000 años. Este gas procede de fuentes tanto naturales (p.ej., los humedales) como influidas por el ser humano (p.ej., agricultura, ganadería y vertederos), tal como se aprecia en la Figura 2. Poco más de la mitad de las emisiones actuales de CH₄ son antropógenas.

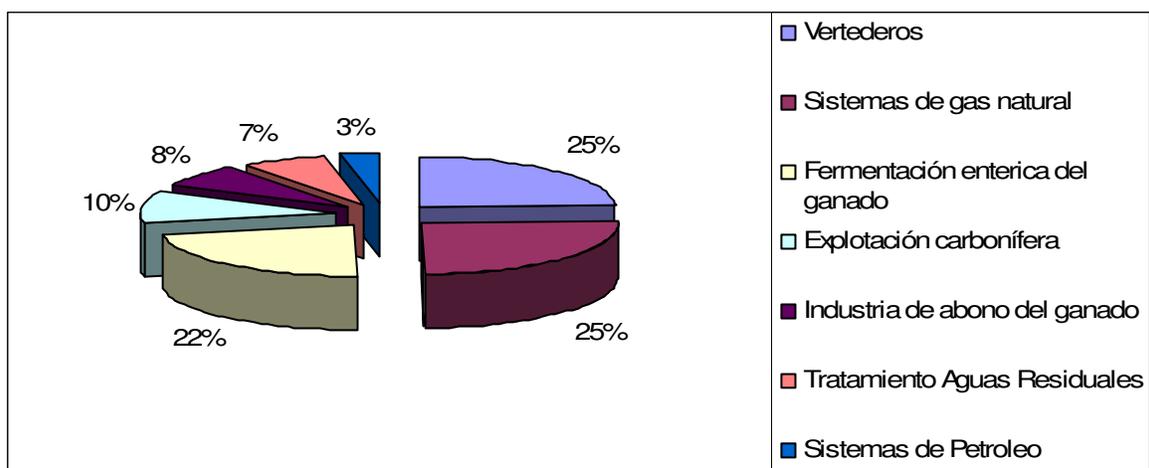


Figura 2: Distribución de las principales fuentes de emisión de metano provenientes de actividades humanas en Estados Unidos, Agencia de Protección Ambiental, 2006.

El Protocolo de Kyoto (1997) constituye un importante hito dentro de los esfuerzos globales para proteger el ambiente y alcanzar un desarrollo sostenible, en el que por primera vez los gobiernos aceptaron restricciones legalmente vinculantes sobre sus emisiones de gases de Efecto Invernadero (GEI). El Protocolo también traza "nuevos horizontes" al establecer sus innovadores "mecanismos cooperativos", que apuntan a reducir el costo de disminuir esas emisiones. Puesto que para efectos del clima no es relevante dónde se alcanzan las reducciones, se argumenta que por razones económicas, las reducciones deben obtenerse donde éstas tienen el menor costo. Por lo tanto, el Protocolo incluye tres mecanismos basados en el mercado, orientados a alcanzar las reducciones de manera costo-efectiva: el Comercio Internacional de Emisiones (CIE), la Implementación Conjunta (IC), y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (PNUMA/RISOE, 2002)

El MDL, contenido en el Artículo 12 del Protocolo de Kyoto, permite a los gobiernos o entidades privadas de países industrializados implementar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo, y recibir créditos en la forma de "reducciones certificadas de las emisiones", o RCEs, las cuáles pueden ser contabilizadas dentro de sus objetivos nacionales de reducción. El MDL procura la promoción del desarrollo sostenible de los países en desarrollo, y a la vez permite a los países desarrollados contribuir con el objetivo de reducir las concentraciones atmosféricas de los gases de Efecto Invernadero (PNUMA/RISOE, 2002)

4.2 Generación de residuos

De una u otra forma todos los grupos humanos que habitan el planeta buscan satisfacer sus necesidades a través de la obtención de bienes y servicios, para lo cual necesariamente se debe producir, distribuir y consumir, lo cuál podría ser entendido como el sistema económico. Las tres funciones nombradas (producción, distribución y consumo) ocurren dentro de un entorno natural (Ambiente), el cual cumple con proveer de materias primas e insumos de energía para la producción, distribución y consumo de bienes y servicios (Field, 1997). En consecuencia, uno de los impactos del sistema económico es la explotación del ambiente para la obtención de materias primas e insumos de energía, y por otra parte la producción de residuos, que se transforman en desechos y son

depositados en el ambiente provocando problemas de contaminación. Lo anterior se representa en la figura 3:



Figura 3: Producción de desechos. (Fuente: Adaptado de Field, 1997)

El esquema expuesto es una representación muy simplificada del sistema económico. Una explicación más extensa es aquella en que el sistema económico “se ha dividido en dos amplios segmentos: productores y consumidores. La categoría productores incluye a todas las empresas que toman insumos y los convierten en productos útiles, y también comprende unidades como entidades públicas, organizaciones sin interés de lucro y empresas que prestan servicios como transporte; en resumen abarca todas las entidades del sistema que van hasta los mismos consumidores” (Field, 1997). Como se observa en la Figura 4 la producción y el consumo generan residuos, los que por una parte pueden transformarse en desechos y ser arrojados al ambiente, y por otra ser reciclados o reutilizados en algún proceso productivo, evitando que estos sean desperdiciados.

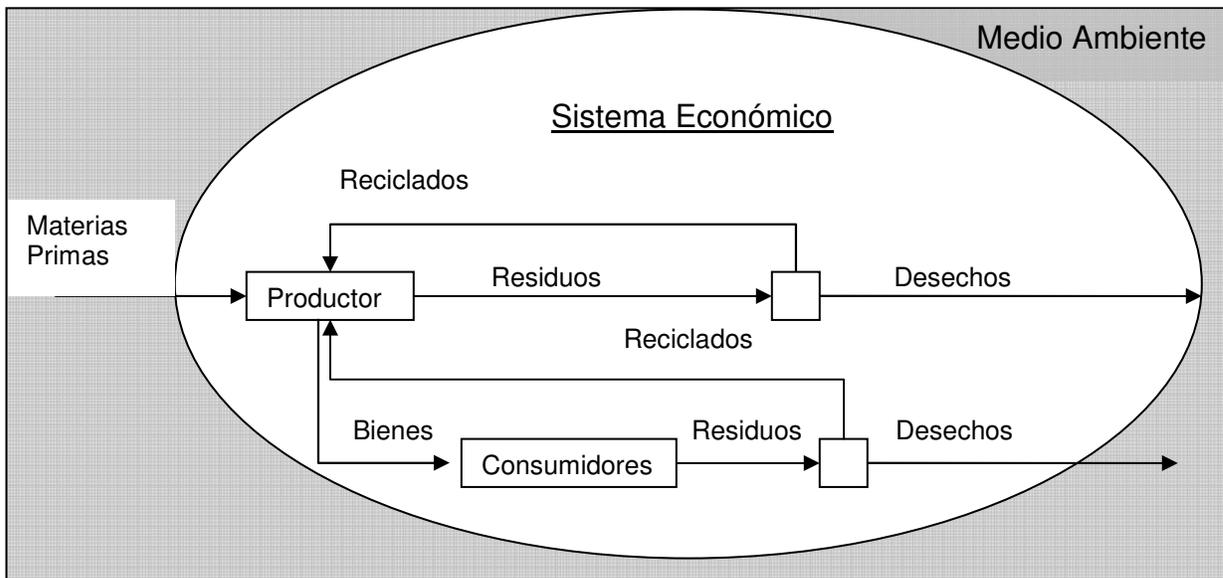


Figura 4: Producción de residuos y desechos. (Fuente: Adaptado de Field, 1997)

De la Figura 4 se deduce que para minimizar los desechos arrojados al ambiente se debe seguir alguna o varias de las siguientes opciones: reciclar la mayor cantidad de residuos posibles, realizar un proceso productivo más eficiente, en el que se produzcan menos residuos por bien producido, lo que hace disminuir la cantidad de desechos, o producir una menor cantidad de bienes. Es importante mencionar la diferencia entre residuo y desecho, el primero se define como: “aquellas materias generadas en la actividad de producción y consumo que no alcanzan en el contexto en que son producidas, ningún valor económico” (Szantó, M. 1996), pero si se disponen de técnicas adecuadas, éste puede obtener un valor agregado. En cambio, los desechos son: “aquellos materiales que no obtienen valor agregado ya sea por obstáculos tecnológicos, económicos o sociales” (Varnero, M. 2001).

4.3 Clasificación de los residuos sólidos

“Los residuos sólidos comprenden todos los materiales sólidos o semisólidos que el poseedor ya no considera de suficiente valor como para ser retenidos” (Valdés de F, S. 2004). Existe una clasificación internacional de uso común, la cual se observa en la tabla 1:

Tabla 1: Clasificación de los residuos sólidos según su origen.

Clasificación	Tipos
Residuos domiciliarios (Casas particulares):	<ul style="list-style-type: none"> residuos orgánicos biodegradables materiales recuperables como vidrio, papel, cartón y metal residuos especiales (con contenido de sustancias peligrosas), por ej.: pilas, envases de spray, químicos de hogar, etc. residuos domiciliarios de tipo comercial materiales voluminosos (muebles, chatarra, escombros, etc.)
Residuos comunales (Aseo público)	<ul style="list-style-type: none"> polvo de calle, barreduras, etc. desechos vegetales provenientes de áreas verdes públicas (poda de árboles)
Residuos comerciales: Restaurantes, tiendas, supermercados, etc.	<ul style="list-style-type: none"> residuos comerciales tipo domiciliario (papel, cartón, metal, o residuos orgánicos biodegradables) escombros
Residuos Sólidos Industriales (RIS)	<ul style="list-style-type: none"> RIS asimilables a los RS domiciliarios RIS especiales o peligrosos
Residuos de Hospitales, postas y consultorios	<ul style="list-style-type: none"> residuos hospitalarios tipo domiciliario residuos hospitalarios infecciosos

Fuente: Ministerio de Planificación. 2006.

No obstante, se consideran residuos sólidos domiciliarios (RSD) a aquellas fracciones de residuos sólidos de composición similar, generados en los domicilios y otras fuentes, como por ejemplo, establecimientos educacionales, hoteles y residenciales, casinos de industrias y hospitales. Dentro de estos, existe una fracción de residuos vegetales y animales, ricos en nitrógeno y carbono, denominados residuos orgánicos. Otra subdivisión dentro de los RSD, son los residuos domiciliarios verdes, que corresponden a la fracción vegetal de los RSD compuesta por restos de frutas y hortalizas fácilmente compostables (INN, 2003).

Según Valdés (2004) es por ello que muchas veces se opta por clasificar a los residuos por su composición en vez de por su origen, la cual intenta diferenciar los tipos en función de aquellas características distintivas que no se presentan en el resto de la tipificación anterior. Esto se observa en la tabla 2:

Tabla 2: Clasificación de los residuos sólidos según su composición.

TIPO	COMPOSICION
Domiciliarios	Residuos generados en el hogar (restos de comida, frutas y verduras, textiles, envases plásticos, papel, etc.)
Hospitalarios	Medicamentos en desuso o vencidos, restos quirúrgicos, materiales infectados, etc.
Escombros	Restos de la construcción y demolición de viviendas, caminos, etc.
Industriales	Baterías, adhesivos, productos químicos; desechos contaminados tales como escorias, arenas de filtro, etc.
Especiales	Muebles y electrodomésticos en desuso; chasis de automóviles.

Fuente: CONAMA, 2001

4.4 Composición de los residuos sólidos domiciliarios

La composición de los residuos sólidos domiciliarios (RSD), o basura doméstica, describe los constituyentes de los residuos y su distribución relativa, normalmente basada en porcentajes por peso. La composición de los RSD es uno de los determinantes del potencial de generación de biogás. Esta variable está muy ligada a los factores socioeconómicos de una comunidad, grado de desarrollo, hábitos de consumo, etc. (Valdés de F, S. 2004). Lo anterior queda claramente ejemplificado al comparar la composición de los RSD entre algunos países, como se indica en la tabla 3 y 4

Tabla 3: Composición de los residuos municipales en diversos países (% en peso).

País	H ₂ O	Cartón y papel	Metal	Vidrios	Textiles	Plásticos	Orgánicos	Otros e Inertes
Brasil	-	25,5	4,0	3,0	-	3,0	-	65,0
México	45,0	20,0	3,2	8,2	4,2	6,1	43,0	27,1
Costa Rica	50,0	19,0	0,0	2,0	-	11,0	58,0	10,0
El Salvador	-	18,0	0,8	0,8	4,2	6,1	43,0	27,1
Perú	50,0	10,0	2,1	1,3	1,4	3,2	50,0	32,0
Chile	50,0	18,8	2,3	1,6	4,3	10,3	49,3	13,4
Guatemala	61,0	13,9	1,8	3,2	3,6	8,1	63,3	6,1
Colombia	-	18,3	1,6	4,6	3,8	14,2	52,3	5,2
Uruguay	-	8,0	7,0	4,0	-	13,0	56,0	12,0
Bolivia	-	6,2	23,3	3,5	3,4	0,3	59,5	20,8
Ecuador	-	10,5	1,6	2,2	-	4,5	71,0	9,8
Paraguay	-	10,2	1,3	3,5	1,2	4,2	56,6	23,0
Argentina	50,0	20,3	3,9	8,1	5,5	8,2	53,2	0,8

Fuente: BID/OPS, 1998.

Tabla 4: Comparación en la composición de residuos sólidos domiciliarios.

COMPONENTE	EE.UU. (%)	Suiza (%)	Inglaterra (%)	Alemania (%)	Chile (%)
Materia Orgánica	30,5	9	26	13	42
Papel y Cartón	40	39,6	39,2	34	21,9
Plásticos	7	7	2,9	4	14,1
Textiles	2	4,8			5
Metales	9,5	4,8	8,7	6,5	2,5
Vidrios	8	9,5	6,4	16	2,1
Otros	3	19	16,4	26,5	12,4

Fuente: CONAMA, 2001.

La diferencia principal en esta comparación se encuentra en los contenidos de materia orgánica y de papeles y cartones. Esta diferencia se debe a los distintos procesos de desarrollo experimentados por los países los cuales han determinado la evolución de la composición a través del tiempo (Valdés de F, S. 2004).

La composición de los residuos sólidos domiciliarios ha experimentado un cambio durante la última década el que responde a una modificación en los hábitos de consumo de la población. Este cambio se observa principalmente en la disminución paulatina de la fracción orgánica de la basura y en el aumento del contenido de papeles y cartones. Una explicación para esta evolución podría ser el creciente uso de envases de papel y cartón para el transporte, y hasta consumo, de alimentos, que se da con el mayor ingreso de la

población. A esto se suma una creciente disponibilidad de alimentos con mayores grados de elaboración y preparación que disminuyen la generación de restos. Adicionalmente, con el mayor ingreso ha aumentado el consumo de productos en general y por lo tanto el uso de envases. Sin embargo, aún la participación de materia orgánica en la basura domiciliaria en Chile alcanza a aproximadamente entre un 40% y un 50%. (Valdés de F, S. 2004).

4.5 Gestión Integral de los residuos sólidos domiciliarios

La gestión Integral de residuos establece la necesidad de prevenir el destino y la forma de gestión para cada residuo, aplicando un concepto preventivo a partir de una visión ampliada del ciclo de vida del producto más el ciclo de vida del residuo (Tchobanoglous, G *et al.* 1994).

Desde el punto de vista ambiental, el mejor criterio es prevenir, evitando la generación de un residuo. Un residuo que no se genera, no tiene que ser posteriormente manejado. Si no es posible evitarlo, se debe buscar su minimización; si no se lo puede minimizar, se debe investigar su tratamiento, y como última opción la disposición final del residuo (CONAMA², 2005).

De manera general el sistema de gestión de los residuos puede agruparse en seis etapas o elementos funcionales, y sus interacciones pueden ser representadas de la siguiente manera:

² Comisión Nacional de Medio Ambiente.

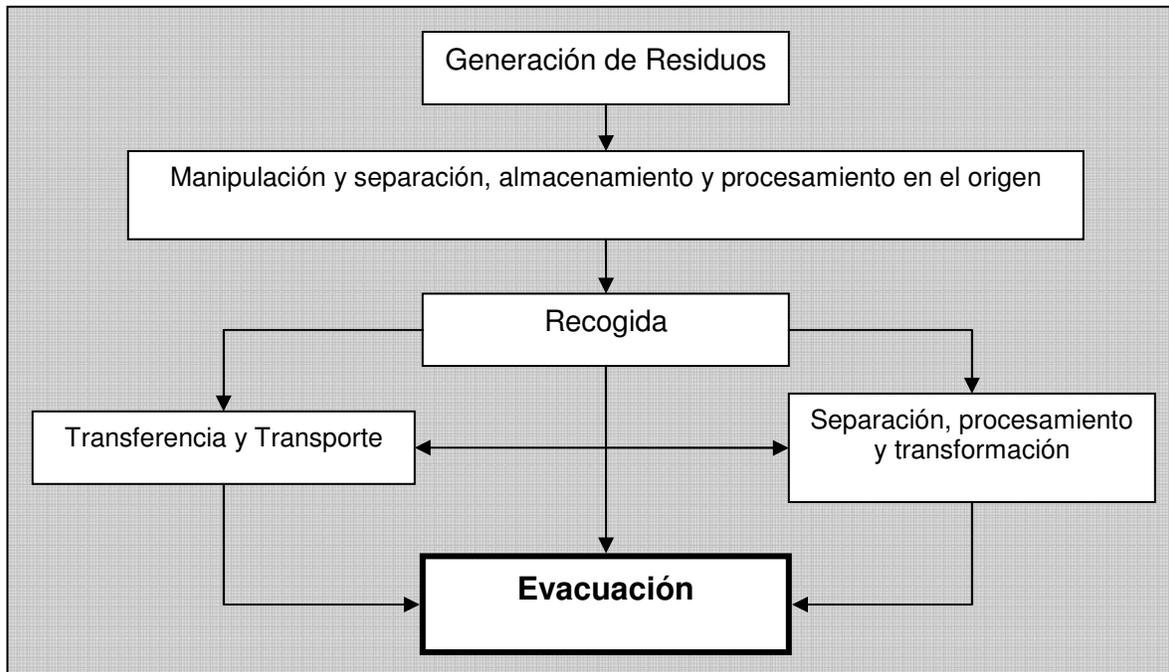


Figura 5: Diagrama simplificado mostrando las interrelaciones entre los elementos funcionales de un sistema de gestión integral de residuos sólidos. (Fuente: Tchobanoglous, G *et al.* 1994)

El último elemento funcional es la *evacuación*. Hoy en día, la evacuación de los residuos sólidos mediante los vertederos controlados o la extensión en superficies es el destino último de todos los residuos. Un vertedero controlado moderno, entendido para nosotros como relleno sanitario, no es un basurero; sino una instalación de ingeniería utilizada para la evacuación de residuos sólidos en el suelo o dentro del manto de la tierra sin crear incomodidades o peligros para la seguridad o la salud pública, tales como la reproducción de ratas e insectos, y la contaminación de aguas subterráneas. (Tchobanoglous, G *et al.* 1994)

4.6 El vertedero como método de evacuación de residuos sólidos.

Vertederos son las instalaciones físicas utilizadas para la evacuación, en los suelos de la superficie de la tierra, de los rechazos procedentes de los residuos sólidos. En el pasado, el término “vertedero sanitario controlado” se utilizaba para denominar un vertedero en el que se cubrían los residuos puestos en el vertedero al finalizar cada día de operación. Actualmente, *vertedero sanitario controlado* se refiere a una instalación de ingeniería

para la evacuación de RSU³, diseñada y explotada para minimizar los impactos ambientales y sobre la salud pública. Un vertedero controlado a veces se identifica como una *unidad para la gestión de residuos sólidos* (Tchobanoglous, G *et al.* 1994).

Históricamente, los vertederos han sido el método más económico y ambientalmente más aceptable para la evacuación de residuos sólidos en Estados Unidos y en todo el mundo. Incluso con la implantación de la reducción de residuos, del reciclaje y de las tecnologías de transformación, la evacuación en vertederos de los rechazos procedentes de los residuos sólidos sigue siendo un componente importante dentro de una estrategia para la gestión integral de los residuos sólidos. La gestión de vertederos implica la planificación, diseño, explotación, clausura y control post - clausura de vertederos (Tchobanoglous, G *et al.* 1994).

4.7 Generación de los principales gases de vertedero.

Como es sabido, bajo condiciones anaeróbicas, la descomposición de basuras orgánicas genera biogás, el cual está constituido por gases como el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), ambos de gran poder de efecto invernadero. En general, cerca de la mitad del biogás corresponde a CH₄ y la otra mitad a CO₂. Sin embargo, el metano tiene una equivalencia en cuanto a su contribución al efecto invernadero de 21 veces la del CO₂, por lo que el control de las emisiones de biogás permite reducir emisiones de metano y contribuir al control del efecto invernadero. (Valdés de F, S. 2004)

Como se ilustra en la Figura 6, se considera que la generación de los principales gases del vertedero se produce en cinco o menos fases secuenciales.

³ Residuos Sólidos Urbanos

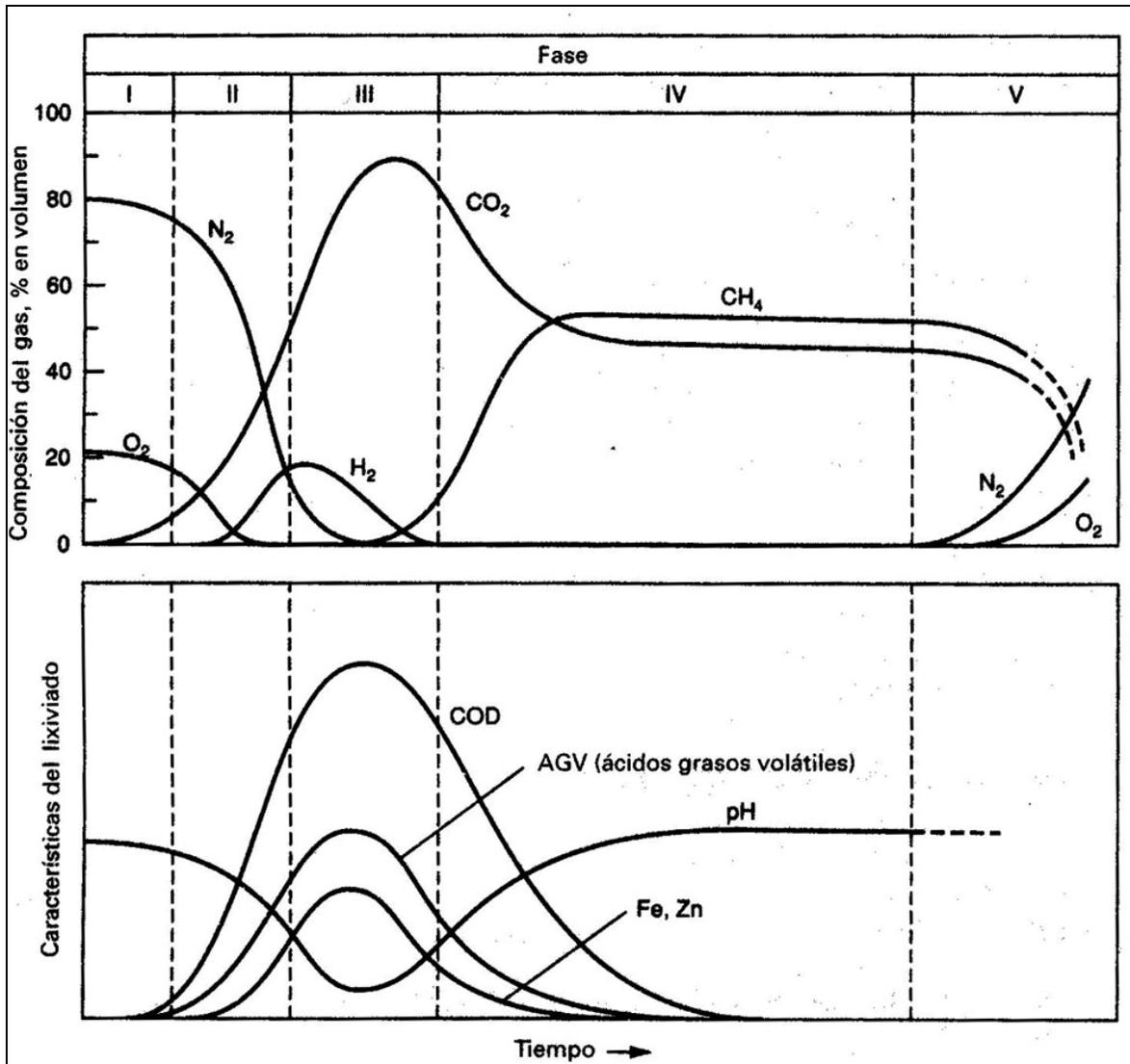


Figura 6: Fases generales en la generación de gases vertederos. (Fuente: Tchobanoglous, G *et al.* 1994)

A continuación se describe cada una de estas fases:

4.7.1 Fase I: Ajuste Inicial

En esta fase todos los componentes orgánicos biodegradables de los RSU sufren descomposición microbiana mientras se colocan en un vertedero. En la fase I, se produce descomposición biológica bajo condiciones aerobias, porque hay cierta cantidad de aire atrapado dentro del vertedero. La fuente principal de organismos aerobios y anaerobios,

responsables de la descomposición de los residuos, es el material del suelo que se utiliza para cubrir los RSU. Otras fuentes de microorganismos son los fangos digeridos de plantas de tratamiento de aguas residuales, evacuados en muchos vertederos de RSU, y el lixiviado reciclado.

4.7.2 Fase II: Fase de Transición.

En esta fase desciende el oxígeno y comienzan a desarrollarse condiciones anaerobias. Mientras el vertedero se convierte en anaerobio, el nitrato y el sulfato, que pueden servir como receptores de electrones en reacciones de conversión biológica, a menudo se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno.

Tabla 5: Receptores típicos de electrones en reacciones bacterianas.

Ambiente	Receptor de electrones	Proceso
Aerobio	Oxígeno [O ₂]	Metabolismo Aerobio
Anaerobio	Nitrato [NO ₃ ⁻] Sulfato [SO ₄ ⁻²] Dióxido de Carbono [CO ₂]	Desnitrificación Reducción de Sulfato Metanogénesis

Fuente: Tchobanoglous, G *et al.* 1994.

El comienzo de condiciones anaerobias se puede supervisar midiendo el potencial de oxidación/reducción que tiene el residuo. Las condiciones de reducción suficientes para producir la reducción del nitrato y del sulfato se dan aproximadamente entre -5 a -100 [mV]. El metano se produce cuando los valores del potencial de oxidación/reducción están dentro del rango de -150 a -300 [mV]. Mientras siga bajando el potencial de oxidación/reducción, los miembros de la comunidad microbiana responsables de la conversión del material orgánico de los RSU en metano y dióxido de carbono, comienzan un proceso de tres etapas, con la conversión de material orgánico complejo en ácidos orgánicos y otros productos intermedios, como se describe en la fase III. Esto se ilustra en la figura 7:

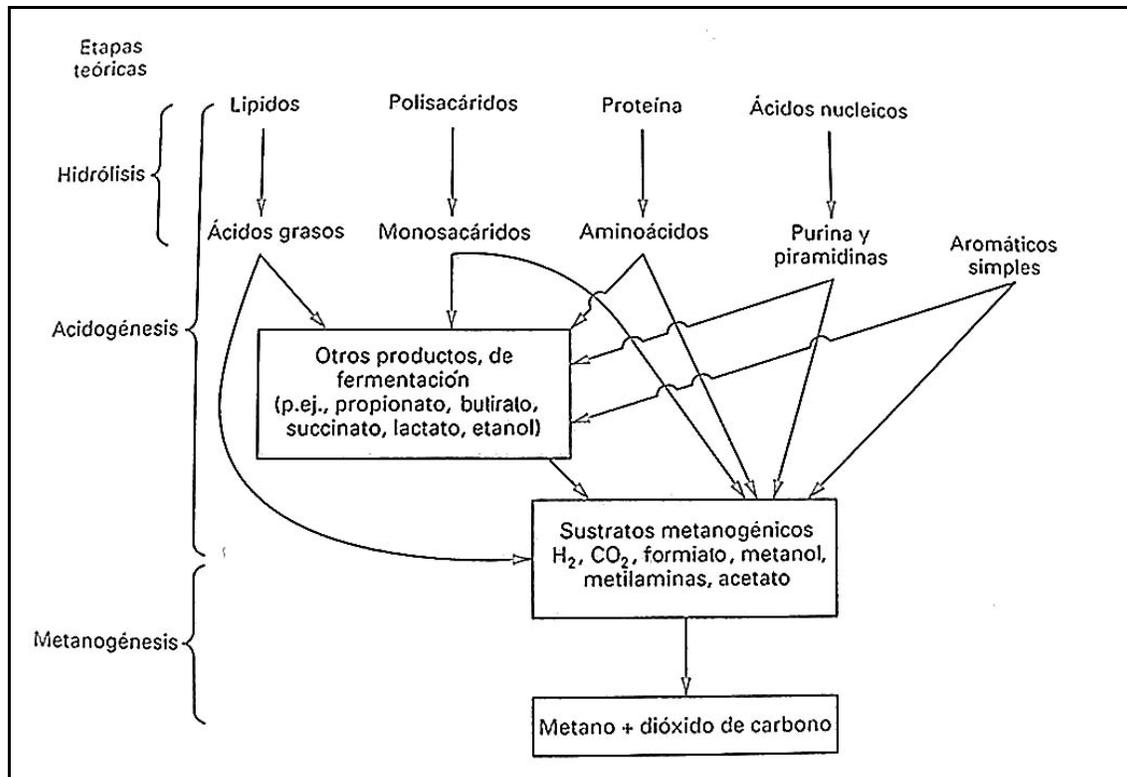


Figura 7: Rutas que llevan a la producción de metano y dióxido de carbono en la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los RSU. (Fuente: Tchobanoglous, G et al. 1994)

En la fase II, el pH del lixiviado, si es que éste se forma, comienza a caer debido a la presencia de ácidos orgánicos y al efecto de las elevadas concentraciones de CO₂ dentro del vertedero (ver Figura 6).

4.7.3 Fase III: Fase Ácida.

En esta fase se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase II con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas hidrógeno. La primera etapa del proceso de tres etapas implica la transformación, mediada por enzimas (hidrólisis), de compuestos con alto peso molecular, en compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuentes de energía y de carbono celular. La segunda etapa en el proceso (acidogénesis) implica la conversión microbiana de los compuestos resultantes de la primera etapa en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como son el ácido acético (CH₃COOH) y las pequeñas concentraciones de ácido fólvico y otros ácidos más complejos. El CO₂ es el principal gas generado durante la fase III. También se producirán cantidades más pequeñas de gas hidrógeno (H₂). Los

microorganismos implicados en esta conversión, llamados colectivamente no metanogénicos, son las bacterias anaerobias facultativas y obligadas. A menudo se identifican estos microorganismos en la literatura de ingeniería como *acidogénicos* o *formadores de ácido*.

El pH del lixiviado, si se forma, frecuentemente caerá hasta un valor de 5 o menos, por la presencia de los ácidos orgánicos y por las elevadas concentraciones de CO₂ dentro del vertedero. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y la conductividad del lixiviado se incrementarán significativamente durante la fase III debido a la disolución de ácidos orgánicos en el lixiviado. Muchos nutrientes esenciales también se separan con el lixiviado en la fase III. Si no se recicla el lixiviado, se perderán del sistema nutrientes esenciales. Es importante resaltar que si no se forma lixiviado, quedarán dentro del vertedero productos de conversión producidos durante la fase III como constituyentes absorbidos en el agua contenida por los residuos, como se define en la capacidad de campo.

4.7.4 Fase IV: Fase de Fermentación del Metano

En esta fase un segundo grupo de microorganismos, que convierten el ácido acético y el gas de hidrógeno producidos por los formadores de ácidos en la fase ácida en CH₄ y CO₂, llegan a ser más predominantes. En algunos casos, estos organismos comenzarán a desarrollarse hacia el final de la fase III. Los microorganismos responsables de esta conversión son estrictamente anaerobios y se llaman metanogénicos. Colectivamente, se identifican en la literatura como *metanogénicos* o *formadores de metano*. En la fase IV la formación de metano y ácido se produce simultáneamente, aunque la velocidad de formación de ácidos es considerablemente más reducida.

Cómo los ácidos y el gas de hidrógeno producidos por los formadores de ácidos se han convertido en CH₄ y CO₂ en la fase IV, el pH dentro del vertedero subirá a valores más neutros, en el rango de 6,8 a 8. A continuación, el pH del lixiviado, si se forma, subirá, y se reducirán las concentraciones de DBO₅, DQO y el valor de conductividad del lixiviado. Con los valores más altos del pH, menos constituyentes inorgánicos quedan en la disolución y, como resultado, la concentración de metales pesados presentes en el lixiviado también se reducirá.

4.7.5 Fase V: Fase de Maduración

La fase V se produce después de convertirse el material inorgánico biodegradable en CH₄ y CO₂ durante la fase IV. Mientras la humedad sigue migrando a través de los residuos, se convierten porciones del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles. Durante la fase V la velocidad de generación del gas de vertedero disminuye significativamente, porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores, y los sustratos que quedan en el vertedero son de una degradación lenta. Los principales gases de vertedero que han evolucionado en la fase V son CH₄ y CO₂. Según las medidas de sellado del vertedero, también pueden encontrarse pequeñas cantidades de nitrógeno y oxígeno en el gas del vertedero. Durante la fase de maduración, el lixiviado a menudo contendrá ácidos húmico y fúlvico, que son difíciles de degradar biológicamente.

4.8 Duración de fases

La duración de las fases individuales de producción del gas de vertedero variará según la distribución de los componentes orgánicos en el vertedero, la disponibilidad de nutrientes, el contenido de humedad de los residuos, el paso de la humedad por el relleno y el grado de compactación inicial (Tchobanoglous, G *et al.* 1994). Valdés de F. (2004), en su estudio de políticas de abatimiento de gas de efecto invernadero, resume que el tiempo que se requiere para que la basura doméstica se degrade y se produzca biogás dependerá de las siguientes variables:

1. *Composición de la basura:* a mayor cantidad de comida presente en la basura, más rápido se generará biogás. El papel y materias orgánicas similares se degradan a una tasa menor y se resisten a la biodegradación.
2. *Contenido de humedad:* el contenido de humedad es uno de los parámetros más determinantes en un relleno sanitario. Si este se aumenta levemente se acelera el proceso de generación de gas considerablemente. Es por esta razón que en los rellenos sanitarios se recomienda recircular los líquidos percolados para adicionar humedad a la basura, o incluso agregar agua, disminuyendo al mismo tiempo los impactos ambientales de su descarga y los costos de tratamiento. El clima es uno

de los elementos determinantes del contenido de humedad en un relleno y su efecto depende en alguna medida de las características de la cobertura y el grado de impermeabilidad de la base del relleno y los pretiles.

3. *Nutrientes*: aunque los organismos anaeróbicos se desarrollan naturalmente entre la basura, estos mismos también se encuentran en las fecas humanas y de animales, por lo que el proceso de generación de gas se acelera cuando en un relleno también se disponen los lodos de los sistemas de tratamiento de aguas servidas. Además esto agrega humedad.
4. *Mezcla*: en un relleno sanitario, al mezclar la basura se logra poner en contacto los organismos anaeróbicos con su sustrato. La recirculación de líquidos percolados tiene el mismo efecto.
5. *Cobertura*: la cobertura periódica y sistemática de la basura evita que entre en contacto con el aire permitiendo la generación de condiciones anaeróbicas que la degradan y producen biogás. Cuanto antes se den estas condiciones más rápido comienza a degradarse la basura.
6. *Compactación*: la compactación de la basura genera el contacto con los nutrientes y la humedad, y tiende a expulsar el oxígeno presente, lo que a su vez tiende a reducir el tiempo en que se inicia la biodegradación anaeróbica.

Por ejemplo, si se compactan juntos varios cargamentos de matorrales la relación carbono/nitrógeno y el balance de nutrientes puede que no sea favorable para la producción del gas vertedero. De forma similar, se retardará la generación del gas de vertedero si no hay suficiente humedad disponible. Incrementando la densidad del material colocado en el vertedero, descenderá la posibilidad de que la humedad llegue a todas las partes de los residuos y, por lo tanto, reducirá la velocidad de bioconversión y la producción de gas (Tchobanoglous, G *et al.* 1994). En la Tabla 6 se presentan datos típicos sobre la distribución porcentual en función del tiempo de los principales gases encontrados en un vertedero recientemente agotado.

Tabla 6: Distribución porcentual de los gases de vertedero observados durante los primeros 48 meses después de la clausura de una celda de vertedero.

Intervalo temporal desde el llenado de la celda [meses]	Medio [porcentaje por volumen]		
	Nitrógeno N ₂	Dióxido de Carbono CO ₂	Metano CH ₄
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

Fuente: Merz y Stone, 1970.

4.9 Volumen del gas producido

La reacción química generalizada para la descomposición anaerobia de residuos sólidos puede escribirse de la forma siguiente:



Hay que resaltar que la reacción requiere la presencia de agua. Se han encontrado vertederos que carecen de un contenido de humedad suficiente en un estado “momificado”, con papel de periódico de hace décadas en condiciones legibles. Entonces, aunque la cantidad total del gas que se produce a partir de residuos sólidos se derive directamente de una reacción estequiométrica, las condiciones hidrológicas locales afectan significativamente a la velocidad y al período de tiempo en el que tiene lugar la producción del gas (Tchobanoglous, G *et al.* 1994).

La ecuación indica también que se producen cantidades iguales de metano y dióxido de carbono, sin embargo, según Gunnerson (1986) como el dióxido de carbono es soluble en agua, la cual se pierde en los percolados de un relleno sanitario, en realidad la cantidad de carbono es menor.

El volumen de los gases emitidos durante la descomposición anaerobia puede estimarse de varias formas. En general, se pueden dividir los materiales orgánicos presentes en los residuos sólidos en dos clasificaciones; 1) aquellos que se descomponen rápidamente (de tres meses a 5 años) y 2) aquellos materiales que se descomponen lentamente (hasta 50 años o más) (Tchobanoglous, G *et al.* 1994).

En la Tabla 7 se identifican los componentes de la fracción orgánica de los RSU de descomposición lenta y rápida.

Tabla 7: Constituyentes orgánicos rápidamente y lentamente biodegradables en los RSU.

Componente de Residuos Orgánicos	Rápidamente biodegradable	Lentamente biodegradable
Residuos de comida	Si	
Periódicos	Si	
Papel de oficina	Si	
Cartón	Si	
Plásticos ^a		
Textiles		Si
Goma		Si
Cuero		Si
Residuos de jardín	Si ^b	Si ^c
Madera		Si
Orgánicos misceláneos		Si

^a Los plásticos generalmente son considerados como no biodegradables
^b Hojas y recortes de césped. Normalmente, el 60% de los residuos de jardín son considerados como rápidamente biodegradables.
^c Porciones leñosas de los residuos de jardín.

Fuente: Tchobanoglous, G *et al.* 1994.

La fracción biodegradable de los residuos orgánicos depende en gran medida del contenido de lignina de los residuos. En la Tabla 8 se presenta la biodegradabilidad de varios constituyentes orgánicos basándose en su contenido de lignina.

Tabla 8: Biodegradables de los constituyentes orgánicos en los RSU.

Componente de residuos orgánicos	Contenido de lignina [Porcentaje SV]	Fracción biodegradable ^a [Porcentaje SV]
Residuos de comida	0,4	0,82
Papel de periódicos	21,9	0,22
Papel de oficina	0,4	0,82
Cartón	12,9	0,47
Residuos de jardín	4,1	0,72

^a Fracción biodegradable = $0,83 - (0,028) * LC$, donde LC = porcentaje Sólidos Volátiles.

Fuente: Tchobanoglous, G *et al.* 1994.

4.10 Variación de la producción de gas en el tiempo.

En condiciones normales, la velocidad de descomposición, medida por la producción de gas, llega a su máxima dentro de los primeros dos años y después baja lentamente, continuando en muchos casos durante periodos de hasta 25 años o más. Si no se añade humedad a los residuos en un vertedero bien compactado, no es infrecuente encontrar materiales en su forma original años después de enterrarlos (Tchobanoglous, G *et al.* 1994).

“En los vertederos o basurales abiertos, en los cuales la basura no es compactada ni cubierta, ocurre una baja descomposición anaeróbica puesto que la basura se encontraría en contacto con el aire primando un proceso de oxidación” (Eastern Research Group inc. 2001). En estos casos donde la descomposición de la basura ocurre en condiciones aeróbicas se generaría en su mayor parte CO₂ y agua y prácticamente nada de metano. Bajo condiciones anaeróbicas entonces, el metano y el CO₂ son los principales gases que se generan en un relleno sanitario. Asimismo, cuando la degradación se genera bajo condiciones que no son controladas, el proceso ocurre en forma aleatoria en la basura depositada y es muy difícil predecir el nivel de biodegradación que ocurre en el relleno y el horizonte de tiempo en que esta se desarrolla.

Debido al alto poder calorífico del metano, el biogás puede ser utilizado como combustible para la generación de energía y reemplazar el uso de fuentes más contaminantes y de mayor impacto global. (Valdés de F, S. 2004).

Por ejemplo, si, en lugar de otros combustibles, se lo utiliza para generar electricidad o se reemplaza la generación de una central termoeléctrica a petróleo, se produciría una reducción adicional de emisiones de CO₂ equivalente de 0,59 toneladas por cada MWh generado. (Valdés de F, S. 2004)

4.11 Tecnología de recuperación y utilización de gases de vertedero.

El Banco Mundial, a través de su iniciativa para la obtención de energía a partir de gas de vertedero en la región de América Latina, establece que todas las instalaciones para la utilización de estos gases requieren de un sistema de recuperación, el cual debe

optimizarse para maximizar la recolección. Un sistema de recolección efectivo, asociado a una instalación de utilización del gas, también protege del olor y otras emisiones, pero más bien como derivado de la recuperación de combustible y no como objetivo primario. En un sistema de recolección con diseño y operación efectivos, estos dos conjuntos de objetivos pueden ser compatibles por completo.

Esta iniciativa también reconoce que el gas de vertedero es húmedo y tiene concentraciones variables de muchos gases en partículas pequeñas, y esto debe considerarse en el diseño del sistema de utilización. El alto contenido de humedad garantiza la presencia de esta en el sistema de recolección, lo cual puede ocasionar problemas relacionados con la eliminación condensada/interferencia en la capacidad de recolectar gases a través del sistema de tubería. Además, algunos de los gases presentes en pequeñas cantidades, al combinarse con la humedad, pueden causar corrosión del equipo u otras restricciones en la operación, como peligros para la salud si el gas termina en un espacio confinado (p.e., si se permite la aplicación para uso doméstico en los hogares). Al decidir qué tipo de instalación de utilización quiere desarrollarse, también debe considerarse la expulsión de contaminantes a la atmósfera a través de emisiones de aire. Dependiendo de la aplicación, es posible que el gas de vertedero sin depurar requiera algún procesamiento antes de utilizarse, para reducir estas preocupaciones.

El gas producido en vertederos puede clasificarse en tres categorías con base en el nivel de pretratamiento/procesamiento necesario para su utilización:

- **Combustible de bajo grado:** Por lo regular, la utilización como combustible de bajo grado requiere un procesamiento mínimo, en el que intervienen cámaras de eliminación condensada como parte del sistema de recolección de gas de vertedero y calderas para atacar la humedad y reducir su cantidad en el flujo de gas.
- **Combustible de medio grado:** Se emplean dispositivos adicionales de tratamiento de gas para extraer más humedad (con contaminantes) y materia de partícula más fina. En general, el proceso incluye compresión y refrigeración del gas de vertedero y/o tratamiento químico o depurado para eliminar humedad

adicional y compuestos de gas en pequeñas cantidades como mercaptanos, compuestos de azufre, siloxanes y compuestos orgánicos volátiles.

- **Combustible de alto grado:** La utilización de gas de vertedero como combustible de alto grado implica un amplio pre-tratamiento del gas para separar el dióxido de carbono y otros componentes en grandes cantidades del metano, eliminar impurezas como los mercaptanos, compuestos de azufre, sulfuro de hidrógeno y compuestos orgánicos volátiles, y la compresión del gas para deshidratarlo.

Los combustibles de bajo y medio grado producidos a partir de este gas tienen un valor calorífico de aproximadamente 16.8 MJ/m^3 . Este valor calorífico difícilmente es de la mitad del gas natural. El gas de vertedero que se procesa más y se trata para producir combustible de alto grado tiene un valor calorífico mayor (37.3 MJ/m^3) que el combustible de bajo y medio grado, y puede sustituirse directamente por gas natural en aplicaciones de tubería de distribución. (Conestoga-Rovers & Associates, 1996)

La Figura 8 constituye en una herramienta visual que puede ser útil para entender las discusiones sobre las diferentes aplicaciones de los tres grados de combustible que se pueden producir a partir del gas de vertedero. Esta figura también ilustra el último nivel de procesamiento que se requiere para transformar el GRS desde un combustible de grado bajo a uno más refinado.

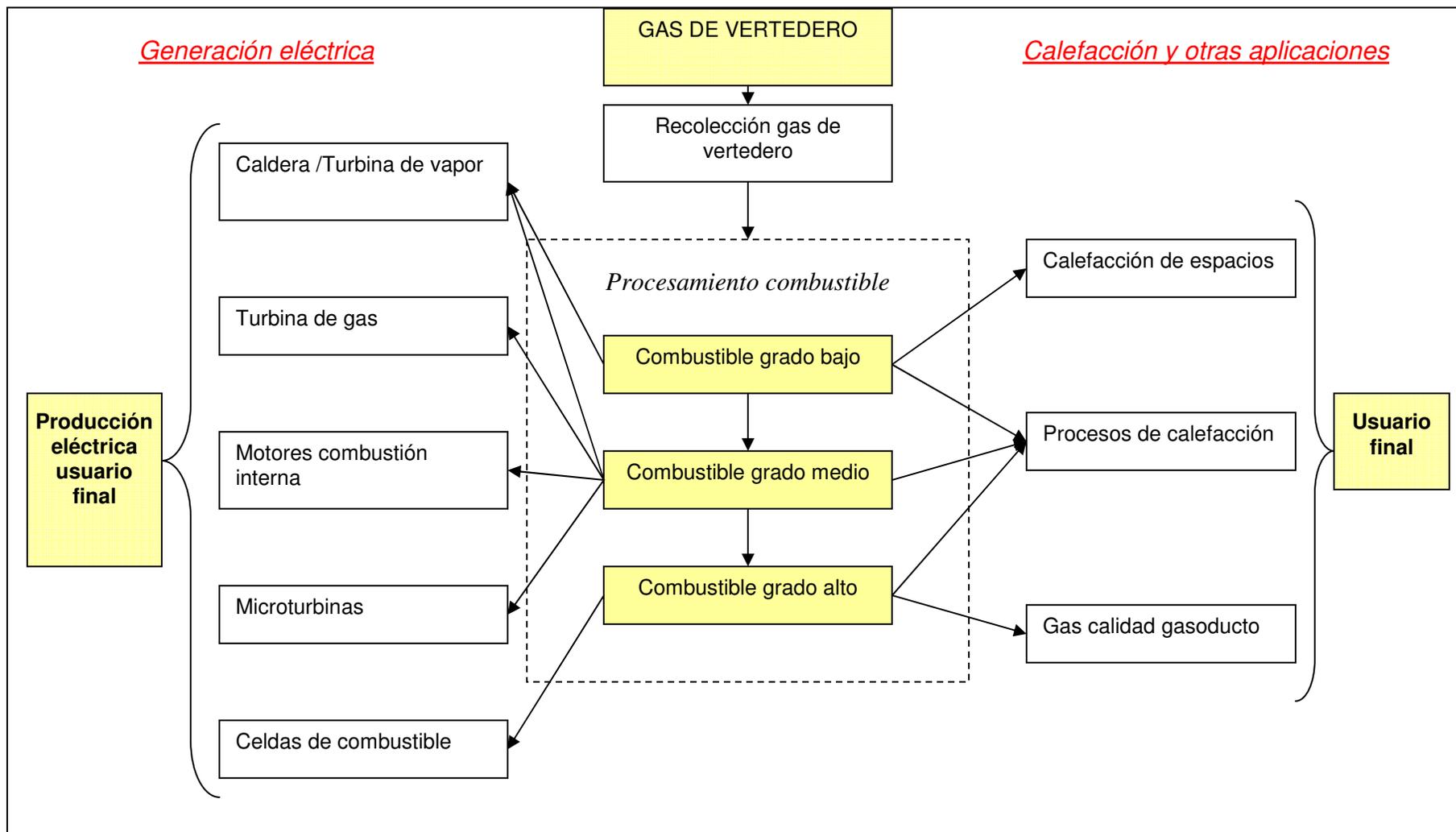


Figura 8: Opciones de utilización del gas de vertedero. Manual para la preparación de proyectos energéticos a partir de gas de vertedero. Banco Mundial. 2003.

4.12 Obtención de energía a partir de gas de vertedero en América Latina.

Acerca de esta iniciativa, el Banco Mundial ha establecido que la región de América Latina y el Caribe tiene un alto índice de urbanización; en promedio, el 75% de los 500 millones de habitantes viven en ciudades, principalmente grandes ciudades, lo cual produce una gran concentración de residuos sólidos y, como consecuencia, problemas de gestión de residuos. La mayoría de las ciudades de América Latina y el Caribe todavía tienen una gestión de residuos sólidos que utiliza vertederos abiertos, lo cual ocasiona problemas de lixiviación, contaminación de aguas subterráneas y superficiales y expulsión de gas de vertedero a la atmósfera. Las ciudades más importantes y prósperas han comenzado a mejorar sus prácticas de disposición de los residuos y han aplicado los rellenos sanitarios; sin embargo, todavía no se ocupan del tema del tratamiento y reuso de las emisiones de gas de rellenos sanitarios. Algunas ciudades de Chile han recolectado activamente gas de vertederos para utilizarlo en la producción de energía en el pasado. En la actualidad, sólo una ciudad recolecta gas de vertederos y genera energía eléctrica: Monterrey, México (con apoyo GEF⁴) y otras dos, Nova Gerar en Brasil y Maldonado en Uruguay (con apoyo GEF), planean hacerlo. En contraste con el uso limitado del gas de vertederos que se da en América Latina y el Caribe para obtener beneficios, la experiencia en el mundo muestra que existen más de 1200 plantas para obtener energía. Así, si se dan condiciones de mercado propicias, existe una oportunidad significativa de incrementar su recuperación y utilización en rellenos sanitarios en la región de América Latina y el Caribe.

Según publicaciones realizadas por el Banco Mundial (2006) se considera que la captura del gas de vertederos se ocupa de dos de las principales preocupaciones globales y locales: colabora para el mejoramiento de las prácticas de SWM⁵ al considerar cuestiones de salud y seguridad, y reduce las emisiones de metano, un potente gas que contribuye al calentamiento global; Las ganancias que resultan de la comercialización de los créditos de carbono y la energía representan un incentivo económico que puede generar fondos adicionales y catalizar mejores prácticas en la SWM, en particular en ciudades que planean desarrollar instalaciones de disposición definitiva, con un cambio de vertederos a rellenos sanitarios.

⁴ Global Environment Facility.

⁵ Solid Waste Management.

Los principales riesgos ambientales y de salud relacionados con las pobres prácticas de SWM evidentes en América Latina y otras regiones son la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, contaminación del suelo, efecto invernadero, portadores de infecciones, contaminación de la cadena alimentaria, pobre calidad del aire, explosiones e incendios accidentales, malos olores, etc.

La recolección y posible utilización de gases de vertederos en general se limita a los rellenos sanitarios grandes y profundos (por ejemplo, más de un millón de toneladas de residuos en el lugar, con una profundidad de 12-20 metros). También es necesario que el proyecto pueda interconectarse a una red urbana de energía o a una red de distribución de gas, o bien que se ubique cerca de algún usuario final de energía. Esto limita las aplicaciones prometedoras a ciudades grandes e intermedias. En América Latina y el Caribe, en la actualidad existen 117 ciudades con una población superior a los 500.000 habitantes, con un total de 225 millones de habitantes que generan unos 74 millones de toneladas por año de residuos sólidos. Suponiendo que la mitad de estas ciudades cumplieran los criterios generales expuestos con anterioridad para los proyectos factibles, se calcula que el potencial anual de generación de energía a partir de gases de vertedero sería del orden de los 800 MW (si se dan condiciones de estado estable y 30% de eficiencia de conversión). Para una ciudad con una población de un millón que genere alrededor de 740 toneladas por día de residuos sólidos (270.100 toneladas/año), el potencial anual de producción de energía sería de 5.9 MW.

Así mismo, si se establece un mercado internacional de carbono, es probable que el incentivo para generar créditos de carbono de la captura y uso de gases de vertedero sea alto en las ciudades de América Latina y el Caribe, ya que no sólo se reducirían directamente gases de efecto invernadero al reducir las emisiones de metano a la atmósfera, sino que también se desplazaría combustible fósil si se utilizara el gas para obtener energía. El mercado potencial internacional de carbono, en esta zona, a partir de la explotación de gases de vertederos podría ser del orden de los US\$100 millones al año. Esta cifra podría aumentar, puesto que en la actualidad el cálculo no considera el carbono que sustituye combustibles fósiles. También debe hacerse notar que, al parecer, el costo real de abatimiento del carbono para gases de vertederos se ubica alrededor de los US\$4/tC para las ciudades grandes, con base en los proyectos existentes en la cartera

GEF y los cálculos publicados. Así, es una opción muy competitiva para el abatimiento del carbono.

El Banco Mundial a través de su oficina regional para Latino América y el Caribe ha recibido fondos adicionales para financiar la preparación de estudios de factibilidad para proyectos de captura de gases de rellenos sanitarios. A través de esta iniciativa, ha financiado estudios de prefactibilidad para la generación de energía eléctrica por medio de gases de vertederos. Se recibieron en total 26 propuestas de las cuales se seleccionaron 10 en 5 países de Latinoamérica: Brasil, Colombia, México, Perú y Uruguay.

4.13 Aprovechamiento de gas de vertedero en Chile.

En el informe realizado por Bitrán & Asociados el año 2003, se establece que Chile ha logrado experimentar, durante las últimas dos décadas, un acelerado proceso de desarrollo donde las tasas de crecimiento del ingreso superaron el 7% anual entre 1987 y 1997, produciéndose un crecimiento en el grado de urbanización y un cambio en los patrones de consumo. Debido a eso, la generación de basura domiciliaria en Chile aumentó año a año en función del crecimiento en el ingreso, la población y otros factores.

En general, los diagnósticos que se han hecho en Chile y diversos estudios, sugieren que la generación de basura ha crecido a una tasa de 2% anual en términos per cápita, la que sumando el aumento de la población, que bordea el 2% anual, llegaría a un aumento de 4% anual en la generación de basura. Es así como en la ciudad de Santiago en el año 1975 cada habitante generaba, en promedio, 0,91 Kg./hab./día, cifra que actualmente alcanzaría cerca de 1,07 Kg./hab./día (Bitrán & Asociados, 2003).

Por otra parte, la producción de residuos sólidos domésticos en Chile, según estimaciones para el año 1996, se concentraba principalmente en las zonas urbanas del país las que contaban ya con servicios de recolección que alcanzaban a cerca del 99% de cobertura de la población urbana. El 82,9% de dicha basura se disponía en vertederos de variadas características. Según el Catastro de Rellenos Sanitarios (CONAMA, 2002), actualmente existirían 282 vertederos, botaderos y/o rellenos sanitarios a lo largo de las 13 regiones del país, los que recibirían cerca el 85% de la basura domiciliaria.

Aunque los lugares de disposición de basura en Chile son llamados indistintamente vertederos, basurales o rellenos sanitarios, esta clasificación no guarda una relación directa con las características técnicas de las instalaciones en cuanto a su construcción o su operación. En ese sentido, existiría coincidencia en que el tratamiento final que se le da a la basura varía considerablemente entre un lugar de disposición y otro, a lo largo del país y entre zonas rurales y urbanas, concentrando estas últimas aquellos de más moderna tecnología y mayor tamaño.

En el informe de Bitrán & Asociados (2003) se establece también que actualmente, cerca del 60% de la disposición de basura se concentra en rellenos sanitarios modernos en la Región Metropolitana, estos son Loma Los Colorados, Santa Marta y Santiago Poniente. Sólo el primero de estos sitios se encontraría explorando su eventual aprovechamiento en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto. Sin embargo, al igual que todos los demás sitios de disposición actualmente en operación a lo largo de Chile, hasta hace poco sólo se limitaban a medidas de prevención de explosiones, emisión de olores molestos y control de la migración del biogás.

Los rellenos que ilustran los primeros e incipientes intentos de manejo de biogás en el país han sido; La Feria, Lo Errázuriz, y Lepanto en Santiago y El Molle en Valparaíso, en todos ellos, en algún momento del tiempo, el biogás habría sido recolectado y utilizado de alguna manera. Sin embargo, la historia de estos rellenos confirma que las motivaciones que incentivaron la recolección y aprovechamiento del biogás surgieron de la necesidad de implementar medidas de control (La Feria, Lo Errázuriz, Lepanto) en operaciones deficientes y/o como iniciativas comerciales aisladas orientadas a mejorar la calidad del gas licuado local (El Molle), las cuales fueron abandonadas con el surgimiento de alternativas comerciales más atractivas, como el gas natural argentino. De hecho, históricamente estos rellenos fueron clasificados como vertederos debido a que su manejo distó mucho de lo que hoy se conoce como rellenos sanitarios controlados, y el cual mejoró mientras se hizo aprovechamiento del biogás (Bitrán & Asociados, 2003).

Recién en el año 2003 se ha comenzado a discutir un proyecto de reglamento de rellenos sanitarios, el cual aspira a uniformar y homogeneizar la manera en que los 282 sitios de disposición existentes en Chile son operados y como deberán ser construidos y operados

los futuros rellenos, y a establecer códigos de buenas prácticas acerca del manejo y control del biogás y su eventual aprovechamiento.

Con este reglamento, se espera superar la práctica general de Chile orientada al control de biogás sólo con fines de prevención de riesgos ambientales y sanitarios, la cual ha alcanzado proporciones apenas cercanas al 25% de la generación total del sector, y eventualmente incentivar el aprovechamiento del potencial del sector no sólo para generar energía, sino también para mejorar la gestión de los residuos y abatir emisiones de gases de efecto invernadero en el contexto del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto.

La experiencia internacional, en todo caso, confirma que esta alternativa es una realidad en muchos países desarrollados y aumenta año a año. Según el Banco Mundial, en América del Norte y Europa existen cerca de 1.115 plantas de energía cuyo combustible es el biogás de rellenos sanitarios y cada año más plantas entran en funcionamiento. Según la EPA, en EE.UU., actualmente existen en operación 333 proyectos de recuperación de energía de biogás, distribuidos en 229 proyectos con un total de 977 MW de capacidad de generación de electricidad y 104 proyectos con una potencia total de 45.807.500 MMBtu en uso directo (Bitrán & Asociados, 2003).

Adicionalmente se encuentran en construcción 40 proyectos más con una capacidad de generación de electricidad proyectada de 120 MW (28 proyectos) y 5.110.000 MMBtu (12 proyectos), y se espera que se concreten 184 proyectos en el futuro, con 89 generando electricidad (277 MW) y 95 usándolo directamente (30.112.500 MMBtu). En Europa por su parte, habría 573 MW de potencia instalada operando y se espera que se amplíe en 700 MW en los próximos años.

Para Sáez (2003), la historia energética de Chile a tomado diferentes rumbos según la disponibilidad de las reservas, de las tecnologías, de la hidrología y finalmente del impacto social que la sociedad a incorporado a su que hacer habitual.

A mediados de la década de los 80 se inició la preocupación por el medio ambiente y en particular de la calidad del aire de nuestra ciudad capital, el gran Santiago que se hizo mundialmente famosa por su alta contaminación del aire como producto de la

concentración de la actividad económica. El uso de combustibles no acordes con la tecnología en donde se utilizaban, pobre infraestructura de la ciudad y muchos otros factores en donde se debe destacar su ubicación geográfica que no permite una adecuada dispersión de los gases producto de la combustión de los combustibles utilizados en fábricas, vehículos, viviendas y comercio. Este escenario motivó que se iniciara una campaña en múltiples frentes para buscar una solución a este gran problema, entre los que se cuenta la búsqueda de combustibles cuyos productos de combustión impactaran menos al medio ambiente.

El acelerado desarrollo económico vivido durante la segunda mitad de los 80 hasta mediados de los 90, con tasas de crecimiento del orden del 7% demandó también mayores cantidades de electricidad y combustibles para sustentar las actividades económicas. Fue en esta época que se iniciaron los estudios para traer un nuevo combustible al país, el gas natural desde Argentina. Este combustible cambiaría toda la matriz de energías primarias.

El 7 de julio de 1995, los gobiernos de Argentina y Chile suscribieron el Protocolo de Integración Gasífera y Suministro de Gas Natural, acuerdo que selló la integración energética entre ambos países. Argentina se convirtió, entonces, en el único proveedor de gas natural para Chile. (AGNCHILE, 2006)

Durante el 2001, la principal zona de consumo de gas natural en el país fue la XII Región (4.116 millones de m³). En tanto, la zona Centro Norte del País consumió 3.693 millones de m³. Del total consumido a nivel nacional, el 71,4% fue importado desde Argentina, siendo el obtenido desde yacimientos de la cuenca magallánica chilena. (CNE, 2006)

Sin embargo, vulnerando las disposiciones del Protocolo del año 1995, las autoridades argentinas han adoptado una serie de decisiones que afectaron el normal suministro de gas hacia nuestro país, privilegiando su consumo interno, y que tuvieron su origen en la llamada “crisis del gas natural” que se remonta a la devaluación de la moneda argentina decretada por el Gobierno de ese país en enero de 2002, lo que terminó con la paridad entre el peso y el dólar. Esa situación derivó en una sustancial baja del precio del combustible –disminuyó su valor a un tercio-, lo que a su vez hizo explotar la demanda interna y desincentivó las inversiones. A ello se sumó el congelamiento de la tarifa del gas para el mercado interno. (AGNCHILE, 2006)

En medio del estrangulamiento energético en el que se vio sumido el país vecino, el Gobierno argentino decidió “cerrar la llave del gas” para Chile, decretando un racionamiento que se inició en marzo de 2004 y que se prolongó hasta octubre del mismo año, contraviniendo los contratos firmados entre ambos países y entre empresas privadas. La crítica situación alcanzó su punto culminé en el mes de mayo, cuando las restricciones llegaron al 50%. (AGNCHILE. 2006). Frente a esto, en el mediano y corto plazo será necesario lograr diversificar la matriz energética.

El potencial de aprovechamiento de biogás con fines energéticos en Chile es considerable si se considera que anualmente cerca del 85% de los 5.000.000 de toneladas de residuos domiciliarios son depositadas en rellenos sanitarios, de donde cálculos preliminares sugieren un potencial de generación de biogás total que podría alcanzar a un promedio de 580.000 toneladas anuales, o el equivalente a una potencia instalada de 144 MW (Valdés de F, *et al.* 2001).

En Chile la mayor parte de la energía eléctrica la abastecen el Sistema Interconectado Central (SIC), desde Taltal (III Región) a Chiloé, y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), en las I y II regiones, y una proporción menor se abastece a través de un sistema distinto en el extremo sur del país. El SIC cuenta con 20 centrales termoeléctricas que tienen una potencia instalada de 3547.6 MW, y 33 centrales hidroeléctricas que tienen una potencia instalada de 4694.8 MW. Esta información se resume en la tabla 9 que se muestra a continuación:

Tabla 9: Cuadro estadístico anual de potencia instalada según tipo de combustible.

SIC	Potencia Instalada Según Tipo de Combustible				
	Térmico (MW)			Hidráulico (MW)	
	Carbón	Petróleo	Gas	Pasada	Embalse
	837,7	528,6	2181,3	1301,4	3393,4

Fuente: Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC) del Sistema Interconectado Central. 1996 – 2005.

El potencial de generación de energética eléctrica a partir del biogás, mencionado anteriormente, permitiría adicionar a la oferta del país la proveniente de fuentes termoeléctricas menos contaminantes que las tradicionales. Cada vez que una unidad generadora a biogás fuese despachada para generar electricidad, esta tendería a

reemplazar la generación de una unidad a carbón, petróleo o gas natural, evitándose la contaminación que proviene del ciclo energético del correspondiente combustible, puesto que este no sería utilizado para generarla (Valdés de F, S. 2004).

Históricamente, se ha utilizado parte del biogás generado en algunos rellenos sanitarios con fines domiciliarios inyectándolo a la red de gas de ciudad (Renca, Lo Errázuriz y La Feria en Santiago, y El Molle en Valparaíso), o con fines industriales conduciéndolo hasta el usuario final (Lepanto en Santiago).

En su momento máximo, en 1995, esta acción permitió un consumo de 339 teracalorías anuales. Sin embargo, con la llegada del gas natural y su rápida expansión en estas regiones, al parecer el interés por el biogás decayó. En el año 2001 el biogás sólo permitió el consumo de 27 teracalorías. Presumiblemente, el hecho de que los principales rellenos de donde se extraía este gas hayan cerrado sus operaciones (Renca, La Feria y Lo Errázuriz) habría disminuido la oferta y la llegada del gas natural de Argentina (en 1997 a Santiago y en 1998 a Valparaíso) habría desplazado la demanda hacia esta nueva alternativa.

En la mayoría de los casos, el manejo del biogás producido en los rellenos sanitarios ha sido bastante primitivo, ocupándose chimeneas de captación junto a sistemas de recolección del gas que incluyen mecanismos de quemado de las emisiones antes de ser descargadas a la atmósfera. En los rellenos sanitarios Lo Errázuriz, La Feria y El Molle se utilizó el biogás para consumo domiciliario, mezclándose con el gas de ciudad obtenido del petróleo. Estas operaciones estuvieron a cargo de las compañías de gas locales quienes efectuaron la explotación y comercialización del biogás. En el caso del relleno sanitario de Lepanto el biogás se utilizó como combustible por una agroindustria emplazada cerca del relleno.

Respecto al uso de los rellenos sanitarios como centro productor de energía, no existe información disponible reciente que pudiera reflejar los parámetros que se consideraron para la implementación de los mecanismos de uso del biogás, sin embargo, en estudios efectuados en la década de los '80 por CORFO e INTEC se concluyó que a esa fecha el biogás generado en los rellenos sanitarios, sin tratamiento alguno, tendrían un costo de US\$7/106 Kcal. Por otro lado, en esos mismos estudios se estimó que a partir del gas

metano se podría abastecer 3.500 viviendas debido a que la capacidad de producción de gas alcanzaba los 28.000 m³/día.

En líneas generales se puede decir que Chile, recién comienza a identificar los beneficios económicos que trae consigo el adecuado manejo de los residuos sólidos (Bitrán & Asociados, 2003).

De lo anterior se desprende que las experiencias de recolección y aprovechamiento de biogás que han emergido en Chile lo han hecho como resultado de un proceso natural de aprendizaje sobre el manejo de los residuos sólidos domiciliarios y su posterior disposición final. En este proceso, los dueños de los rellenos sanitarios, incentivados por las autoridades sanitarias preocupadas por los impactos ambientales y los riesgos a la salud pública que se derivaban de operaciones deficientes, los mismos operadores y técnicos, apoyados por especialistas académicos, se complementaron con agentes comerciales interesados en dar uso al biogás, para llevar adelante las experiencias que se describen en este estudio. Así mismo, el proceso de abandono de estas experiencias y el hecho de que ellas no se replicaran posteriormente, también respondió a un proceso natural donde este tipo de emprendimientos fueron perdiendo competitividad frente a alternativas más económicas que fueron apareciendo con el desarrollo del mercado energético local, y en la medida que los operadores y dueños de los rellenos sanitarios utilizados fueron perdiendo el interés en continuar con estos procesos y concentrándose en el desarrollo de nuevos sitios y en la reincursión de los terrenos de los rellenos ya clausurados.

4.14 Modelación para la producción de gas de vertedero.

Los modelos matemáticos son herramientas útiles y económicas para la estimación del potencial de generación de biogás en sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios. Los resultados del modelo pueden también ser usados para evaluar los riesgos potenciales asociados a la migración/emisión de este gas, y para evaluar la factibilidad del proyecto de administración del gas de vertedero (ESMAP, 2004).

Hay disponibles numerosos modelos para calcular la producción del gas de vertedero. Todos estos modelos pueden ser usados para elaborar una curva de generación que

permita predecir su comportamiento y cambios a lo largo del tiempo. La totalidad del gas existente y la tasa a la cual es generado puede variar de alguna manera según los diferentes modelos que se usen, no obstante, el parámetro de entrada que es común a todos ellos es el de la cantidad de residuo que es degradable. Los demás parámetros de entrada pueden variar dependiendo del modelo que se use, pero por lo general, estos están determinados por un número de variables incluyendo las que inciden directamente en la generación del gas, incertidumbres en la información disponible sobre el sitio, y la forma en que la operación de extracción afecta la generación en sí misma, en los casos en que se induce infiltración de aire. Otro factor importante es el espacio de tiempo que se asume entre el momento de la disposición del residuo y el comienzo de la descomposición anaeróbica o fase metagénica dentro de la masa de residuo. (Augenstein, 1990)

La heterogeneidad y naturaleza variable de todos los rellenos conlleva una dificultad que es inherente a la confiabilidad de los datos que se recolectan sobre el sitio, la cual está ligada a la disponibilidad de un continuo desembolso de recursos para adelantar dicha actividad. Cualquier resultado del modelo será aceptable en la medida que lo sean los datos de entrada, aunque muchas veces estos parten de hipótesis generales en cuanto a la estimación inicial de las cantidades y tipos de residuo. Por lo tanto, es recomendable usar un modelo simple que utilice pocos parámetros y que puedan ser razonablemente asignados de acuerdo con las condiciones específicas del sitio. La predicción del resultado de cualquier modelo depende en mayor medida del grado de precisión que se requiera, de la confiabilidad de los datos de entrada, de la experiencia individual para analizar los datos, y del grado de similitud que exista entre el sitio objeto de estudio y otros sitios que ya hayan sido exitosamente modelados. (Zison, 1990)

Todos los modelos que se usan para determinar la tasa de producción estimada del gas de vertedero deben ser objeto de un completo análisis de sensibilidad con miras a determinar un rango aceptable de resultados y establecer cuáles parámetros ejercen mayor influencia en los cálculos de la producción de este gas. La identificación de parámetros sensibles puede requerir una recolección de datos confiable y adelantar posteriores refinamientos en las predicciones de la producción del gas. Dada la naturaleza heterogénea de las condiciones dentro del relleno y las típicas limitaciones respecto de los datos de entrada que normalmente se encuentran en un sitio candidato, es

recomendable establecer un rango de valores aproximado y adelantar un análisis de sensibilidad que refleje las condiciones esperadas de generación de gas. Usando los límites más altos y más bajos en la generación versus el perfil de tiempo basado en las condiciones probables dentro del relleno, es posible asignar valores y escoger datos de entrada que sean representativos como para considerarlos en una primera evaluación del potencial de un sitio, así como para establecer oportunamente qué factores de riesgo pueden surgir (ESMAP, 2004).

El Landfill Methane Outreach Program (LMOP) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) recomienda varios métodos para estimar con mayor o menor precisión la generación de biogás en sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios. El “Método A: Aproximación Simple” es, como su nombre lo indica, una aproximación gruesa basada en la cantidad de basura depositada en un relleno. El procedimiento se basa en una razón empírica entre cantidad de basura y flujo de biogás observada en los muchos y variados proyectos de recuperación de biogás de rellenos sanitarios estudiados por este programa. Es un reflejo de las características del relleno promedio y puede no representar con precisión las distintas características de la basura, el clima y otras variables que pueden estar presentes en un relleno específico. En general, la EPA recomienda utilizar esta regla sólo como un proceso preliminar para determinar si es necesario utilizar métodos más complejos (Valdés de F, S. 2004).

El segundo método simple es el “Método B: Modelo de degradación de primer orden”, el cual sí puede ser usado para contabilizar el cambio en la tasa de generación de biogás de acuerdo a la vida útil del proyecto de relleno (Valdés de F, S. 2004). El modelo de degradación de primer orden es más complicado que la gruesa regla anterior y requiere de mayor conocimiento de las características del relleno, al menos en lo que se refiere a las siguientes cinco variables:

- Promedio anual de recepción de basura;
- Número de años que el relleno lleva abierto;
- Número de años que el relleno lleva cerrado, sin recibir basura, si corresponde;
- Potencial de generación de metano de la basura; y
- Tasa de generación anual de metano de la basura.

4.14.1 Modelo de biogás Mexicano (México LGF Model)⁶

LMOP desarrolló el Modelo de Biogás Mexicano en colaboración con la Agencia Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) y otras agencias gubernamentales mexicanas para ayudar a operadores y dueños de rellenos sanitarios a evaluar la viabilidad y los beneficios en la captación y uso del biogás como fuente de energía. En forma similar al Modelo LandGEM, un modelo de la USEPA para estimar la cantidad de gases emitidos en rellenos sanitarios en los Estados Unidos, el Modelo de Biogás Mexicano proyecta la generación y recuperación de biogás máxima basándose en factores tales como la cantidad de residuos sólidos depositados en el relleno sanitario, cantidad anual de residuos sólidos recibidos, el índice de generación de metano (k), y el potencial de generación de metano (L_0). El Modelo de Biogás Mexicano refleja las diferencias entre los residuos sólidos de México y los EEUU. Los altos niveles de materia orgánica y alto contenido de humedad que existe en los rellenos sanitarios mexicanos afectan la generación del biogás en los rellenos sanitarios (EPA, 2006).

Para sitios en que se sepa o se estimen los índices de disposición año a año, el modelo estima la generación de biogás en un año, usando la siguiente ecuación:

$$Q_m = \sum_{i=1}^n 2 k L_0 M_i (e^{-kt})$$

⁶ Se escogió este modelo por considerar la tipología tanto de los desechos sólidos como la estructura de los vertederos en Chile más cercana a la configuración mexicana (Ver Tabla 3).

Donde:

$\sum_{i=1}^n$ = Suma desde el año de apertura hasta el año de proyección (n).

Q_m = Máximo caudal de generación esperada de gas de vertedero en (m³/año).

K = Constante de generación de metano (1/año).

L_0 = Potencial de generación de metano (m³/ton).

M_i = Masa de residuo dispuesto en el año ith (ton).

t_i = Cantidad de años que han sido dispuestos desechos (años)

El Modelo de biogás Mexicano necesita datos específicos de cada uno de los sitios de disposición para producir las proyecciones de generación. Para k y L_0 esto es diferente, debido a que el modelo entrega valores por defecto para estas constantes. Estos valores se basan en datos obtenidos de vertederos representativos de México, y la relación entre estos con el promedio de precipitaciones se ha obtenido analizando los vertederos de Estados Unidos. Los valores variarán dependiendo del promedio anual de precipitaciones y podrán ser utilizados para producir proyecciones de generación de biogás en distintas regiones con características similares.

4.14.2 Generación de gas de vertedero

Este modelo estima la generación de biogás producida por la descomposición anaeróbica de la basura en sitios de disposición de residuos sólidos. Asume una composición del gas de vertedero de un 50% de metano (CH_4) y un 50% de otros gases, incluyendo dióxido de carbono y trazas de otros componentes.

Este modelo utiliza la ecuación de descomposición de primer orden y estima la generación de gas de vertedero en metros cúbicos por minuto (m^3/min) y en metros cúbicos por hora (m^3/hr). También estima el contenido de energía en el biogás en billones de joules por año (GJ/año). La generación de biogás es estimada multiplicando la generación de metano por dos (se asume que el biogás es mitad metano y mitad dióxido de carbono). La generación de metano es estimada a partir de dos parámetros: (1) L_0 es el potencial de generación de metano de la basura, y (2) k es la constante de generación de metano. Se asume que el índice de generación de metano tiene su peak al momento de la clausura, o al momento de dejar de recibir basura.

La constante de generación de metano, k , determina el índice de generación de metano a partir de la degradación de los desechos en los vertederos. La unidad para k es $año^{-1}$, lo que significa que su valor describe el rango en el cual la basura dispuesta en un vertedero, pasado un año, va siendo consumida y produce gas metano. Mientras mayor sea el valor de k , mayor será la generación de metano (mientras el vertedero este recibiendo basura) y luego disminuye (una vez que el vertedero cerró) a través del tiempo. El valor de k está en función de los siguientes factores:

1. Humedad contenida en la basura,
2. Disponibilidad de nutrientes para las bacterias metanogénicas,
3. pH y
4. Temperatura.

Los siguientes valores de k son usados por el programa, dependiendo del promedio de precipitaciones anuales de la zona en que se encuentre el vertedero:

Tabla 10: Valores de la constante de generación de metano.

Precipitación Anual (mm/año)	k
0 – 249	0.040
250 – 499	0.050
500 – 999	0.065
más de 1000	0.080

Fuente: Manual de Usuario Modelo Mexicano de Biogás, 2003.

En teoría, los valores para la capacidad de generación de metano de la basura (L_0) depende solo del tipo de basura presente en el vertedero. Mientras mayor sea el contenido de celulosa, mayor será el valor de L_0 . En la práctica, el valor teórico puede no ser alcanzado en climas secos donde la falta de humedad inhibe la acción de las bacterias metanogénicas. L_0 está en metros cúbicos por tonelada de basura (m^3/ton), lo que significa que describe la cantidad total de metano generado a partir de una tonelada de residuos (no especifica límites de tiempo).

Los siguientes valores de L_0 son usados por el programa, dependiendo del promedio de precipitaciones anuales de la zona en que se encuentre el vertedero:

Tabla 11: Valores de la capacidad de generación de metano.

Precipitación Anual (mm/año)	L_0
0 – 249	60
250 – 499	80
más de 500	84

Fuente: Manual de Usuario Modelo Mexicano de Biogás, 2003.

4.15 Estimación de la eficiencia del sistema de recolección

En el Manual de Usuario del Modelo Mexicano de Biogás, se establece que la eficiencia del sistema de recolección es la capacidad que tiene el sistema para capturar el gas generado por el vertedero. La eficiencia es el porcentaje aplicado a la proyección de generación de biogás para calcular la cantidad de biogás que puede ser capturado para después ser quemado o utilizado para uso beneficioso. A pesar de que la captura de biogás puede ser medida, la generación de biogás en el vertedero no puede ser medida (esta es la razón por la que este modelo estima la generación que existe); debido a esto existe una incertidumbre considerable en cual puede ser la eficiencia de recolección que un sistema puede alcanzar.

En respuesta a esta incertidumbre, la U. S. EPA (EPA, 1998) ha publicado lo que cree son eficiencias razonables para sistemas de recolección instalados en rellenos de los Estados Unidos y que cumplen con los estándares americanos de diseño. De acuerdo con la U. S. EPA, la eficiencia de recolección en estos rellenos varía típicamente entre 60% y 85%, con un promedio de 75%. La Tabla 12 muestra como determinar la eficiencia de recolección usando las características del relleno sanitario y deduciendo porcentajes en rellenos sanitarios que no cuenten con estas características. Por ejemplo, Si un relleno sanitario cuenta con todas las características listadas, la eficiencia estimada sería 85%.

Tabla 12: Eficiencia de Recolección en Vertederos

Nº	Características del vertedero	Eficiencia del sistema de recolección		
		85%	75%	50%
1	Cubierta de la plantilla (base) consistiendo de material sintético (plástico) sobre 0.6 metros de arcilla o un material similar	●		
2	La migración del biogás fuera del vertedero es insignificante	●		
3	Sistema de recolección de biogás operando eficientemente con todos los pozos de extracción operables y en buen funcionamiento	●	●	
4	Compactación diaria aplicada a los residuos dispuestos	●	●	●
5	Cobertura diaria aplicada a los residuos dispuestos	●	●	●

Fuente: Manual de Usuario Modelo Mexicano de Biogás, 2003.

4.16 Conversión energética del gas de vertedero.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1996), en su manual para el desarrollo de proyectos energéticos a partir del gas de vertedero, establece una conversión del flujo de biogás en potencial de generación de energía eléctrica, la cual se explica a continuación:

- 1. Estimación del potencial de generación de energía bruta:** Esta es la capacidad instalada de generación de energía que el flujo de biogás puede soportar. No explica las cargas parasitarias de los sistemas auxiliares ni del equipamiento. El potencial de generación de energía bruto se estima utilizando la siguiente fórmula

Energía Bruta (kWh)	=	Flujo de biogás	x	Contenido de energía contenido en el gas	x	$\frac{1}{\text{Tasacalorífica}}$	x	$\frac{1}{24 \text{ hrs}}$
------------------------	---	--------------------	---	--	---	-----------------------------------	---	----------------------------

Donde:

- *Flujo de biogás*, es la cantidad neta de gas de vertedero por día que es capturado por el sistema de recolección y entregado al equipo de generación de energía.
- *Contenido de energía contenido en el gas de vertedero*, el cual es aproximadamente 500 BTU por pie³.
- *Tasa calorífica*, corresponde a 12.000 BTU/kWh para motores de combustión interna, la cual es la tecnología más utilizada para la recuperación energética del biogás.

- 2. Estimación del potencial neto de generación de energía:** Este es el potencial de energía bruto menos las cargas parasitarias de los compresores y de otros equipos auxiliares. Las cargas parasitarias son de alrededor de un 2% para motores de combustión interna.

- 3. Estimación del factor anual de capacidad:** Esta es la cantidad de horas al año en que el equipo de generación de energía esta produciendo electricidad en su capacidad clasificada. Los factores anuales típicos de capacidad para proyectos de gas de vertedero se extienden entre el 80 y el 95% y se basan en los valores de interrupción del generador, en la disponibilidad del gas y en el diseño de la planta. El factor anual de la capacidad asumido normalmente es de un 90%.

4. Estimación de la electricidad anual generada: Esta es la cantidad de electricidad generada por año, medida en kWh, tomando en cuenta la recuperación energética del equipo a través del tiempo. Es calculado multiplicando el potencial neto de generación de energía por el número de horas operacionales en un año. Así:

Electricidad anual generada (kWh)	=	Potencial Neto (kW)	x	24 hrs/día	x	365 días/año	x	90%
---	---	------------------------	---	------------	---	-----------------	---	-----

Capítulo 5

Metodología

5. METODOLOGÍA

La metodología empleada para realizar este proyecto, considera la obtención de información en instituciones relacionadas con la gestión de los residuos domiciliarios y de bibliografía técnica nacional e internacional.

El enfoque metodológico que se presenta en la Figura 9 permitirá generar nuevos antecedentes para la evaluación de una alternativa energética a partir de los residuos.

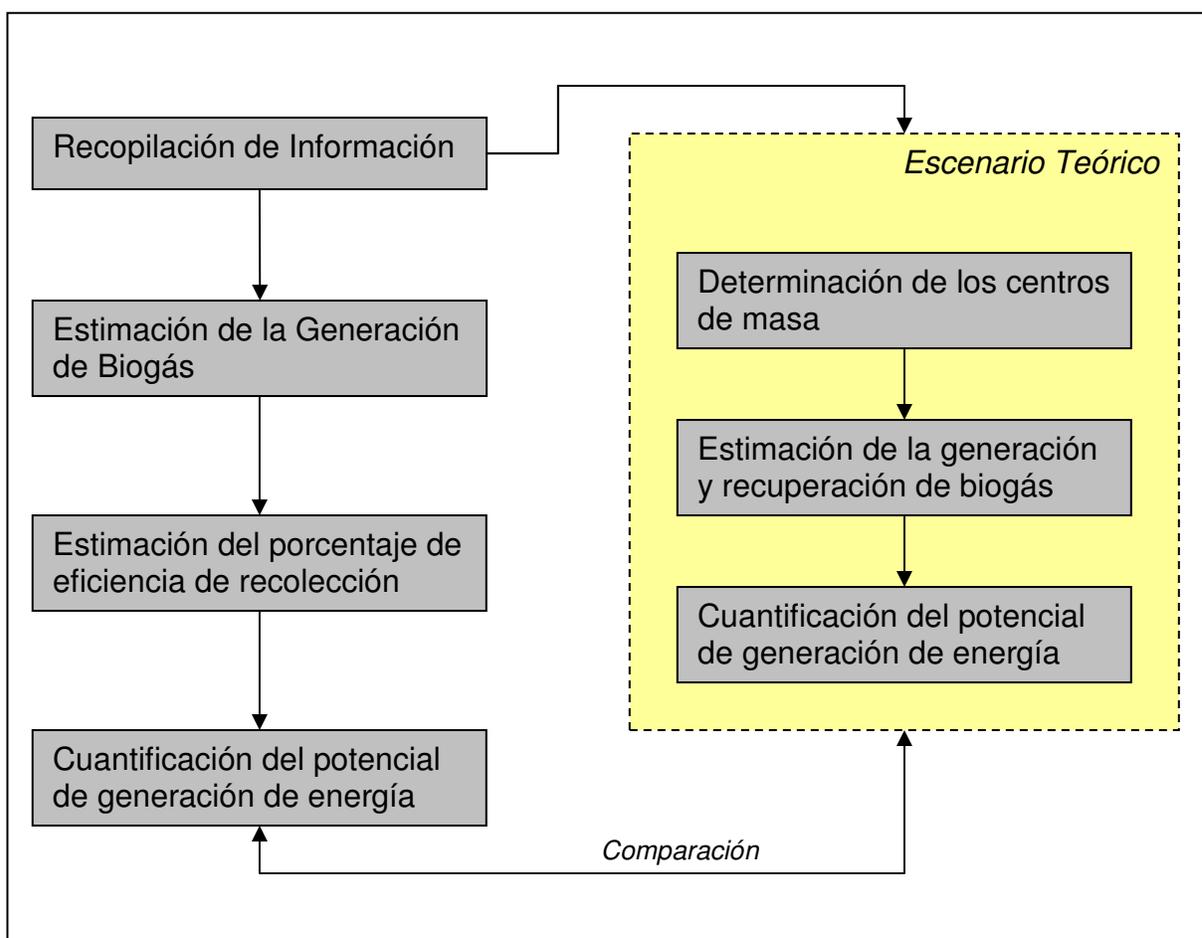


Figura 9: Diagrama de etapas para cumplir con los objetivos de este proyecto. Elaboración propia.

Etapas:

- **Recopilación de la información existente:** Se recopiló la información necesaria a través del trabajo realizado el segundo semestre del año 2005 por la Secretaría Ejecutiva Región de Valparaíso para la implementación de la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

- **Estimación de la generación de biogás:** Se estimaron las proyecciones de generación de biogás, para cada uno de los vertederos presentes en nuestra región, utilizando el Modelo Mexicano de Biogás (México LFG Model) aprobado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos el año 2003. Este Modelo fue escogido por la similitud en la composición de los residuos sólidos domiciliarios como en la estructura de los vertederos en Chile con la configuración mexicana, y fue alimentado a partir de:
 - a. Información obtenida a través de la Secretaría Ejecutiva Región de Valparaíso,
 - b. Experiencias en sitios de disposición con características similares en la Región, tal es el caso del proyecto de desgasificación del vertedero de Lajarilla ubicado en la ciudad de Viña del Mar,
 - c. Relaciones teóricas presentes en la literatura especializada para la obtención de los valores del índice de generación de metano (k) y la generación potencial de metano (L_0), en relación a la precipitación promedio anual de la región.

- **Estimación del porcentaje de eficiencia del sistema de recolección:** Se realizó una clasificación, dependiendo del sistema de operación de cada uno de los sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios en la Región de Valparaíso, esta fue realizada en base a las recomendaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para obtener la eficiencia estimada del sistema de recolección, asignándose de esta manera porcentajes de recuperación de biogás para cada uno de estos sitios, el cual consistió en el flujo de biogás que puede ser transformado a energía eléctrica.

- **Cuantificación del potencial de generación de energía a partir del biogás:** Se estimó la cantidad de energía eléctrica que sería generada anualmente, medida en kWh, tomando en cuenta el flujo de biogás capturado por el sistema de recolección, el contenido de energía contenido en el biogás y la tasa calorífica de los motores de combustión interna, las cuales son recomendaciones establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para la conversión energética del flujo de biogás.

- **Creación de un escenario teórico:** Se creó un escenario teórico dentro de la Región de Valparaíso, en cuanto al sistema de disposición final de residuos sólidos domiciliarios que permitió comparar el potencial de generación de energía eléctrica a partir de la situación actual, vale decir teniendo 13 sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios, con este escenario en donde solo son dos sitios de disposición que atenderán a la Región. Para construir este escenario se llevaron a cabo las siguientes etapas:
 - a. **Determinación de los centros de masa:** Se dispuso el término centro de masa para ubicar los puntos equidistantes en cuanto a las toneladas anuales que recibe cada sitio de disposición de residuos sólidos domiciliarios y a las distancias que existen entre cada uno de ellos. Centro de masa es un elemento de las ciencias de la física, que corresponde al punto donde puede considerarse que esta concentrada toda la masa de un cuerpo para estudiar determinados aspectos de su movimiento.

La Región de Valparaíso fue dividida en dos, por una parte se agruparon las provincias de San Antonio, Valparaíso y Quillota y por otra las provincias de San Felipe, Petorca y Los Andes, una vez hecha esta división se determinó un centro de masa para cada división, a partir de las coordenadas UTM y de las toneladas anuales de cada uno de los sitios de disposición presentes en cada provincia.

En la determinación de este elemento físico se utilizará todo el universo de datos, vale decir, todos los sitios de disposición que actualmente funcionan en la Región.

La fórmula de centro de masa aplicada a conjuntos de elementos puntuales que tienen asociada una determinada cantidad de masa es:

$$C.M. = \sum ((r_i * m_i) / M)$$

De la cual se desprenden:

$$X_{cm} = \sum ((x_i * m_i) / M)$$

$$Y_{cm} = \sum ((y_i * m_i) / M)$$

Donde,

r_i = Ubicación en un sistema de referencia cartesiano del punto i -ésimo, incluido en el análisis de la determinación del centro de masa,

x_i = Ubicación en la abscisa de un sistema de referencia cartesiano del punto i -ésimo, incluido en el análisis de la determinación del centro de masa,

y_i = Ubicación en la ordenada de un sistema de referencia cartesiano del punto i -ésimo, incluido en el análisis de la determinación del centro de masa,

m_i = masa correspondiente al punto en la ubicación r_i ,

M = corresponde a la suma algebraica de las masas de cada punto, en el análisis de la determinación del centro de masa,

X_{cm} = ubicación en la abscisa de un sistema de referencia cartesiano del centro de masa, y,

Y_{cm} = ubicación en la ordenada de un sistema de referencia cartesiano del centro de masa.

- b. **Estimación de la generación y recuperación de biogás:** Obtenidos ambos centros de masa, los que constituyen la ubicación de los sitios teóricos de disposición, se suman los índices de disposición de cada vertedero presente en las respectivas provincias, generando de esta manera un índice total que mediante el Modelo Mexicano de Biogás, entregó las proyecciones de generación de biogás para este escenario teórico, a las cuales le fueron asignadas porcentajes de recuperación en base a las recomendaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- c. **Cuantificación del potencial de generación de energía a partir del biogás:** De la misma manera en que se cuantificó la cantidad de electricidad que sería generada anualmente por cada vertedero, se cuantificó para este escenario teórico.

Capítulo 6

Resultados y Discusión

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Situación actual de los sitios de disposición

La Región de Valparaíso es la segunda a nivel nacional, luego de la Región Metropolitana, en generar residuos sólidos. Para su tratamiento y disposición final la Región cuenta con 16 vertederos, de los cuales 3 son insulares. Ninguno de estos sitios es un relleno sanitario que cuente con las condiciones adecuadas para cuidar el medio ambiente y la salud de la población.

El 21 de junio de 2005, en cumplimiento de lo dispuesto en la Resolución Exenta N° 683 de la Dirección Ejecutiva de la CONAMA, se constituye la Secretaría Ejecutiva Región de Valparaíso para la Implementación de la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, con la finalidad de ejecutar las tareas de corto y largo plazo contempladas en ésta y coordinando para ello a los distintos servicios públicos involucrados: Seremis de Economía, Salud y Vivienda y Urbanismo, la Asociación de Municipalidades de la Región de Valparaíso y CONAMA.

Esta Secretaría Ejecutiva decidió elaborar un **Plan Maestro de Gestión Integral de Residuos Sólidos**, y para cumplir con esta tarea se planteó la creación de dos subcomités coordinados, siendo uno de ellos el “Comité de Soluciones Integrales” y el otro el “Comité de Contingencia”. El primero encargado principalmente de proponer entre los organismos públicos relevantes, el marco estratégico para la supervisión e intervención de la gestión actual de los sitios de disposición, y el segundo, encargado de abordar la situación actual de la Región desde la mirada de corto plazo, analizando la situación de la totalidad de los vertederos de la Región y el término de la operatividad de cada uno de ellos.

La obtención de datos para la realización de este proyecto fue a través de los datos generados por el *Equipo de Contingencia*, el cual procedió a la revisión de antecedentes, a sistematizar y analizar la información elaborada previamente por la Comisión Regional de Residuos Sólidos, complementándola y actualizándola a partir de los datos entregados por la Autoridad Sanitaria, los cuales consistían en carpetas con el historial de cada vertedero, desde su autorización, fiscalizaciones efectuadas, hasta los procesos de

sumarios sanitarios incoados; y de la Asociación de Municipalidades, consistentes en contratos de aseo vigentes y situación presupuestaria en aseo. Cabe destacar además, las entrevistas realizadas a distintas empresas y a expertos relacionados con el tema y las visitas a cada uno de los sitios de disposición de residuos sólidos domiciliarios en la Región de Valparaíso.

Las visitas fueron realizadas en el segundo semestre del 2005 y como resultado de estas, se logro establecer la actual situación de los sitios de disposición final de residuos sólidos domiciliarios en la Región de Valparaíso, entre los puntos más relevantes encontramos:

- Actualmente, la Región cuenta con 16 vertederos, los cuales se encuentran operativos. Esto sin contar el previo cierre de 4 instalaciones, como son Lajarilla, Papudo, Cónca y Las Bandurrias.
- De la situación actual de los vertederos de la Región, información obtenida a través del trabajo realizado por el Equipo de Contingencia, el resumen en cuanto a cumplimientos mínimos de operación según la normativa vigente es el siguiente:

- En cuanto a la cobertura, el 50% de los sitios de disposición lo realiza diariamente, en un 42% es insuficiente y en el 8% restante es eventual. Esto se grafica en la Figura 10:

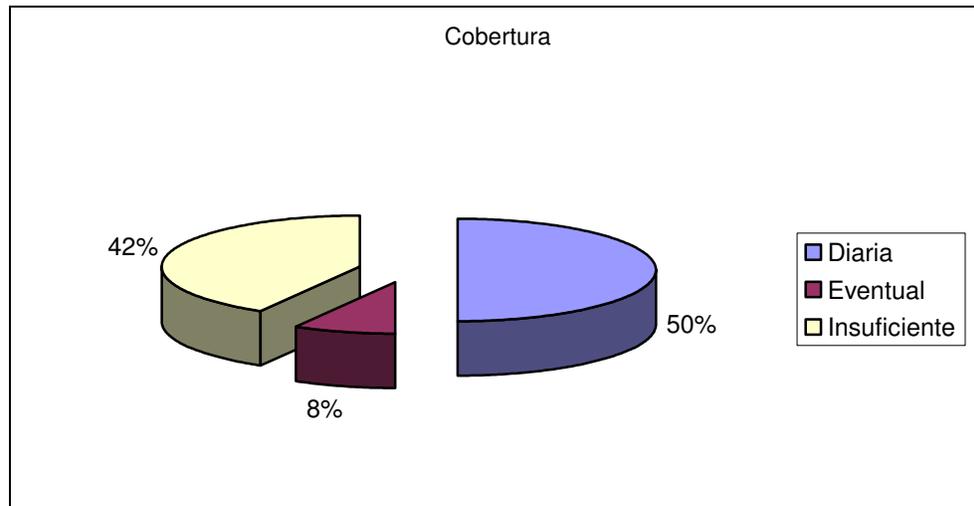


Figura 10: Estado de la cobertura en los vertederos de la Región de Valparaíso.

- En cuanto a la compactación de los residuos en los sitios de disposición, el 58% lo realiza de manera diaria y 42% de una manera eventual. Esto se grafica en la Figura 11:

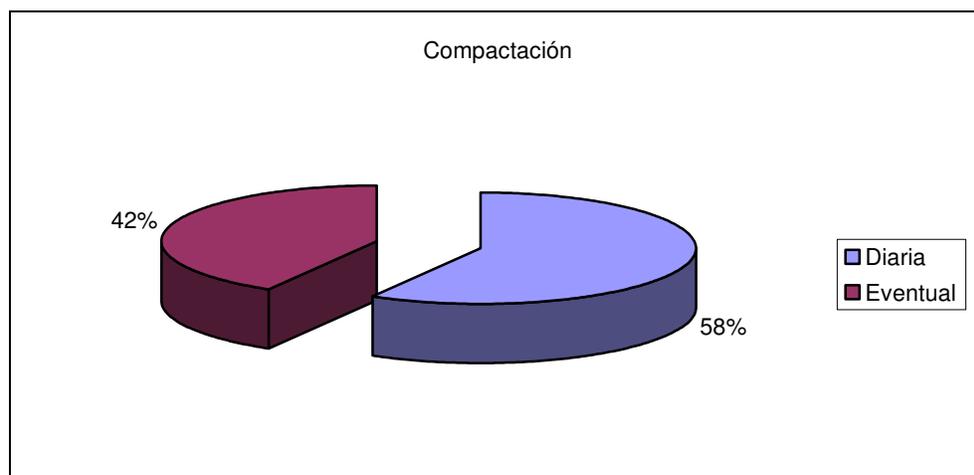


Figura 11: Estado de la compactación en los vertederos de la Región de Valparaíso.

- En cuanto al cierre perimetral, el 50% de los sitios de disposición posee cierre y el 50% restante no lo tiene. Esto se grafica en la Figura 12 :

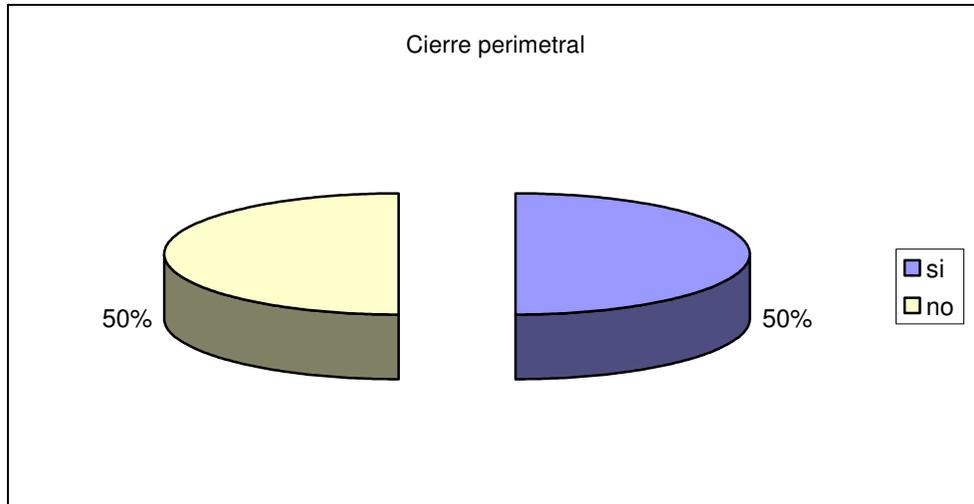


Figura 12: Estado del cierre perimetral en los vertederos de la Región de Valparaíso.

- En cuanto a la presencia de chimeneas, el 50% de los sitios de disposición cuenta con chimeneas y el 50% restante no cuenta con ellas. Esto se grafica en la Figura 13:

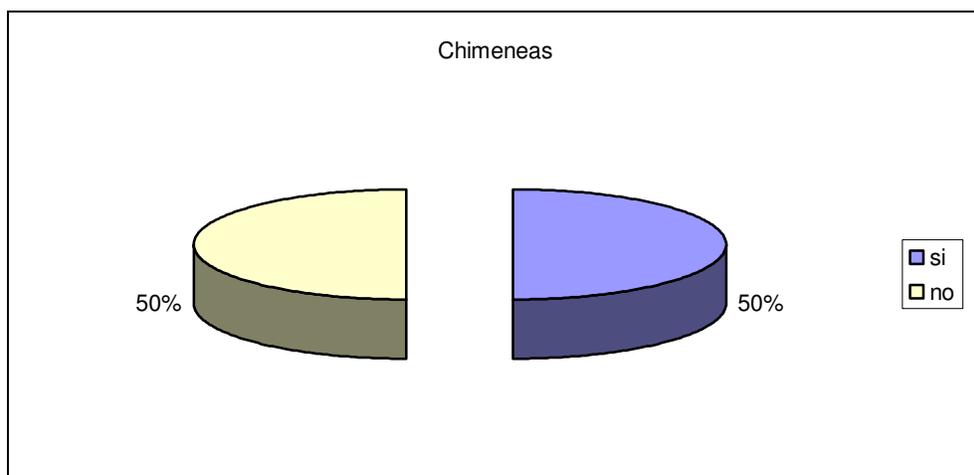


Figura 13: Presencia de chimeneas en los vertederos de la Región de Valparaíso.

- En cuanto al acceso controlado, 71% de los sitios de disposición si lo tiene y 29% restante no tiene el acceso controlado. Esto se grafica en la Figura 14:

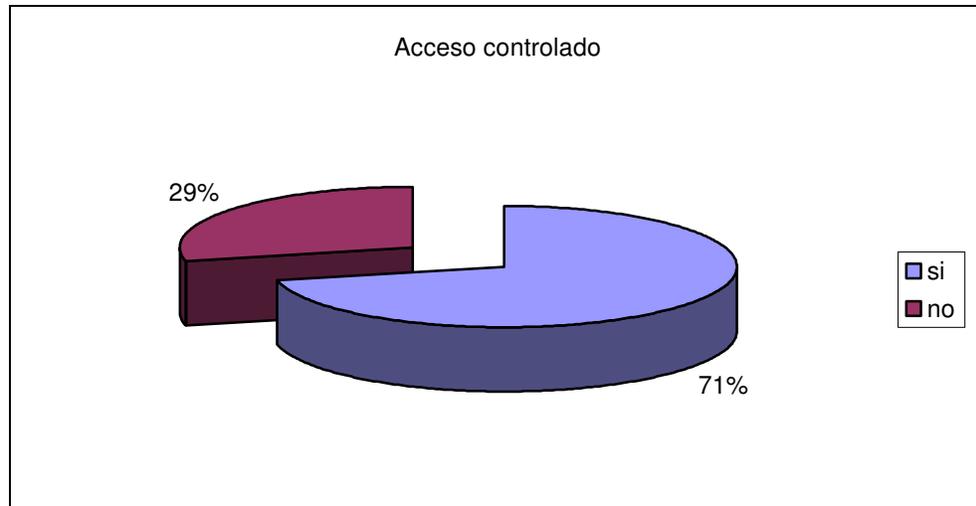


Figura 14: Control en el acceso a los vertederos de la Región de Valparaíso.

- En cuanto a la presencia de animales, 29% de los sitios de disposición tiene presencia de animales, el 71% restante presenta una ausencia de animales dentro del sitio. Esto se grafica en la Figura 15:

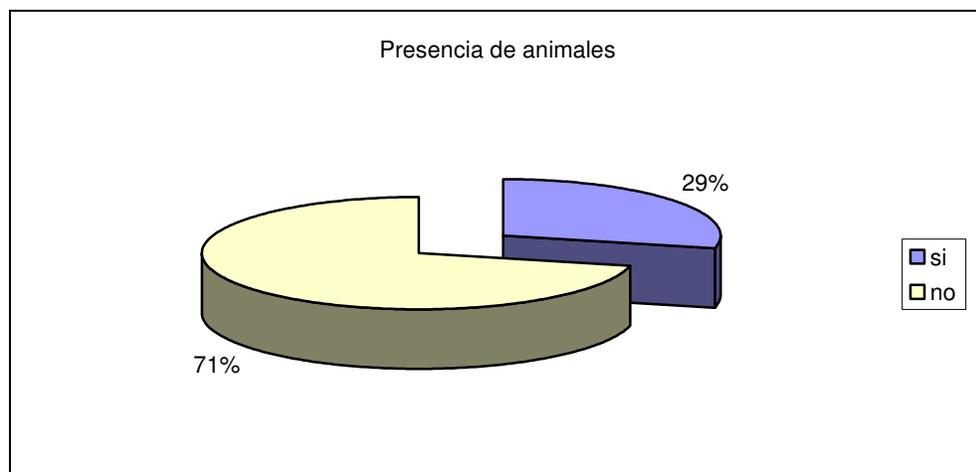


Figura 15: Presencia de animales en los vertederos de la Región de Valparaíso.

- En cuanto a sistemas de recolección de lixiviados, 21% de los sitios de disposición cuenta con estos sistemas, el 79% restante no cuenta con sistema. Esto se grafica en la Figura 16:

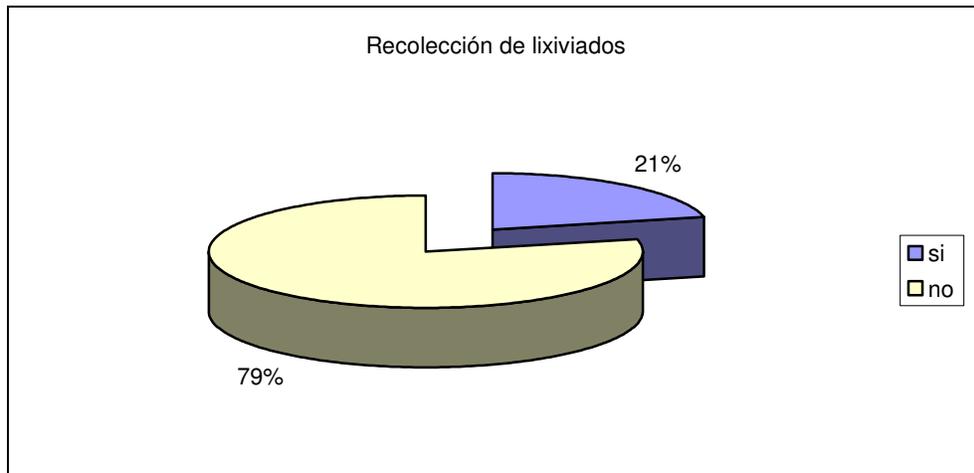


Figura 16: Recolección de lixiviados en los vertederos de la Región de Valparaíso.

- En cuanto a si se realiza separación en los sitios de disposición final, el 43% de los sitios de disposición lo realiza y el 57% restante no lo realiza. Esto se grafica en la Figura 17:

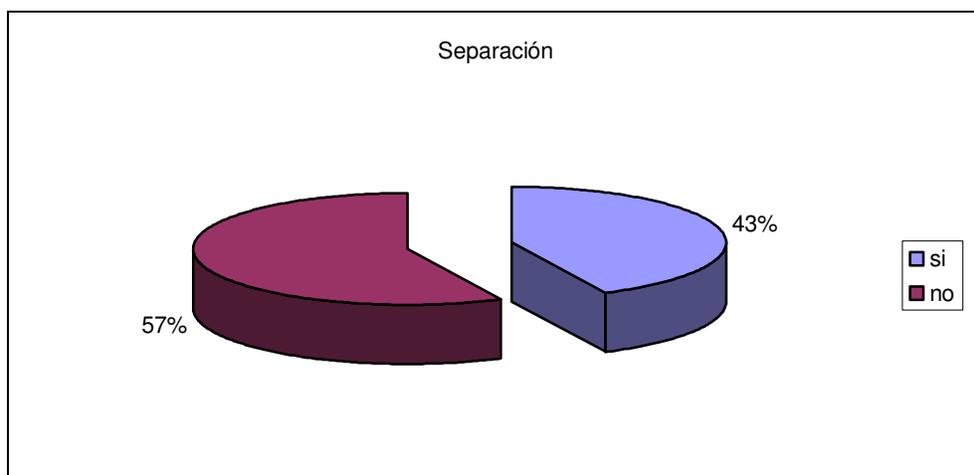


Figura 17: Estado de la separación en los vertederos de la Región de Valparaíso.

La alta variabilidad en cuanto a los cumplimientos mínimos de operación recientemente expuestos, se debe principalmente a que la responsabilidad de la gestión de los residuos sólidos domiciliarios recae en las municipalidades. Las funciones asociadas a la facturación, recaudación y cobranza son realizadas por el municipio contratante. Este modelo de gestión no ha estado exento de problemas, en particular porque objetivos de eficiencia económica se mezclan inadecuadamente con objetivos de corto plazo, lo que ha acarreado como consecuencia que la eficiencia técnica (reducción de los costos de producción y promoción del mejor manejo de los residuos sólidos domiciliarios) no este garantizada. Los municipios no explicitan o no disponen de instrumentos que permitan visualizar los costos de manejo de residuos. Además, las dificultades que impone la cobranza de los derechos de aseo, tiende a que operen con criterios discrecionales más que con un diseño de equidad social y eficiencia económica.

Por otro lado, la falta de coordinación e integración entre municipios contiguos para generar economías de escala, hace que el costo de la disposición final de los residuos domiciliarios sea más alto de lo necesario.

A su vez, los Servicios de Salud son los encargados de fiscalizar las instalaciones de manejos de residuos, sin embargo, cabe mencionar que existen grandes diferencias entre los tipos y cantidades de residuos que se generan en cada una de sus jurisdicciones, así como en los problemas asociados en su manejo.

En la Tabla 13 se presentan las fichas de los vertederos actualmente operativos en la Región, separados por provincia, lo cual es el resultado del trabajo realizado por el Equipo de Contingencia. Con estos datos lograremos proyectar la generación de biogás, mediante el Modelo de biogás Mexicano:

Tabla 13: Ficha general de los vertederos de la Región de Valparaíso.

Provincia	Nombre	Ubicación	Año inicio	Año cierre	Capacidad (Ton/mes)	Comunas atendidas	Población atendida
Valparaíso	Vertedero El Molle	Ruta 60 CH, "Camino la Pólvora", Valparaíso	1983	2008	16.800	Valparaíso, Viña y Con-Cón	593.273
	Vertedero De Marco	Fundo El Sauce, Belloto Norte	1993	2009	4.500	Quilpué y Villa Alemana	224.201
	Basural de Quintero	Camino Público a Quintero	1984	2005	1.143	Quintero	21.174
	Vertedero de Puchuncaví	Ruta F 180 Camino a Valle Alegre	1993	2010	359	Puchuncaví	12.954
	Vertedero Municipal de Casablanca	Parcela 6B ex fundo mirador.	1985	2005	610	Casablanca	21.874
Quillota	Vertedero San Pedro	Fundo Los Hermanos, sector Lo Valencia.	1996	2008	3.144	Nogales, Hijuelas, La Calera y Quillota	175.917
	Vertedero Intercomunal de Limache	Fundo La Gloria	1996	2006	1.355	Limache, La Cruz, Olmué, La Ligua, Papudo y Zapallar	108.429
Petorca	Vertedero de Chicolco	Llano los Cáceres Km. 1	1989	2006	136	Petorca	9.420
	Vertedero de Cabildo	Ruta que une Cabildo con Petorca	1993	2006	272	Cabildo	18.916

San Felipe	Vertedero La Hormiga	A 5 Km de San Felipe, cerro la Hormiga	1994	2015	4.600	Calle Larga, San Esteban, Catemu, Panquehue, San Felipe, Putaendo, Llay Llay, Rinconada y Los Andes	185.998
	Vertedero de Tabolango	A 7 Km. De Santa María	1993	2010	250	Santa María	12.813
San Antonio	Vertedero de Cartagena	Hijuela N°4 Ex fundo lo Huidobro, Altos de Cartagena	1991	2005	11.619	Santo Domingo, San Antonio, Algarrobo, Cartagena, El Quisco y El Tabo	142.257

Fuente: Secretaria Regional Ministerial de Salud, Región de Valparaíso.

6.2. Estimación de la generación de biogás.

A continuación se presentan los resultados obtenidos, a través del Modelo de Biogás Mexicano, en relación a las proyecciones de generación de biogás para cada uno de los vertederos de nuestra región.

Debido a la escasez de información específica se han definido los siguientes criterios para calcular la generación potencial de biogás:

Criterio 1. Cantidad de residuos recibidos en los vertederos: En los catastros no se registran los datos históricos de recepción de basura, pero si se cuenta con las toneladas anuales del año 2005, con estos datos más el de la producción per capita presente en la revisión bibliográfica, la cual da cuenta de un aumento del 4% anual en la generación total de basura, se logró estimar las toneladas desde el año de inicio de las actividades de cada uno de los vertederos presentes en la Región.

Criterio 2. Falta de información sobre la vida útil y/o años de operación: En un número no despreciable de vertederos de la Región de Valparaíso, se observa que no se ha cumplido con la fecha de cierre esperada. Esta fecha es una variable que nos entrega información imprescindible, debido a que da cuenta del tiempo en que el vertedero no ha recibido basura y el peak de generación de biogás se alcanza poco después de cerrado un vertedero. Frente a esta falta de claridad, se decidió establecer el año 2010 como la fecha en la cual dejarán de recibir residuos todos los vertederos de la Región, para evaluar, bajo este mismo criterio, las proyecciones de generación de biogás. A su vez, el año 2007 fue definido como el año en el cual comenzaría la extracción de biogás para la totalidad de los vertederos.

Criterio 3. Tasa de generación y capacidad de generación anual de biogás: Tal como fue señalado, la tasa de generación (k) y la capacidad de generación de metano (Lo) son elementos determinantes del potencial de generación de biogás de un vertedero. El manual de usuario del Modelo Mexicano de Biogás sugiere ciertos rangos de valores para estos factores dependiendo de las precipitaciones de la zona donde se encuentre el vertedero, los que varían según lo consignado en las tablas 10 y 11. A través de la Dirección Meteorológica de Chile se obtuvo el valor normal anual de precipitaciones en

nuestra Región, este valor es de 372,5 mm que implica un índice de generación de metano (k) de 0.05 [1/día] y una generación potencial de metano (L_0) de 80 [m³/ton].

Las proyecciones de generación de biogás que se muestran a continuación desde la Figura 18 a la Figura 29 están separadas por las respectivas provincias en que se encuentran los sitios de disposición, y las tablas asociadas a cada gráfico se encuentran en el anexo 1:

1. Provincia de Valparaíso.

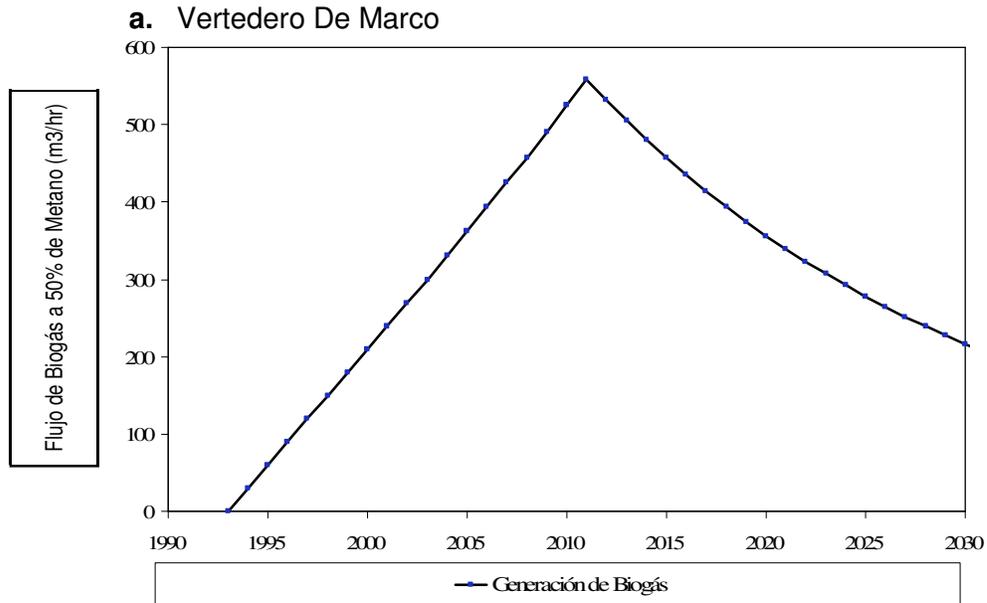


Figura 18: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero De Marco.

- En el vertedero De Marco, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $559 \text{ m}^3/\text{hr}$.

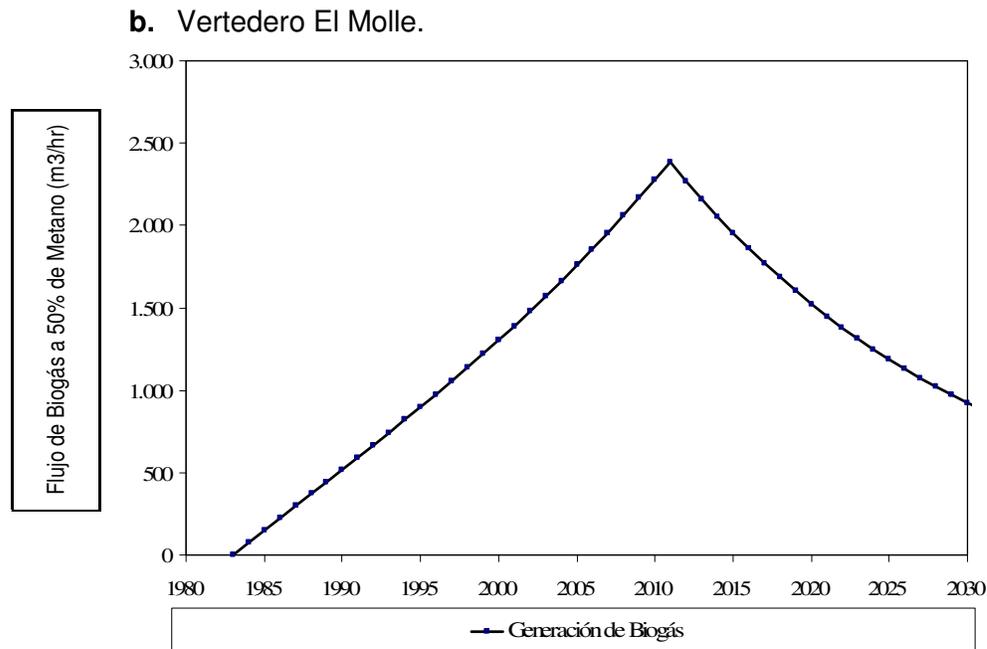


Figura 19: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero El Molle.

- En el vertedero El Molle, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $2.389 \text{ m}^3/\text{hr}$.

c. Basural de Quintero.

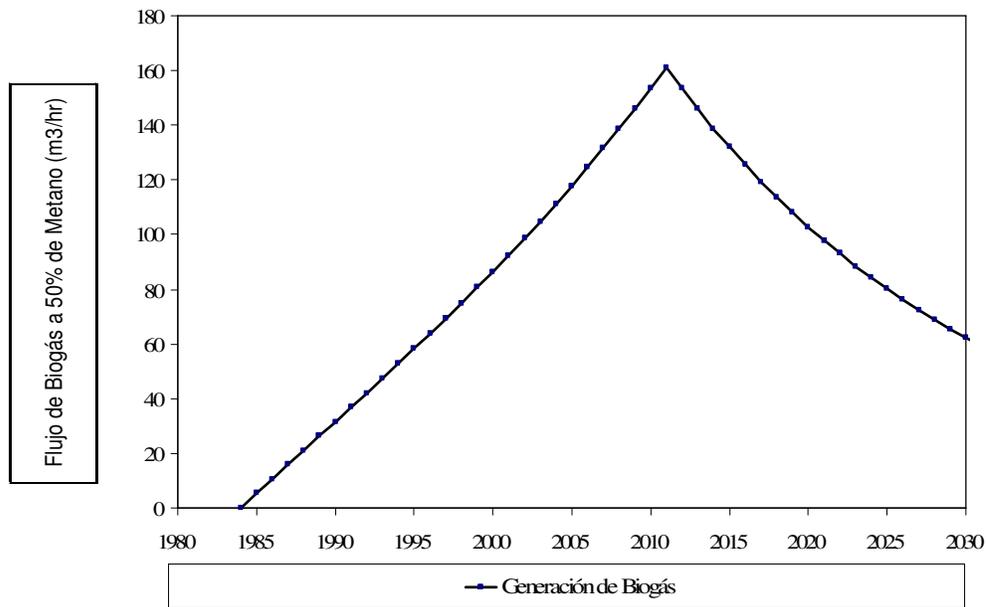


Figura 20: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero de Quintero.

- En el basural de Quintero, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $161 \text{ m}^3/\text{hr}$.

d. Vertedero de Puchuncaví

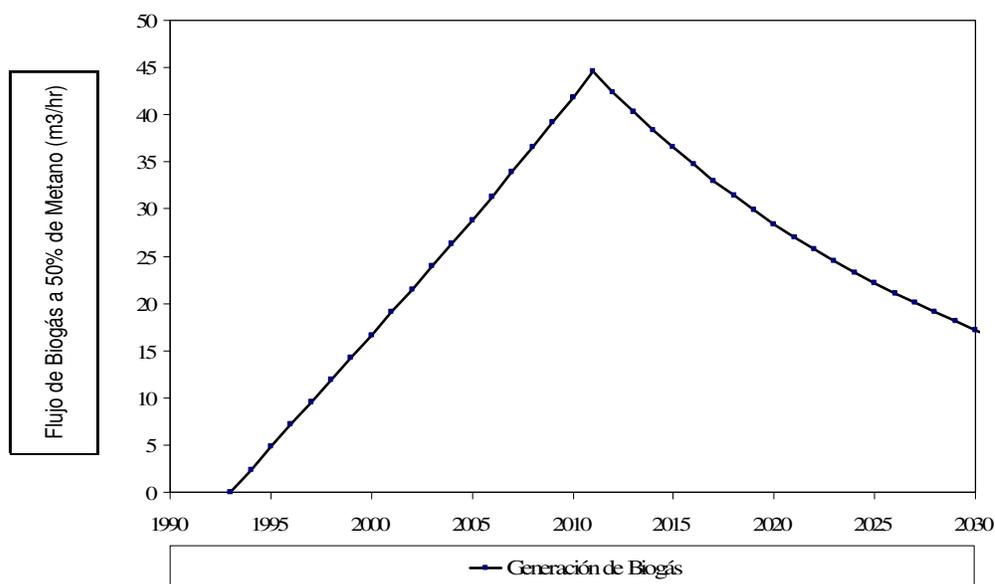


Figura 21: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero de Puchuncaví.

- En el vertedero de Puchuncaví, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $45 \text{ m}^3/\text{hr}$.

e. Vertedero de Casablanca

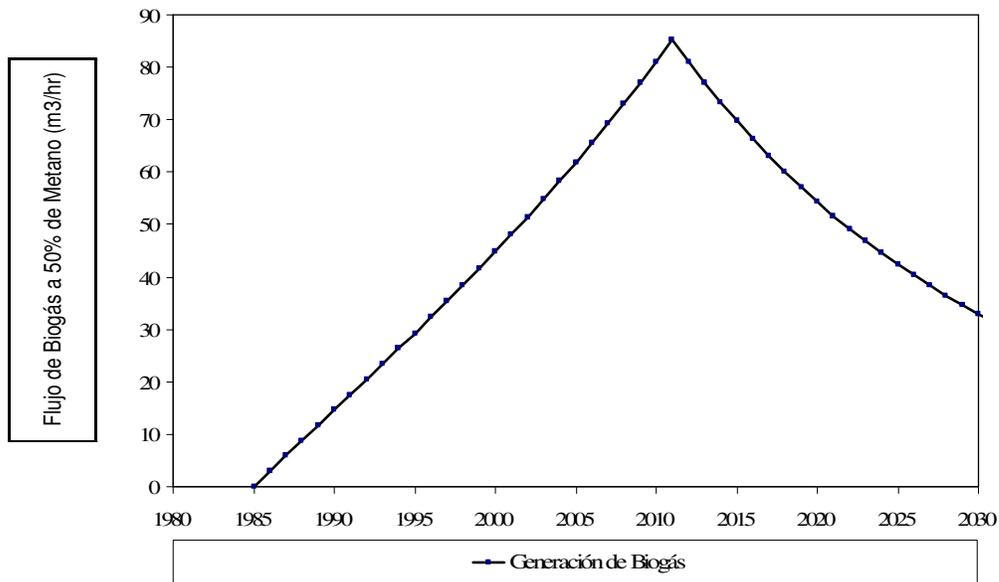


Figura 22: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero de Casablanca.

- En el vertedero de Casablanca, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $85 \text{ m}^3/\text{hr}$.

2. Provincia de Quillota.

a. Vertedero de San Pedro.

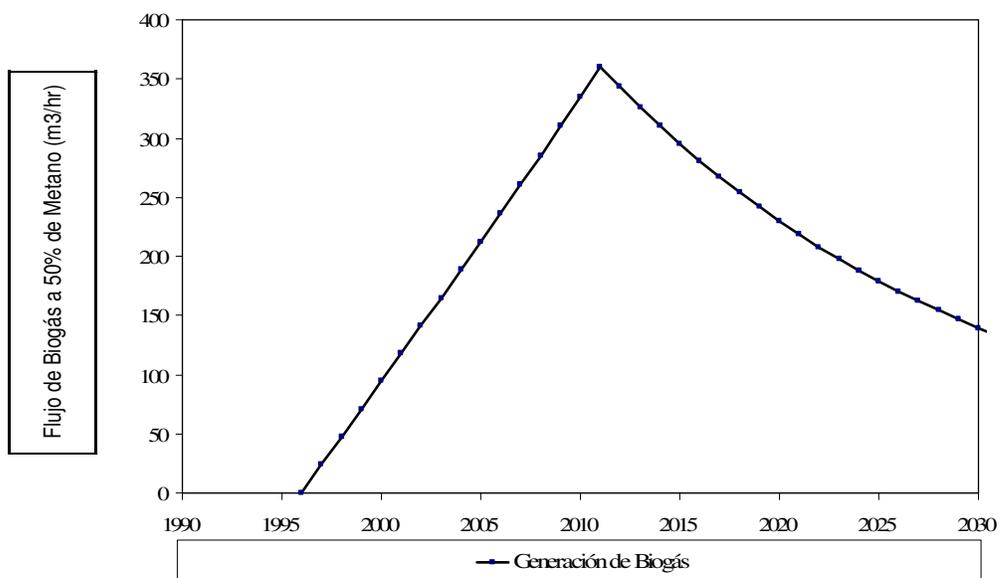


Figura 23: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero de San Pedro.

- En el vertedero de San Pedro, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $361 \text{ m}^3/\text{hr}$.

b. Vertedero Intercomunal de Limache

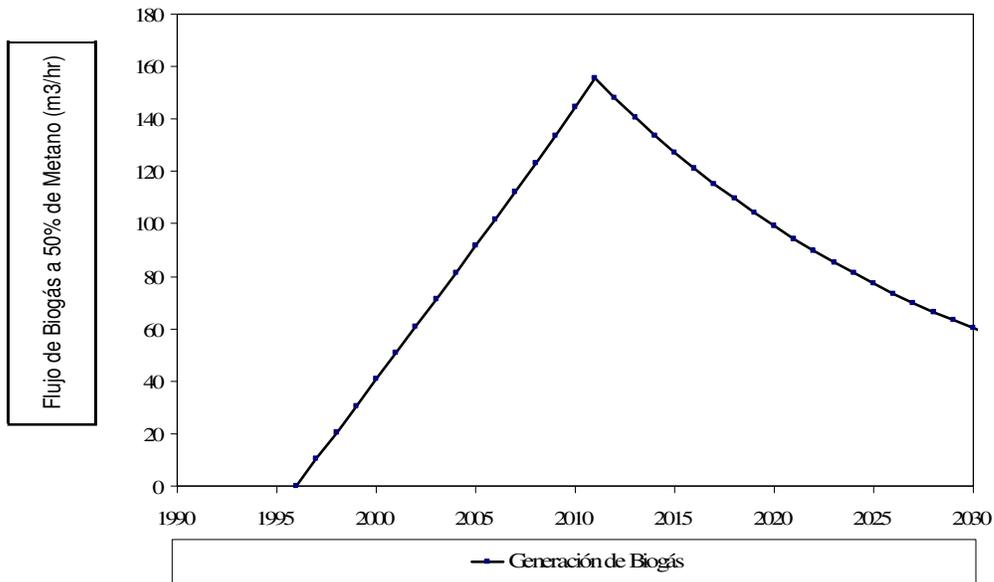


Figura 24: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero Intercomunal de Limache.

- En el vertedero Intercomunal de Limache, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $155\text{m}^3/\text{hr}$.

3. Provincia de Petorca.

a. Vertedero de Chicolco

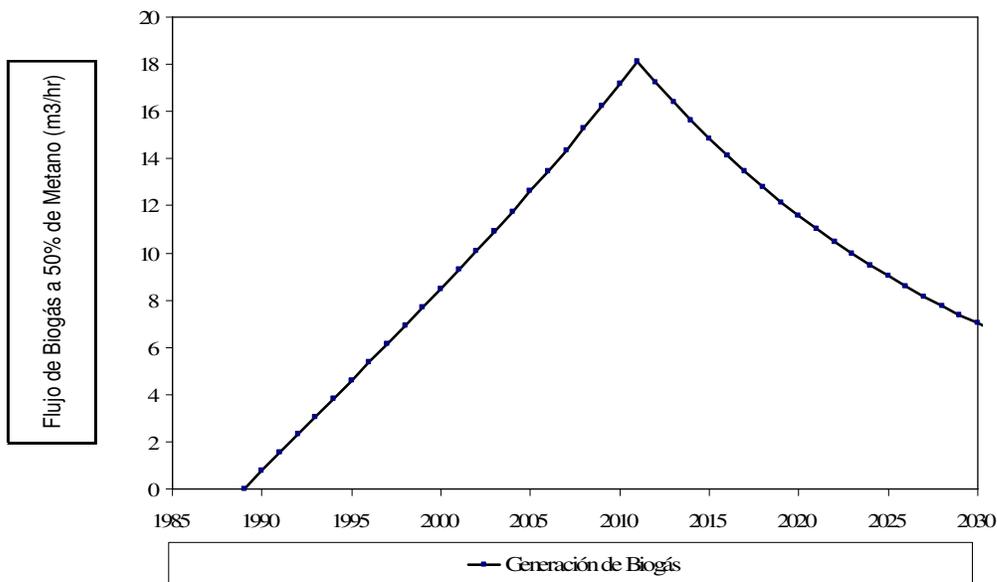


Figura 25: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero de Chicolco.

- En el vertedero de Chicolco, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $18\text{m}^3/\text{hr}$.

b. Vertedero de Cabildo

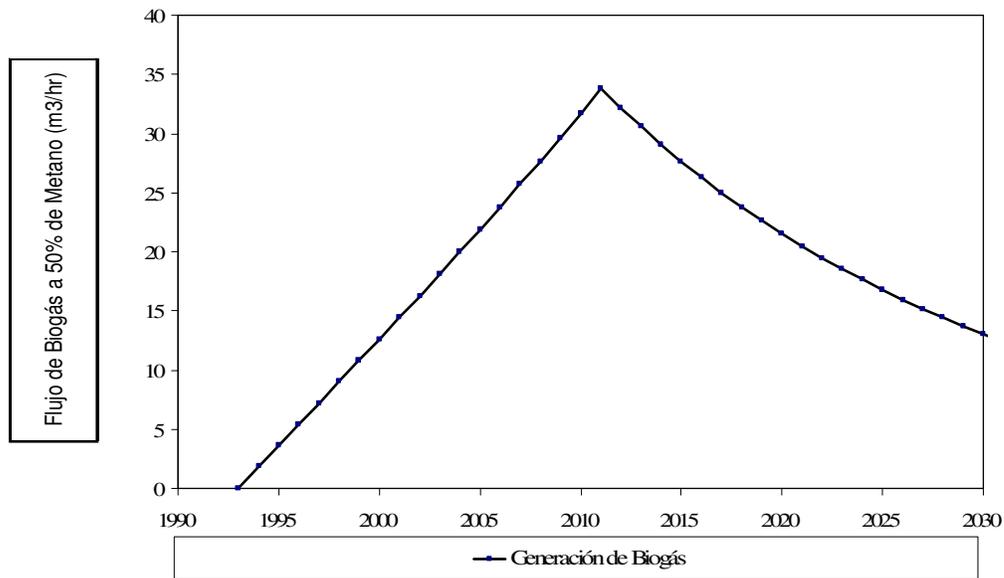


Figura 26: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero de Cabildo.

- En el vertedero de Cabildo, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $34 \text{ m}^3/\text{hr}$.

4. Provincia de San Felipe.

a. Vertedero La Hormiga

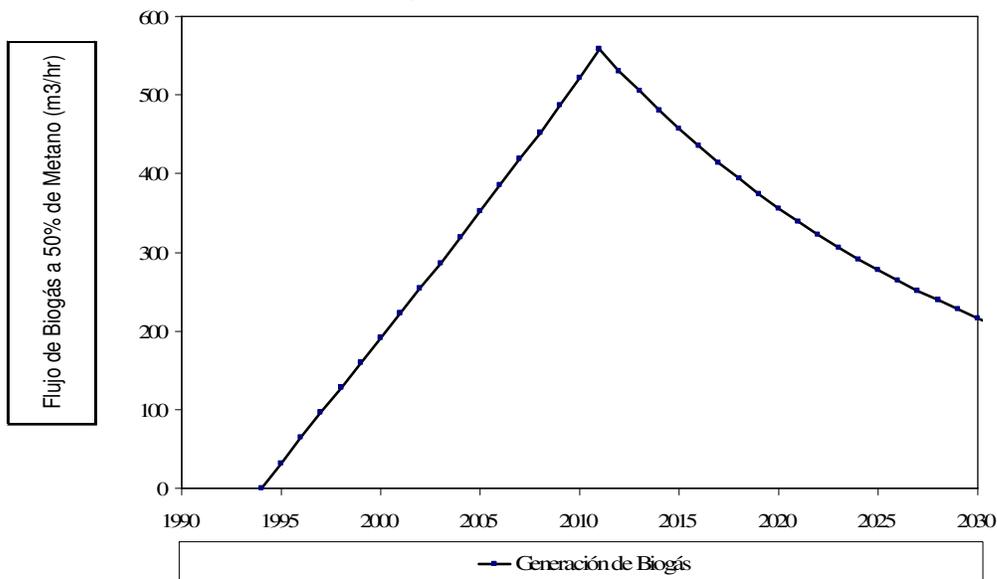


Figura 27: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero La Hormiga.

- En el vertedero la Hormiga, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $558 \text{ m}^3/\text{hr}$.

b. Vertedero de Tabolango

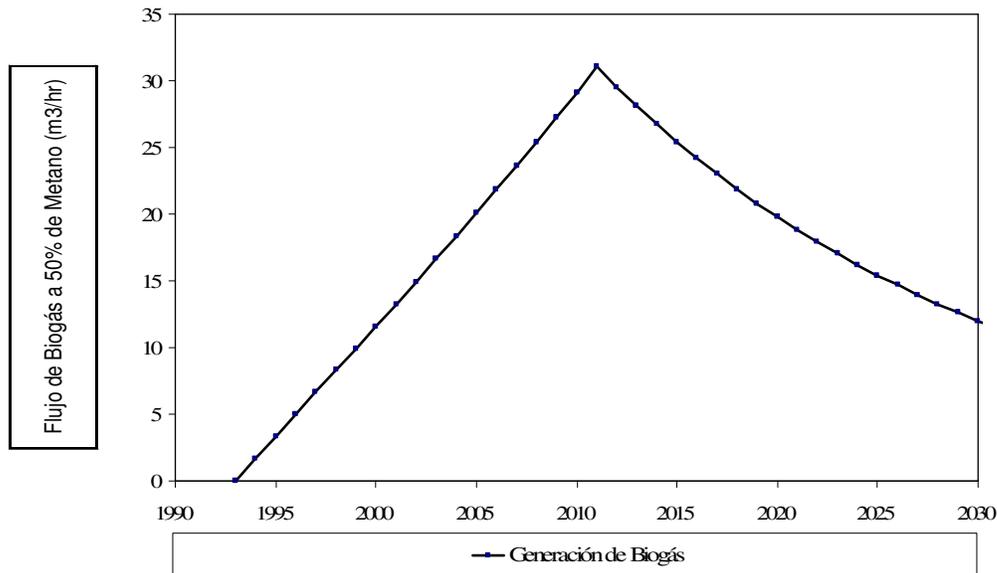


Figura 28: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero de Tabolango.

- En el vertedero de Tabolango, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $31 \text{ m}^3/\text{hr}$.

5. Provincia de San Antonio

a. Vertedero de Cartagena

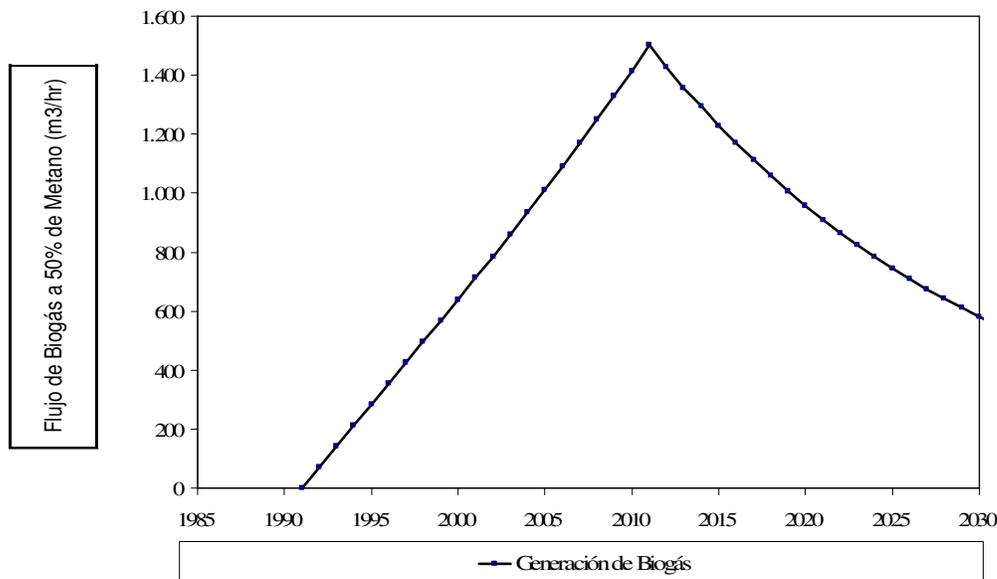


Figura 29: Proyecciones de generación de biogás, Vertedero de Cartagena.

- En el vertedero de Cartagena, el peak de generación de biogás, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $1501 \text{ m}^3/\text{hr}$.

Respecto a los resultados recientemente expuestos, vemos que se repite para todos los vertederos de la Región de Valparaíso, que el año en donde se alcanza el peak de generación de biogás, medido en m^3/hr al año, corresponde al 2011, vale decir, después de un año de haber dejado de recibir residuos, ya que frente a la falta de información respecto a la vida útil de estos sitios de disposición, se utilizó como criterio común para su evaluación que el año 2010 dejarían de recibir residuos.

Esto se debe a que el modelo utiliza una ecuación de degradación de primer orden que asume que la generación de biogás alcanza un máximo después de un año de que se han terminado de recepcionar residuos. El modelo asume también que por cada unidad de residuos, después de un año, la generación disminuye exponencialmente mientras la fracción orgánica de los residuos es consumida.

Observando los resultados individuales de cada vertedero de la Región, vemos que los que tendrían una mayor generación anual de biogás y por lo tanto una mayor potencialidad para una eventual explotación del recurso son:

- a. Vertedero De Marco en Valparaíso.*
- b. Vertedero El Molle en Valparaíso.*
- c. Vertedero San Pedro en Quillota.*
- d. Vertedero La Hormiga en San Felipe*
- e. Vertedero de Cartagena en San Antonio.*

6.3. Estimación del porcentaje de eficiencia del sistema de recolección

En cuanto a los porcentajes de recuperación de biogás generado, se han realizado dos clasificaciones en base a las recomendaciones realizadas por la EPA de Estados Unidos para estimar la eficiencia de recolección en vertederos dependiendo del sistema de operación de cada uno de ellos. De esta forma se obtuvieron las siguientes clasificaciones:

1. Vertederos controlados con un sistema de recolección de biogás operando eficientemente con todos los pozos de extracción operables, cobertura y compactación diaria, con un 75 % de eficiencia en la recolección.
2. Vertederos que solo realizan cobertura y compactación diaria con solo un 50% de de eficiencia en la recolección.

En base a lo anterior, se genera la siguiente clasificación:

Tabla 14: Porcentaje de recuperación de biogás de cada vertedero.

Provincia	Nombre del Vertedero	Porcentaje de recuperación
Valparaíso	De Marco	50%
	El Molle	75%
	Quintero	50%
	Puchuncaví	50%
	Casablanca	50%
Quillota	San Pedro	75%
	Intercomunal de Limache	50%
Petorca	Chincolco	75%
	Cabildo	75%
San Felipe	La Hormiga	50%
	Tabolango	50%
San Antonio	Cartagena	50%

De esta manera generamos las proyecciones de recuperación de biogás. La totalidad de estas se muestran en los anexos 1 y 2.

A continuación desde la Figura 30 a la Figura 34, se muestran las proyecciones para los vertederos más representativos de la Región, a pesar que la evaluación final para comparar con el escenario teórico considerará la totalidad de estos.

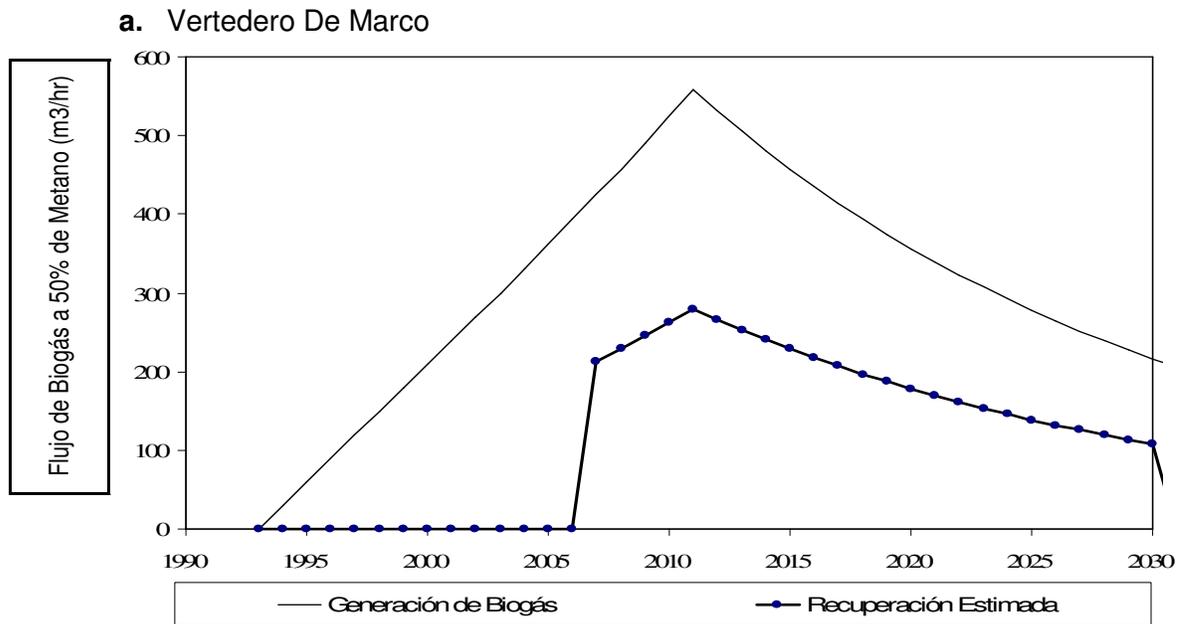


Figura 30: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero De Marco

- En el vertedero De Marco, el peak de recuperación, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $279 m^3/hr$.

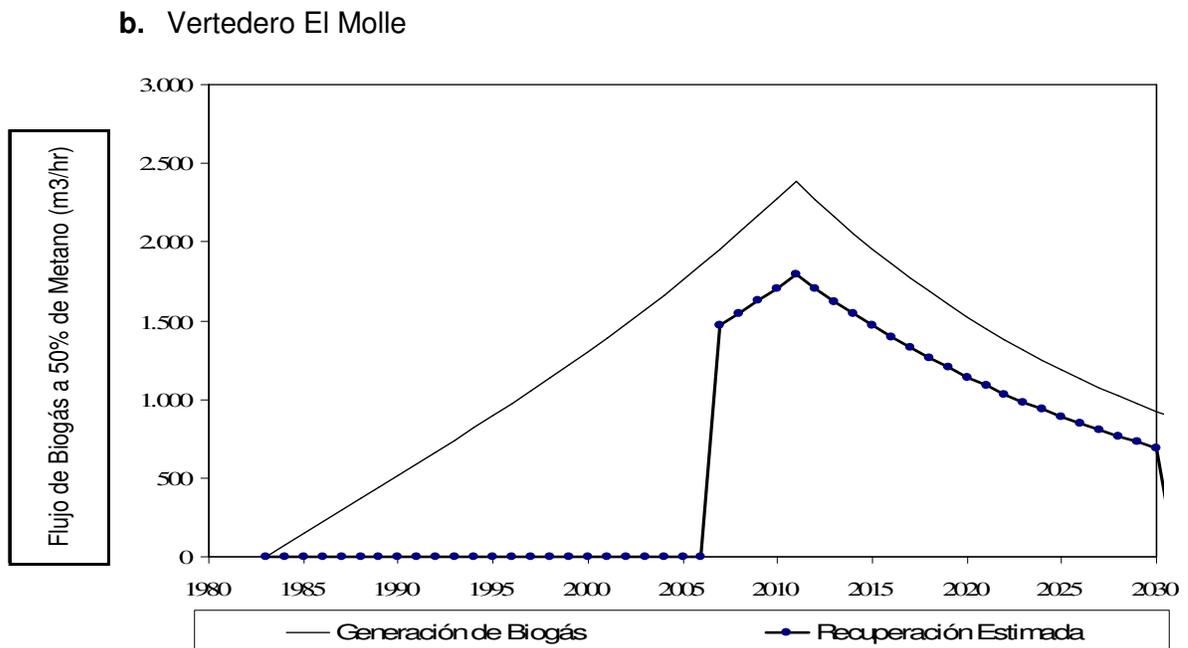


Figura 31: Generación y recuperación estimada al 75% de biogás, Vertedero El Molle.

- En el vertedero De Marco, el peak de recuperación, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $1.792 m^3/hr$.

c. Vertedero de San Pedro

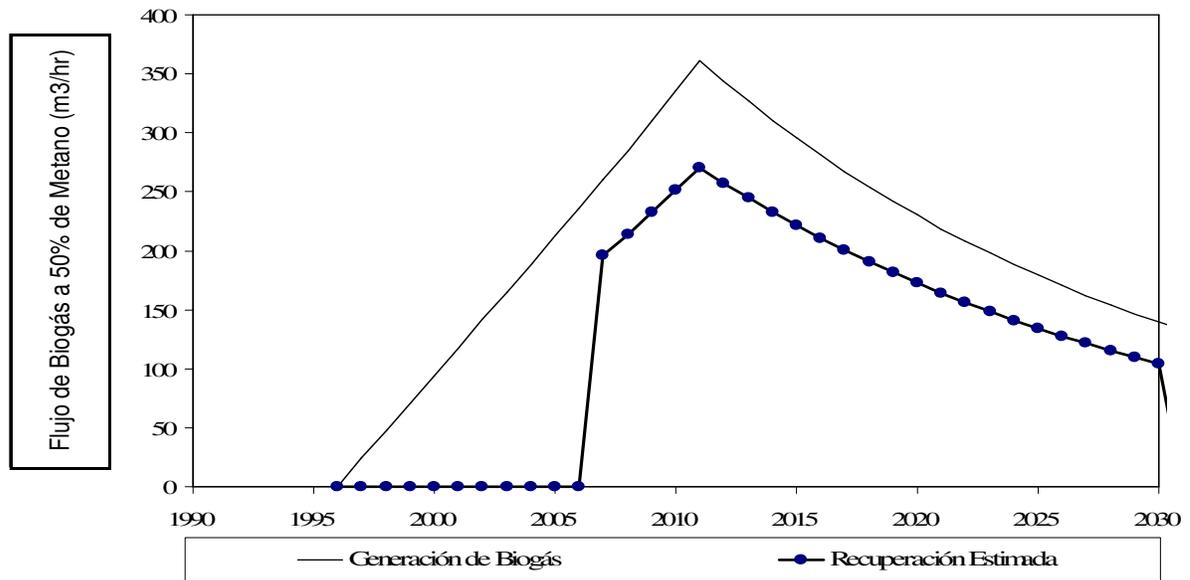


Figura 32: Generación y recuperación estimada al 75% de biogás, Vertedero de San Pedro.

- En el vertedero San Pedro, el peak de recuperación, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $271 \text{ m}^3/\text{hr}$.

d. Vertedero La Hormiga

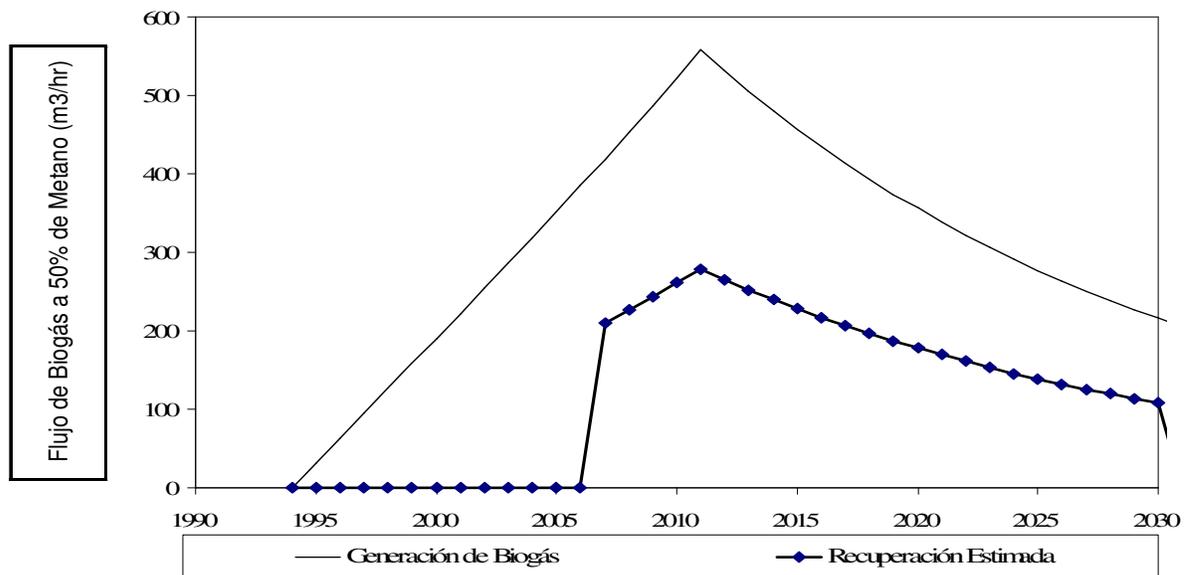


Figura 33: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero La Hormiga.

- En el vertedero La Hormiga, el peak de recuperación, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a $279 \text{ m}^3/\text{hr}$.

e. Vertedero de Cartagena

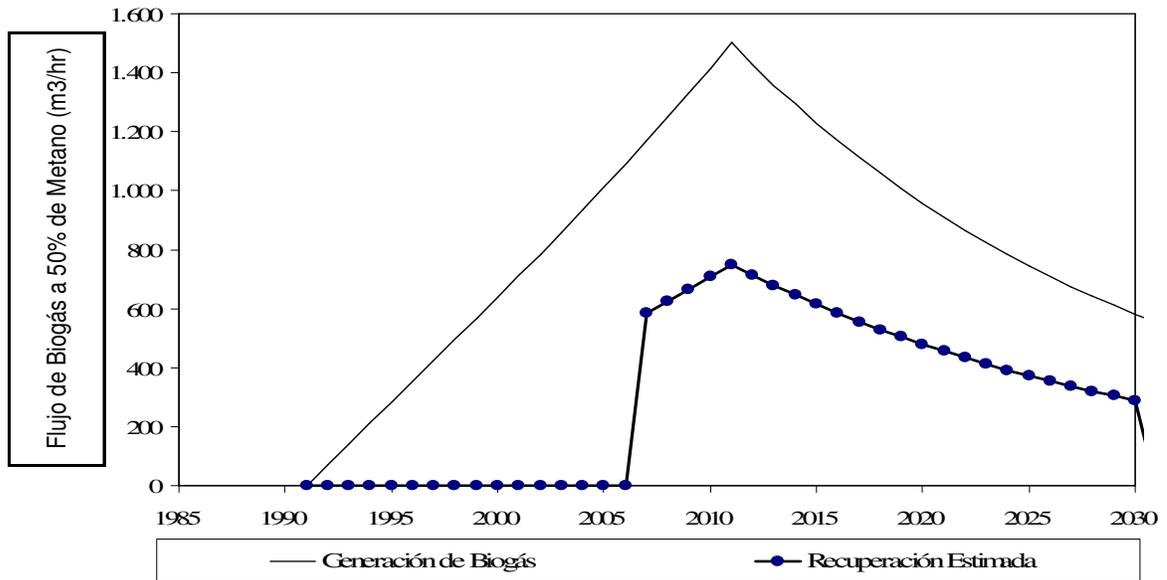


Figura 34: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero de Cartagena.

- En el vertedero de Cartagena, el peak de recuperación, bajo los criterios estudiados, se alcanza el año 2011 y corresponde a 751 m³/hr.

Respecto a los resultados recientemente expuestos sobre la recuperación de biogás, vemos que el 2011 es el año en el cual se producen los peaks de recuperación, lo cual se debe a que es el año en donde se produce la mayor generación de biogás, vale decir, cuando ha pasado un año sin recibir residuos.

Por otra parte, como ya se ha señalado, además de las dificultades de información enfrentadas en este estudio, se debe destacar que en general es muy difícil hacer predicciones precisas del potencial de generación de biogás de un vertedero dado que:

1. Los sistemas de recolección de gases no son 100% eficientes. Se estima que raramente superan el 75% de eficiencia.
2. Existe una gran incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones de metano debido a características específicas de cada vertedero.
3. La ingeniería y gestión de un vertedero influenciarán fuertemente cuánto metano puede ser generado y capturado. Los estándares en cuanto a las características operacionales de los vertederos de la Región de Valparaíso son muy variables, y van desde basurales abiertos como es el caso del Basural de Quintero hasta vertedero con altos estándares de ingeniería con sistemas de recolección de gases como es el caso del Vertedero El Molle.
4. Los mayores niveles de recolección generalmente no se mantienen parejos durante la vida útil de un vertedero. Al principio de las operaciones no se recolecta prácticamente nada de biogás debido a que los sistemas de recolección no se encuentran totalmente instalados, las condiciones anaeróbicas aún no se comienzan a manifestar como para generar biogás en cantidades apreciables y la mayoría de este se fugará por el frente de carga de basura.
5. En la medida que el sitio envejece, la concentración de metano decaerá y el contenido energético del biogás será cada vez menor, al igual que los eventuales peligros y daños que este pueda generar.

6.4. Cuantificación del potencial de generación de energía a partir del biogás.

En base a lo establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para la conversión del flujo de biogás en electricidad, se realizaron las proyecciones para cada uno de los vertederos de la Región, a partir del flujo de biogás recuperado. Se utilizó la tasa calorífica del motor de combustión interna por ser la tecnología más utilizada en rellenos sanitarios para la recuperación energética del biogás, el cual está siendo utilizado en aproximadamente el 80% de los 330 proyectos de energía de biogás de rellenos sanitarios actualmente operando en Estados Unidos.

A continuación desde la Figura 35 a la Figura 39, se muestran las proyecciones para los vertederos más representativos de la Región, a pesar que la evaluación final para comparar con el escenario teórico considerará la totalidad de estos. La totalidad de estas proyecciones se encuentran en los anexos 3 y 4.

a. Vertedero De Marco

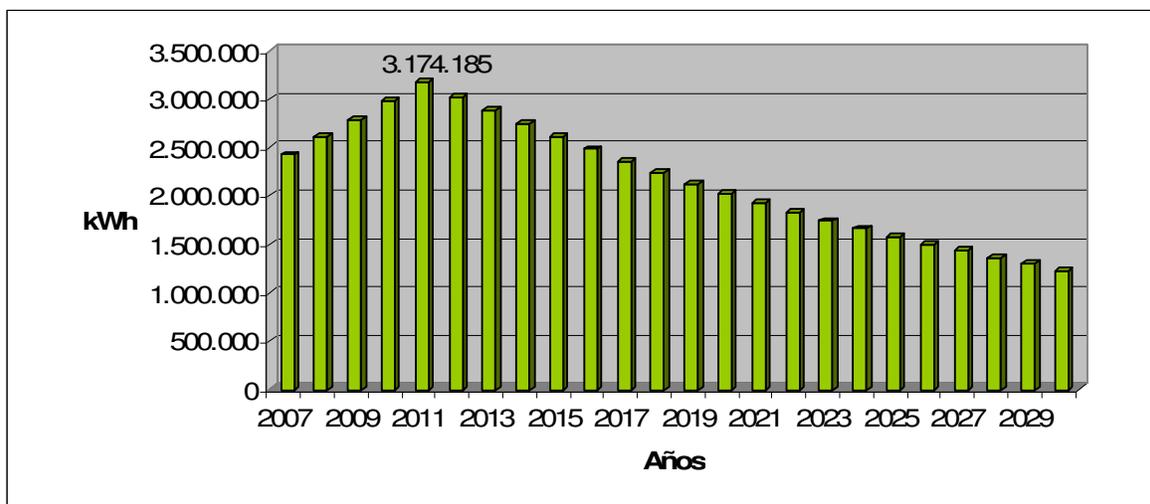


Figura 35: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero De Marco.

b. Vertedero El Molle

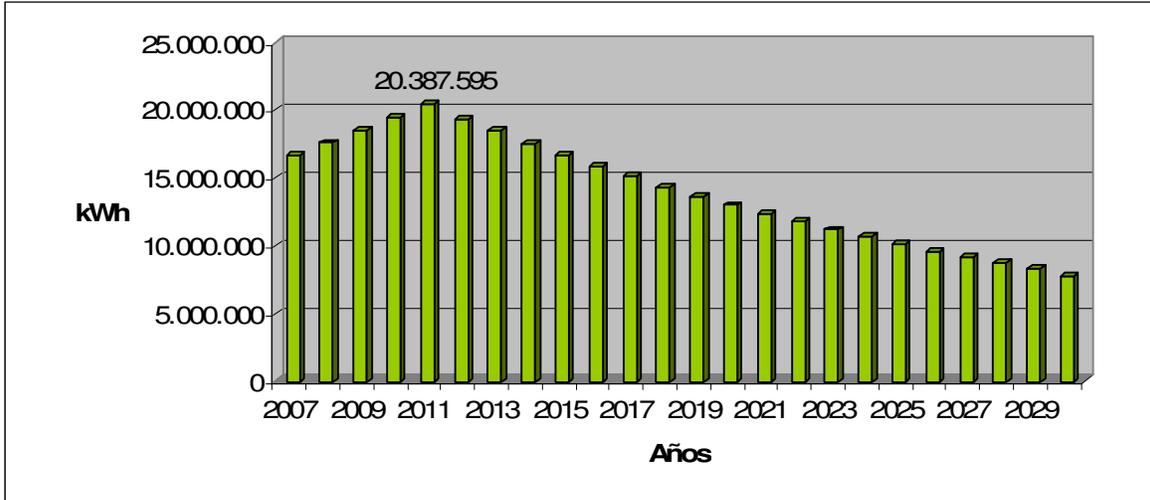


Figura 36: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero El Molle.

c. Vertedero de San Pedro

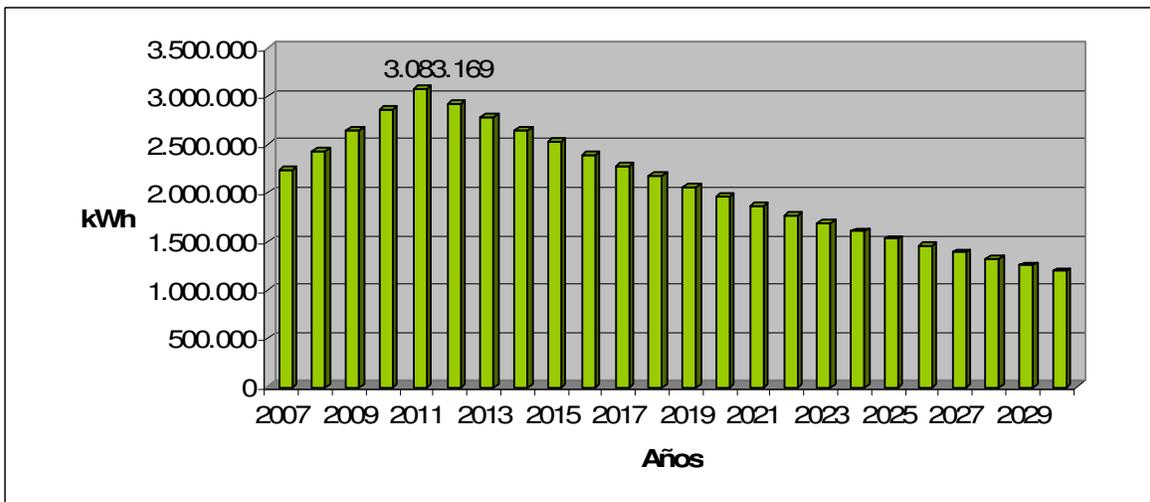


Figura 37: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero de San Pedro.

d. Vertedero La Hormiga

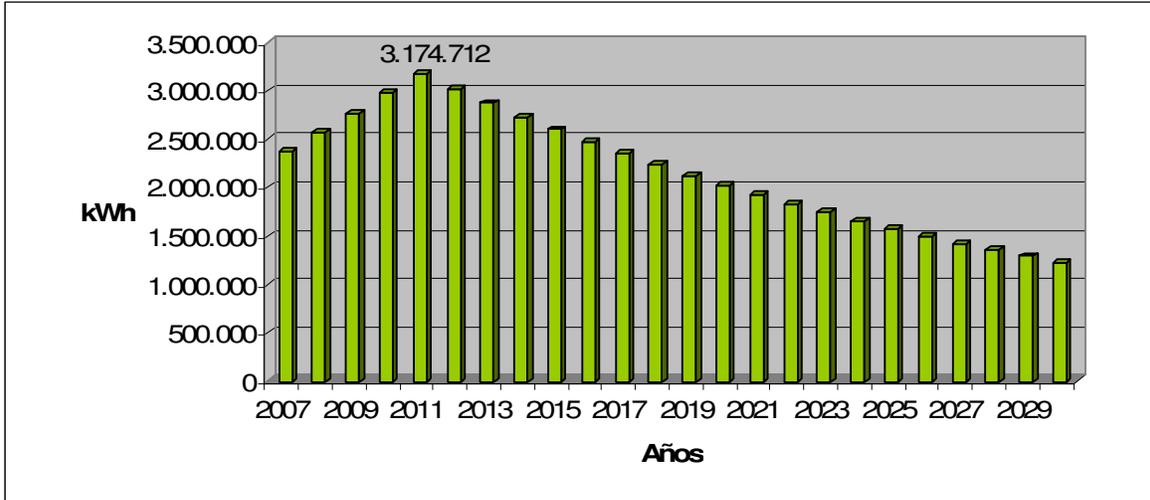


Figura 38: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero La Hormiga.

e. Vertedero de Cartagena

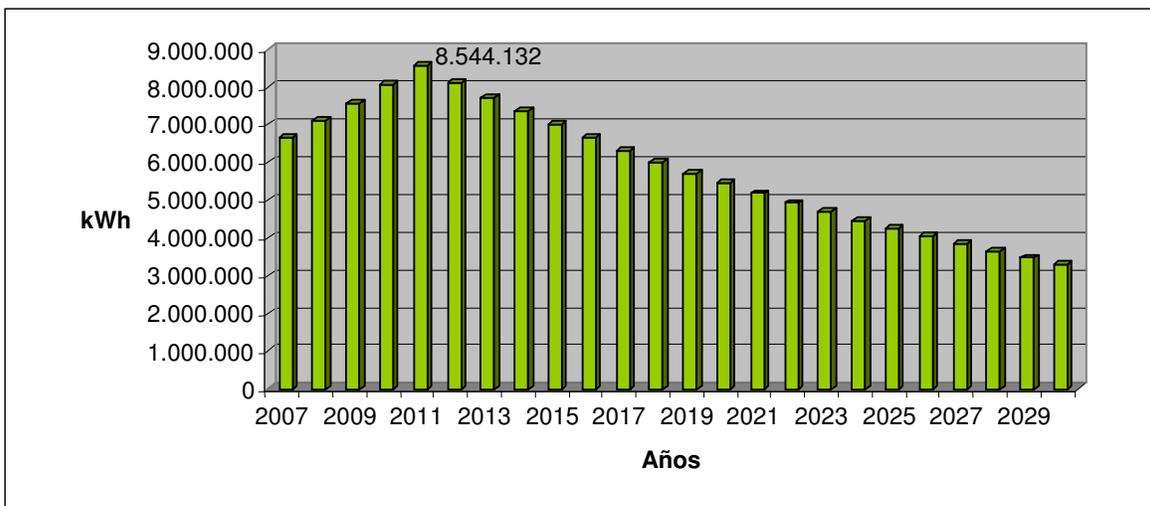


Figura 39: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero de Cartagena.

La recolección y conversión energética del biogás de vertedero representa una oportunidad para reducir emisiones de gases de efecto invernadero, las que derivan del incremento en la recolección de biogás y del eventual reemplazo de fuentes más contaminantes del proceso de generación que se podría emprender en cada vertedero luego de la recolección de biogás.

Entre los 12 vertederos estudiados, bajo los criterios anteriormente mencionados, se tiene un peak de potencial de generación eléctrica el año 2011 de 41.537.977 kWh (sumando los peaks individuales de cada sitio de disposición). Este potencial de conversión energética permitiría adicionar a la oferta de energía eléctrica del país la proveniente de fuentes termoeléctricas menos contaminantes que las más tradicionales. Cada vez que una unidad generadora a biogás fuese despachada para generar electricidad, esta tendería a reemplazar la generación de una unidad a carbón, petróleo o gas natural, evitándose la contaminación que proviene del ciclo energético del correspondiente combustible, puesto que este no sería utilizado para generar electricidad.

En el estudio de políticas de abatimiento de gas de efecto invernadero y desarrollo económico, desarrollado por Valdés de F, el año 2004, se establece que por cada MWh generado por una central a biogás de vertedero se reducirían 0,59 toneladas de gases de efecto invernadero que de otra forma serían generadas por las centrales termoeléctricas. Según esto, mediante la generación de electricidad en base al biogás generado en los vertederos de la Región de Valparaíso el año 2011, se lograrían reducir 24.507,4 toneladas de gases de efecto invernadero.

Por otra parte si el consumo promedio anual de un hogar es de 120 kWh al mes⁷, este potencial de generación eléctrica podría abastecer aproximadamente a 28.846 hogares.

El uso predominante del biogás una vez que este es recolectado como combustible para la generación de electricidad, presenta las siguientes ventajas:

1. Se presenta como una oportunidad de contribución adicional al desarrollo sustentable y como una fuente de generación de empleo, inversión extranjera y desarrollo local. La

⁷ Revista Electricidad Interamericana. 27 de diciembre 2006.

venta de energía puede generar ingresos adicionales para rentabilizar la operación de un vertedero y la recolección de biogás más allá del mínimo que se colecta actualmente.

2. Adicionalmente, esto podría traer consigo bajas en los costos de la disposición final para los municipios y usuarios, lo que podría desincentivar la utilización de vertederos y/o basurales de características subestándar y la disposición en vertederos ilegales, reduciendo impactos ambientales y económicos para las localidades afectadas.

3. La instalación de sistemas de recolección y plantas de energía generaría empleo adicional a la operación del relleno.

4. La utilización de biogás como fuente de energía puede servir para compensar algunos de los costos externos de la construcción y operación de vertederos. La energía generada en base a biogás puede ser distribuida a localidades aledañas a precios subsidiados para compensarlas por los efectos ambientales que la localización de rellenos sanitarios les pudiese generar.

Finalmente la generación de energía en base a biogás es ventajosa debido a los potenciales beneficios anteriormente enumerados, y produce un producto final valioso, que es la energía eléctrica reproducida por la basura.

Por otra parte una desventaja del biogás como fuente de energía eléctrica es que el potencial de generación es muy variable. Las razones son las mismas que determinan la variabilidad en la generación de biogás entre los vertederos. Estas son:

1. Los residuos sólidos domiciliarios son heterogéneos y la composición del biogás derivado de ellos varía según el contenido de la basura. En Chile, como en el mundo en general, la fracción de materia biodegradable en la basura doméstica varía considerablemente, tanto en el tiempo como entre regiones, épocas del año y estratos económicos. Esto hace que las tasas de producción varíen mucho entre vertederos, e incluso entre los distintos pozos de recolección de cada uno.

2. El diseño y el método de relleno usado en un sitio determinarán su potencial de generación de energía. Los sitios más profundos, con buena impermeabilización,

incentivan las condiciones anaeróbicas y proveen un mejor medio para la actividad bacteriana que degrada la basura, comparados con los rellenos con menor profundidad y con poca o mala cobertura.

Toda esta variabilidad agrega incertidumbre a los proyectos de control y aprovechamiento de biogás, la que muchas veces sólo puede ser contrarrestada con inversiones adicionales que apuntan a mejorar las características de los rellenos como biorreactores anaeróbicos para controlar los procesos de degradación de la basura y favorecer la generación de energía.

6.5. Escenario Teórico.

Se creó un escenario teórico dentro de la Región de Valparaíso, en cuanto al sistema de disposición final de residuos sólidos domiciliarios que permitió comparar el potencial de generación de energía eléctrica a partir de la situación actual. A juicio de los expertos, son muchos los sitios de disposición presentes en la Región y es por esto que en este escenario se han establecido solo dos, uno para las provincias de San Antonio, Valparaíso y Quillota y otro para las provincias de San Felipe, Los Andes y Petorca.

6.5.1 Determinación de la ubicación de ambos sitios.

Dentro de los muchos elementos que están involucrados en la determinación de los puntos geográficos destinados a la correcta disposición de residuos sólidos domiciliarios en la Región de Valparaíso, el factor de recolección y transporte de estos residuos, es un elemento de suma importancia, ya que es clave que esta zona este en relación armónica con las distancias de recorrido y volúmenes a recolectar para cada comuna. Por lo que en una dispersión de puntos correspondientes a todo el universo de sitios de disposición incluidos en este estudio, el punto de emplazamiento debe tener relación con la efectividad de transporte, que logre minimizar el impacto ambiental asociado al exceso de sitios destinados a la disposición final de residuos sólidos domiciliarios.

Para nuestro objetivo los puntos de análisis en la ubicación del centro de masa serán las actuales posiciones de los sitios de disposición donde sus coordenadas en el mapa del plano regulador de la Región de Valparaíso corresponderán al x_i e y_i de cada sitio; La masa asociada a cada uno de los sitios serán las toneladas anuales para el año 2005.

A continuación en la Tabla 15 y la Tabla 16 se presenta un resumen con toda la información utilizada para la determinación del centro de masa:

1. Provincias de San Antonio, Valparaíso y Quillota

Tabla 15: Coordenadas UTM de cada vertedero y su respectivo centro de masa.

Provincia	Nombre vertedero	Toneladas anuales (2005)	Coordenadas X	Coordenadas Y
Valparaíso	De Marco	56160	273335	6343027
	El Molle	209664	254010	6336274
	Quintero	14265	265750	6368208
	Puchuncaví	4480	273248	6372891
	Casablanca	7613	275582	6309050
Quillota	San Pedro	39237	282935	6352656
	Limache	16910	287414	6343095
San Antonio	Cartagena	145005	260175	6283472
Centro de Masa			262315	6323895

2. Provincias de San Felipe, Los Andes y Petorca

Tabla 16: Coordenadas UTM de cada vertedero y su respectivo centro de masa.

Provincia	Nombre vertedero	Toneladas anuales (2005)	Coordenadas X	Coordenadas Y
Petorca	Chincolco	1697	325782	6431907
	Cabildo	3395	306041	6412517
San Felipe	La Hormiga	57408	339036	6379119
	Tabolango	3120	347622	6382550
Centro de Masa			337394	6382375

A continuación, se muestra el plano de zonificación de la Región de Valparaíso, en donde se establecen las ubicaciones de estos centros de masa, el punto 1 es para las provincias de San Antonio, Valparaíso y Quillota y el punto 2 para las provincias de San Felipe, Los Andes y Petorca.

6.5.2 Estimación de la generación de biogás para ambos sitios.

Si estos dos sitios hubiesen funcionado desde un principio, vale decir desde la década de los 80, que es la época desde la cual existen datos, tendríamos, utilizando el Modelo de Biogás Mexicano, las siguientes proyecciones de generación de biogás, asumiendo:

- Los primeros cinco años de funcionamiento serán el plazo para la instalación del sistema de extracción de biogás, los dos años posteriores la eficiencia será de un 50% hasta que el sistema se encuentre completo y bien diseñado, con pozos verticales o recolectores horizontales que tengan una cobertura del 100%, en este momento la eficiencia pasará a ser de un 75%.
- El año de cierre será el 2010, al igual que en las primeras proyecciones de los sitios de disposición analizados individualmente, y las toneladas anuales de cada uno de estos se sumarán, para obtener el índice de disposición que nos entregará las proyecciones de generación de biogás. La información tabulada se encuentra en el anexo 5. De esta manera tenemos:

1. Vertedero 1, para las Provincias de San Antonio, Valparaíso y Quillota.

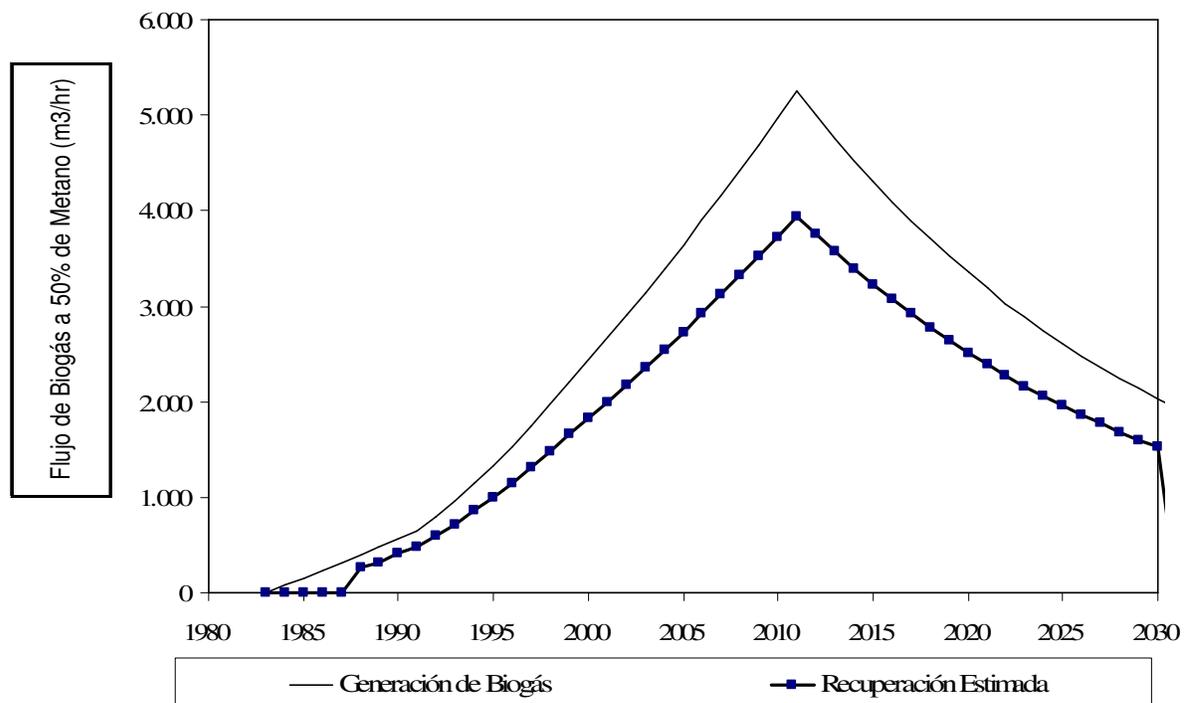


Figura 41: Generación y recuperación de biogás para Vertedero 1.

2. Vertedero 2, para las Provincias de San Felipe, Los Andes y Petorca.

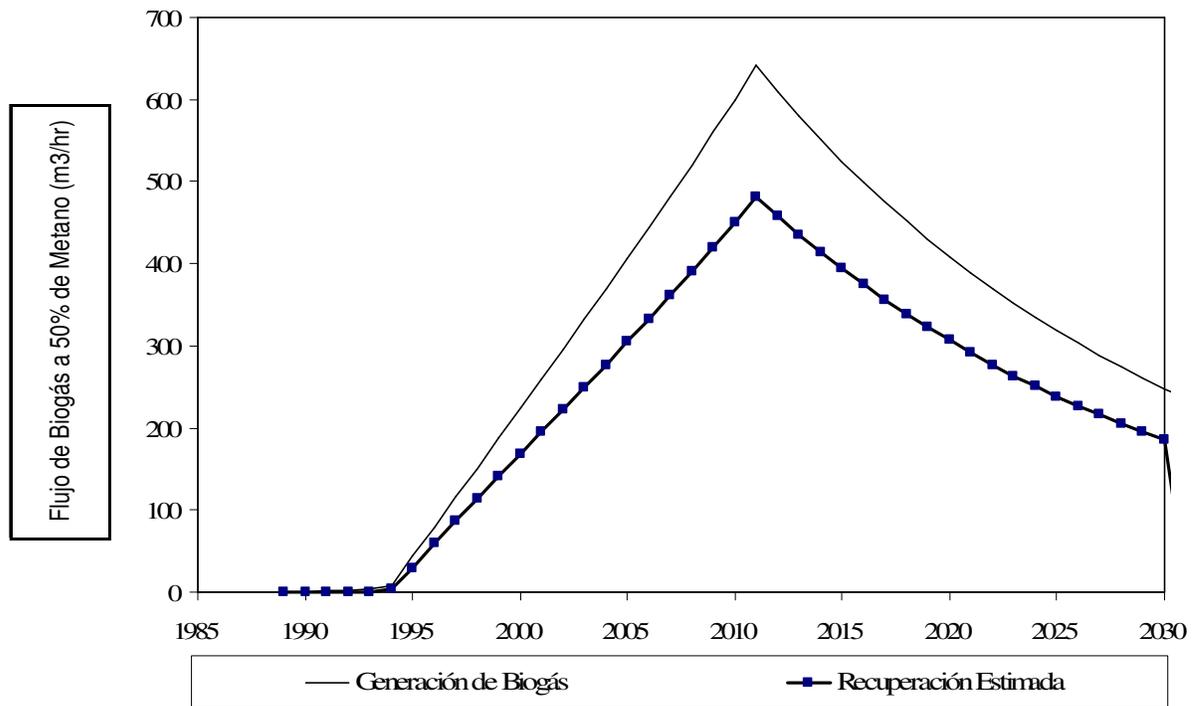


Figura 42: Generación y recuperación de biogás para Vertedero 2.

6.5.3 Estimación del potencial de generación de energía para ambos sitios a partir de biogás

Se realizaron las proyecciones para ambos sitios, de la misma manera que para los sitios de disposición analizados individualmente, esta información se encuentra tabulada en el Anexo 6. A continuación, en la Figura 43 y la Figura 44, se muestran las proyecciones generadas:

1. Vertedero 1, para las Provincias de San Antonio, Valparaíso y Quillota.

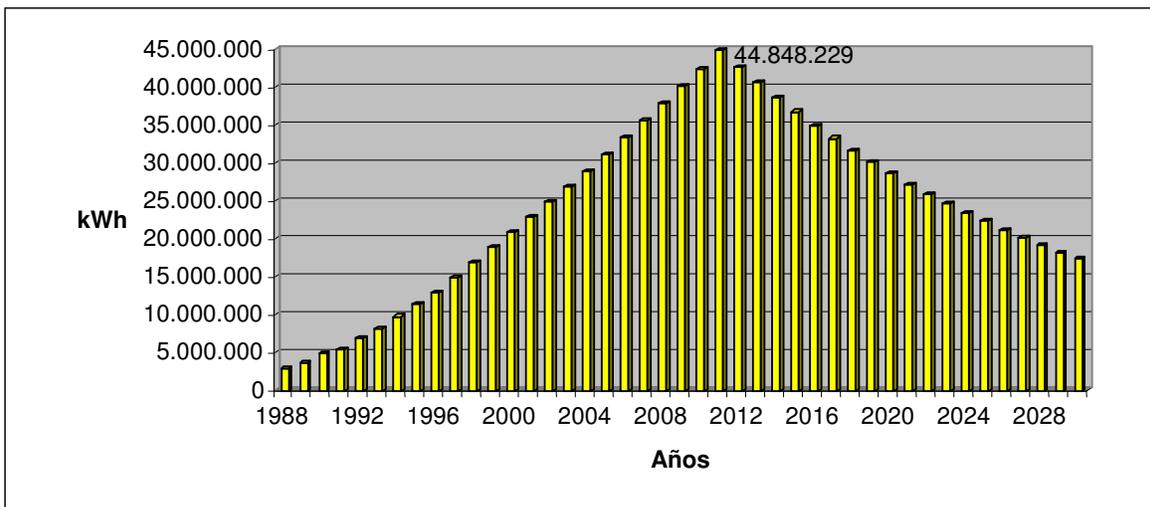


Figura 43: Proyección de electricidad anual generada.

2. Vertedero 2, para las Provincias de San Felipe, Los Andes y Petorca.

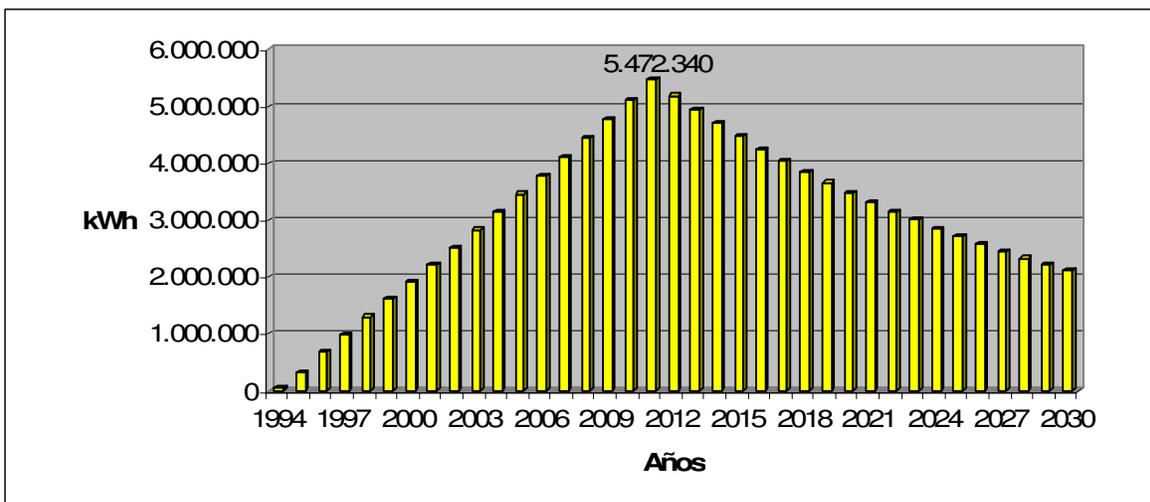


Figura 44: Proyección de electricidad anual generada

Tomando en cuenta ambas proyecciones de generación de electricidad, vale decir, las de la situación actual y las del escenario teórico, se realizó una comparación que permitiera observar las variaciones en cuanto a los kWh generados anualmente. Para realizar esto fueron sumadas las electricidades anuales generadas por cada sitio de disposición; en el primer caso de todos los vertederos presentes en las Provincias de Valparaíso, Quillota y San Antonio y en el segundo caso los de las Provincias de San Felipe, Petorca y Los Andes. Esta comparación se muestra a continuación en las Figuras 45 y 46:

1. Para el caso de las provincias de Valparaíso, Quillota y San Antonio

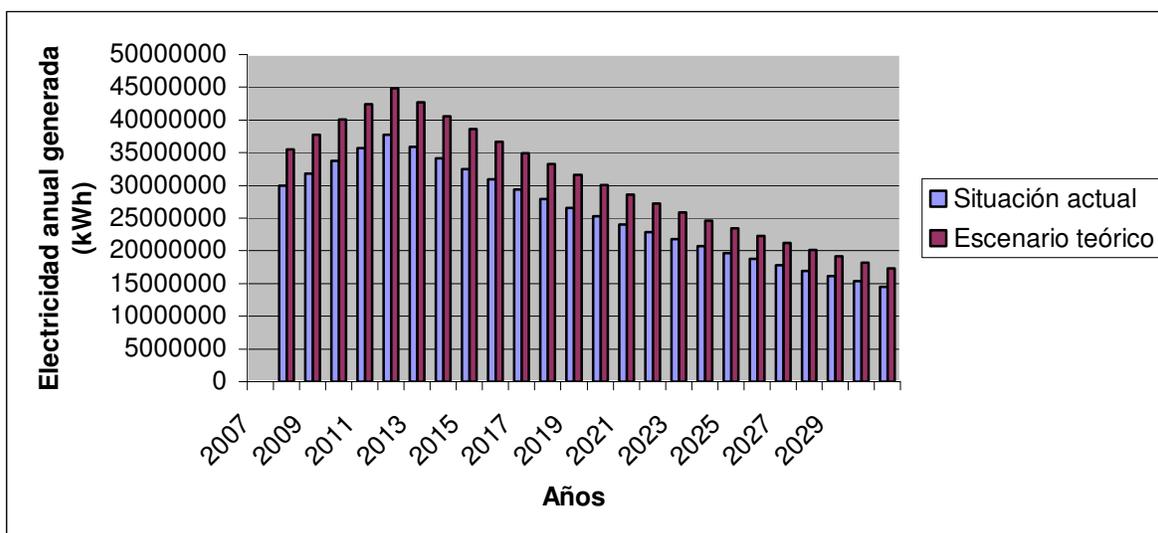


Figura 45: Comparación de las generaciones de electricidad entre la situación actual y el escenario teórico para las provincias de Valparaíso, Quillota y San Antonio.

2. Para el caso de las Provincias de San Felipe, Petorca y Los Andes.

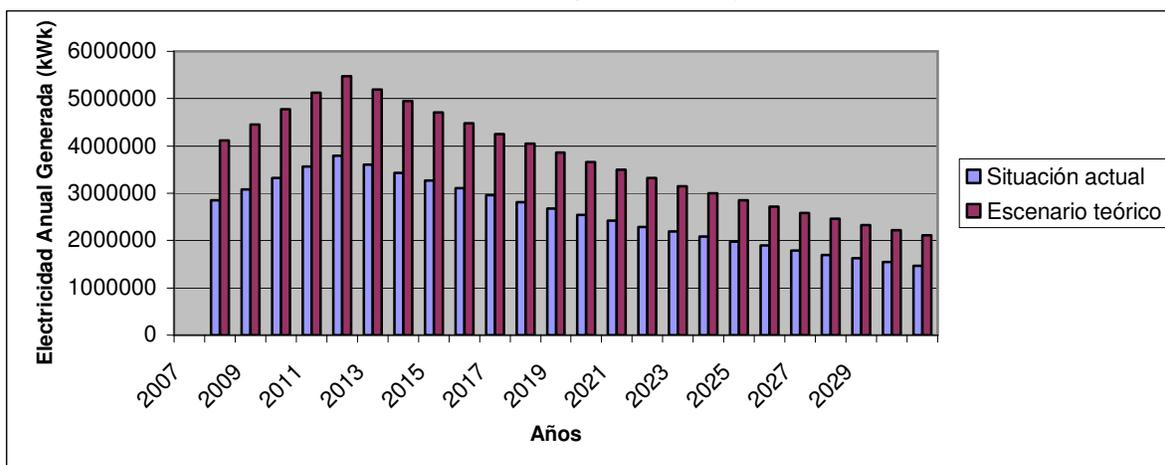


Figura 46: Comparación de las generaciones de electricidad entre la situación actual y el escenario teórico para las provincias San Felipe, Petorca y Los Andes.

Tomando en cuenta el peak de generación de este escenario, vemos que el año 2011, bajo los mismos criterios utilizados en el análisis individual de cada vertedero, se generarían 50.320.569 kWh, vale decir, un potencial de generación de energía eléctrica 17,5% superior a la sumatoria de todos los sitios de disposición que funcionan actualmente, lo que se traduce en una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de 5.182 toneladas adicionales y a su vez un abastecimiento adicional de 6.036 hogares.

Por otra parte en los manuales desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos se establece que la extracción para generación eléctrica se limita exclusivamente a aquellos sitios de disposición grandes y profundos, y que serán rentables solo aquellos con una potencia instalada de al menos 1 MW. Con esto vemos que las posibilidades económicas de lograr una reducción de emisiones a través de la actividad de disposición final de residuos sólidos domiciliarios se ve limitada y solo sería viable si se reduce el número de sitios de disposición a través de la promoción de la asociatividad de municipios tal como fue evidenciado en el escenario teórico. Lo anterior reafirma que la situación actual, en que la mayoría de los municipios cuentan con una instalación de disposición final para los residuos domiciliarios generados, implica una gestión poco eficiente y un gran impacto negativo en lo sanitario y ambiental. Frente a esto vemos que una visión regional de la gestión de residuos permitirá, entre otros logros, disminuir la cantidad de estas instalaciones y a su vez aumentar la calidad y eficiencia de las mismas. El Gobierno Regional debiera tener un rol importante en esta materia, estimulando la asociación de municipalidades en pro de una racionalización de los recursos para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios.

Es importante considerar también que la actividad de disposición presenta economías de escala importantes y, por lo mismo, la multiplicación de estos lugares resulta ineficiente desde el punto de vista económico. Además, desde una mirada sanitario – ambiental se presenta un mayor riesgo en tanto aumentan los puntos con impacto ambiental.

Capítulo 7

Conclusiones

7. CONCLUSIONES

A nivel mundial la utilización de biogás como fuente de energía se presenta como una excelente alternativa de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En la medida que el metano capturado es utilizado para generar energía que se incorpore a la matriz energética, este logra reemplazar fuentes más contaminantes que emiten gases de efecto invernadero, lo que produciría reducciones adicionales a la mera captura del biogás. Por otra parte, los ingresos provenientes de la venta de reducciones de emisiones servirían para financiar las inversiones necesarias y/o rentabilizar los rellenos.

De esta manera la captura de gas de vertedero se ocupa de dos de las principales preocupaciones globales y locales relacionadas a la disposición de residuos sólidos domiciliarios, en primer lugar mejora las prácticas de manejo al considerar cuestiones de salud y seguridad, y a la vez reduce las emisiones de metano.

Lamentablemente el mal manejo de los residuos sólidos domiciliarios que ha sido evidenciado, en primer lugar por la alta cantidad de sitios de disposición y por otra parte por la variabilidad en cuanto a los cumplimientos mínimos de operación, limita los beneficios económicos que trae un adecuado manejo de estos residuos a través de la generación de energía eléctrica.

La situación ideal sería, entonces, que existiera el mínimo posible de sitios de disposición para residuos sólidos domiciliarios en la región y que funcionaran como biorreactores lo más eficientes posibles de manera de acelerar la descomposición anaeróbica, maximizar la recuperación de biogás y quemarlo en la forma más eficiente y productiva, neutralizando la basura en el menor tiempo posible. Esto permitiría reacondicionar y recuperar los terrenos para usos posteriores que sean de máximo valor para la sociedad. En teoría también se podría pensar en rellenos sanitarios tan eficientes como biorreactores, con mínima basura no orgánica y de lenta descomposición, óptima humedad y temperatura, máxima eficiencia en generación y captación de gas, y biodegradación acelerada en cada celda, que podrían ser reutilizados indefinidamente. Si funcionaran de esta manera se lograría diversificar la matriz energética, adicionando a la oferta del país la proveniente de fuentes termoeléctricas menos contaminantes que las tradicionales.

Actualmente la falta de información precisa y detallada acerca de las características de los vertederos agrega incertidumbres de tipo estructural para analizar con precisión su potencial de reducción de gases de efecto invernadero, de manera que uno de los más importantes desafíos para el futuro desarrollo de este sector tiene que ver con la necesidad de contar con información primaria acerca de las características de construcción y operación de los vertederos, de manera de identificar con mayor precisión el potencial de generación y aprovechamiento de biogás que se genera en ellos.

Adicionalmente, se aprecia que en la Región de Valparaíso al igual que en el resto del país se han sucedido avances en el control del biogás de los vertederos, con lo que se puede decir que hoy en día no se dan situaciones de generación de biogás relevantes que no estén sujetas a control para evitar los impactos ambientales y los riesgos a la seguridad que pudiese generar. De esta manera, el sector se encuentra en un buen momento para abordar etapas más desarrolladas y pensar en crearse sinergias que le permitan emprender esta evolución en forma eficiente y congruente con las políticas de otros sectores. La principal dirección que puede tomar esta evolución se sustenta fuertemente en las potenciales sinergias entre los acuerdos internacionales emanados del Protocolo de Kyoto y las regulaciones del sector para el perfeccionamiento de sus acciones.

Una estrategia clara con miras a potenciar el desarrollo sustentable del país guarda relación con la participación agresiva en acuerdos globales como el Protocolo de Kyoto y sus instrumentos dirigidos a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al mínimo costo posible. Este es el caso del Mecanismo de Desarrollo Limpio que se presenta como una oportunidad para potenciar el perfeccionamiento de sectores de la economía nacional con relevancia ambiental, haciendo más efectiva su gestión y posibilitando la internalización de los factores negativos externos que pueda generar, al mismo tiempo que generan fuentes de trabajo y atraen inversión.

En particular en el sector de la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios, un sector que tiende a crecer en Chile, la participación en este mecanismo permitiría perfeccionar su gestión e infraestructura, pero además permitiría acercarse a la resolución de un problema de gran impacto sobre sus posibilidades de desarrollo futuro. El transformar estas instancias en proyectos industriales que generen beneficios para las

comunidades vecinas en vez de costos, se plantea como una necesidad para el futuro desarrollo del sector y para la continuación de una tecnología de disposición de residuos de bajo costo que se plantea como la única posible para países en niveles de desarrollo como Chile.

A través de la obtención de datos actuales de los vertederos de la Región de Valparaíso, el análisis individual de cada uno de ellos y la comparación con un escenario teórico, se logró determinar el potencial energético de los sitios de disposición final de residuos sólidos domiciliarios. Estos cálculos nos indican que el actual potencial de energía eléctrica podría llegar a generar al año 2011 aproximadamente 41 mil MW, reduciendo de esta manera alrededor de 24 mil toneladas de gases de efecto invernadero. Este primer acercamiento sugiere líneas de investigación futuras para mejorar la información registrada con miras a una real utilización del recurso, obteniendo de esta manera una nueva alternativa para diversificar la matriz energética chilena.

Capítulo 8

Bibliografía

8. BIBLIOGRAFIA

- (1) ACURIO, G. 1998. **Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe**, página 57. Segunda Edición, Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud, Serie Ambiental No. 18.
- (2) CHILE. Instituto Nacional de Normalización. 2003. **Proyecto de norma en consulta pública: Nch2880.c2003: Compost – Clasificación y requisitos**. Página 7.
- (3) COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). **Antecedentes para la Elaboración de la Política Nacional de Residuos Sólidos. Documento de Discusión**. 2001.
- (4) COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). **Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos**. 2005.
- (5) EASTERN RESEARCH GROUP INC. 2001. Volumen III: Capítulo 15, **Emission Inventory Improvement Program, LANDFILLS**, Revised Final Report for US Environmental Protection Agency.
- (6) FIELD, B. 1997. **Economía ambiental, una introducción**. Santa Fe de Bogota, Colombia. McGraw-Hill. 587 p.
- (7) GUNNERSON, CHARLES D, STUCKEY, DAVID. 1986. **Anaerobic Digestion, Principles and Practices for Biogas Systems**. World Bank Technical Paper 49, UNDP Project Management Report, Integrated Resource Recovery, Series N° 5.
- (8) SZANTO, M. 1996. **Guía para la identificación de proyectos y formulación de estudios de prefactibilidad para manejo de residuos sólidos urbanos. Santiago, Chile**. Instituto Latinoamericano y del caribe de planificación económica y social - Ilpes. 284 p.

-
- (9) Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. **Gestión Integral de Residuos Sólidos**, Volumen I. McGraw-Hill, España 1994.
- (10) VALDES DE F, S. 2004. **Estudio de políticas de abatimiento de gas de efecto invernadero y desarrollo económico: Sinergias y desafíos en el sector de los rellenos sanitarios en el caso de Chile**. Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente. Chile.
- (11) VARNERO, M. 2001. **Residuos orgánicos en Chile: posibilidades de tratamiento**. p 1-10. En: Centro AGRIMED (Ed.). Seminario-Taller internacional: Manejo de residuos sólidos orgánicos para una agricultura limpia, Universidad de Chile, Santiago 9-10 de Octubre de 2001. Conferencia de residuos orgánicos en Chile: posibilidades de tratamiento. Universidad de Chile, Santiago.
- (12) MERZ, R.C., y STONE, R.: **Special Studies of a Sanitary Landfill**, U.S. Department of Health Education and Welfare, Washington DC, 1970.
- (13) Conestoga-Rovers & Associates (for Waste Treatment Division, Hazardous Waste Branch), **Guidance Document for Landfill Gas Management**, Environment Canada, Ottawa, 1996.
- (14) Valdés De F, S., González S., Volante N. 2001, **La Problemática Ambiental en Chile: Derecho y Medio Ambiente. Desafíos y Oportunidades para las Empresas**, GEMINES CONSULTORES S.A., Santiago.
- (15) Bitrán & Asociados, Economía de los Recursos Naturales y Medio Ambiente **Estudio de Casos de Aprovechamiento Energético de biogás de Rellenos Sanitarios en Chile: Los rellenos sanitarios La FERIA, Lo Errázuriz y Lepanto en Santiago y El Molle en Valparaíso**. Proyecto Banco Mundial/ESMAP/CIDA. 2003.
- (16) Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP). **Manual para la preparación de proyectos de generación de energía a partir de gas de**

- rellenos sanitarios en América Latina y el Caribe, preparado para El Banco Mundial. 2004.**
- (17) Zison, S.W., **Landfill Gas Production Curves, Myth vs. Reality**, GRCD 1990.
- (18) Augenstein, D., and J Pacey, **Landfill Methane Models**. 14th Annual Landfill Gas Symposium Proceedings, Research Triangle Park, 1991.
- (19) PNUMA/RISOE. **Introducción al Mecanismo de Desarrollo Limpio**. 2002.
- (20) Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. **Tercer Informe de Evaluación, Cambio Climático - La Base Científica**. Página 44.
- (21) EPA. **Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Versión 3.02 User's Guide**. 2005.
- (22) EPA. **Manual de Usuario Modelo Mexicano de Biogás, Versión 1.0**. 2003.
- (23) EPA. Landfill Methane Outreach Program, **A Landfill Gas to Energy Project Development Handbook**. 1996.
- (24) Ministerio de Planificación. División de planificación, estudios e inversión. **Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables**. 2006.
- (25) SAEZ, A. 2003. **Manual de energía: electricidad y gas natural Santiago**. Gas Atacama, Chile.
- (26) Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central. CDEC. **Estadísticas de Operación 1996 – 2005**.
- (27) Banco Mundial. Iniciativa para la obtención de energía a partir de gas de relleno sanitario en la región de América Latina. Tecnología de recuperación y utilización

- de gas. http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_access_004_es.htm (visita: mayo 2006).
- (28) Banco Mundial. Iniciativa para la obtención de energía a partir de gas de relleno sanitario en la región de América Latina. Acerca de la iniciativa. http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_about_es.htm (visita: mayo 2006).
- (29) Agencia de Protección Ambiental. Aire y Radiación, Cambios Climáticos. http://www.epa.gov/air/espanol/calentamiento_global/what.html (visita: octubre 2006).
- (30) Asociación de Distribuidores de Gas Natural. Crisis del Gas Natural Argentino. http://www.agnchile.cl/prontus_agnchile/site/artic/20050111/pags/20050111130532.html (visita: noviembre 2006)
- (31) Comisión Nacional de Energía. Hidrocarburos, exploración y explotación. http://www.cne.cl/hidrocarburos/f_petroleo.html (visita: noviembre 2006).
- (32) Agencia de Protección Ambiental. Methane, Sources and Emissions. <http://www.epa.gov/methane/sources.html> (visita: noviembre 2006).
- (33) Agencia de Protección Ambiental, Internacional Activities. <http://epa.gov/lmop/international.htm> (visita: noviembre 2006).

Capitulo 9

Anexos

Anexo 1: Tablas de proyecciones de generación y recuperación de biogás.

1. Provincia de Valparaíso

a. Vertedero De Marco

Tabla 17: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero De Marco.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1993	33.086	33.086	0,0	0	0%	0,0	0
1994	34.465	67.551	0,5	30	0%	0,0	0
1995	35.901	103.452	1,0	60	0%	0,0	0
1996	37.397	140.849	1,5	90	0%	0,0	0
1997	38.955	179.804	2,0	120	0%	0,0	0
1998	40.578	220.382	2,5	149	0%	0,0	0
1999	42.269	262.651	3,0	179	0%	0,0	0
2000	44.030	306.681	3,5	209	0%	0,0	0
2001	45.865	352.546	4,0	239	0%	0,0	0
2002	47.776	400.322	4,5	269	0%	0,0	0
2003	49.766	450.088	5,0	300	0%	0,0	0
2004	51.840	501.928	5,5	330	0%	0,0	0
2005	54.000	555.928	6,0	362	0%	0,0	0
2006	56.160	612.088	6,6	393	0%	0,0	0
2007	58.406	670.494	7,1	425	50%	3,5	213
2008	60.743	731.237	7,6	458	50%	3,8	229
2009	63.172	794.410	8,2	491	50%	4,1	245
2010	65.699	860.109	8,7	525	50%	4,4	262
2011	0	860.109	9,3	559	50%	4,7	279
2012	0	860.109	8,9	532	50%	4,4	266
2013	0	860.109	8,4	506	50%	4,2	253
2014	0	860.109	8,0	481	50%	4,0	241
2015	0	860.109	7,6	458	50%	3,8	229
2016	0	860.109	7,3	435	50%	3,6	218
2017	0	860.109	6,9	414	50%	3,5	207
2018	0	860.109	6,6	394	50%	3,3	197
2019	0	860.109	6,2	375	50%	3,1	187
2020	0	860.109	5,9	356	50%	3,0	178
2021	0	860.109	5,6	339	50%	2,8	169
2022	0	860.109	5,4	322	50%	2,7	161
2023	0	860.109	5,1	307	50%	2,6	153
2024	0	860.109	4,9	292	50%	2,4	146
2025	0	860.109	4,6	278	50%	2,3	139
2026	0	860.109	4,4	264	50%	2,2	132
2027	0	860.109	4,2	251	50%	2,1	126
2028	0	860.109	4,0	239	50%	2,0	119
2029	0	860.109	3,8	227	50%	1,9	114
2030	0	860.109	3,6	216	50%	1,8	108

b. Vertedero El Molle

Tabla 18: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero El Molle.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1983	82.122	82.122	0,0	0	0%	0,0	0
1984	85.543	167.665	1,2	75	0%	0,0	0
1985	89.108	256.773	2,5	149	0%	0,0	0
1986	92.821	349.593	3,7	223	0%	0,0	0
1987	96.688	446.281	5,0	297	0%	0,0	0
1988	100.717	546.998	6,2	371	0%	0,0	0
1989	104.913	651.911	7,4	445	0%	0,0	0
1990	109.285	761.196	8,6	519	0%	0,0	0
1991	113.838	875.034	9,9	593	0%	0,0	0
1992	118.581	993.615	11,1	668	0%	0,0	0
1993	123.522	1.117.138	12,4	744	0%	0,0	0
1994	128.669	1.245.807	13,7	820	0%	0,0	0
1995	134.030	1.379.837	15,0	897	0%	0,0	0
1996	139.615	1.519.452	16,3	976	0%	0,0	0
1997	145.432	1.664.884	17,6	1056	0%	0,0	0
1998	151.492	1.816.376	18,9	1137	0%	0,0	0
1999	157.804	1.974.180	20,3	1219	0%	0,0	0
2000	164.379	2.138.559	21,7	1304	0%	0,0	0
2001	171.228	2.309.787	23,2	1390	0%	0,0	0
2002	178.363	2.488.150	24,6	1479	0%	0,0	0
2003	185.795	2.673.944	26,2	1569	0%	0,0	0
2004	193.536	2.867.480	27,7	1662	0%	0,0	0
2005	201.600	3.069.080	29,3	1758	0%	0,0	0
2006	209.664	3.278.744	30,9	1856	0%	0,0	0
2007	218.051	3.496.795	32,6	1957	75%	24,5	1.467
2008	226.773	3.723.568	34,3	2060	75%	25,8	1.545
2009	235.844	3.959.412	36,1	2166	75%	27,1	1.625
2010	245.277	4.204.689	37,9	2276	75%	28,4	1.707
2011	0	4.204.689	39,8	2389	75%	29,9	1.792
2012	0	4.204.689	37,9	2272	75%	28,4	1.704
2013	0	4.204.689	36,0	2161	75%	27,0	1.621
2014	0	4.204.689	34,3	2056	75%	25,7	1.542
2015	0	4.204.689	32,6	1956	75%	24,4	1.467
2016	0	4.204.689	31,0	1860	75%	23,3	1.395
2017	0	4.204.689	29,5	1770	75%	22,1	1.327
2018	0	4.204.689	28,1	1683	75%	21,0	1.262
2019	0	4.204.689	26,7	1601	75%	20,0	1.201
2020	0	4.204.689	25,4	1523	75%	19,0	1.142
2021	0	4.204.689	24,1	1449	75%	18,1	1.087
2022	0	4.204.689	23,0	1378	75%	17,2	1.034
2023	0	4.204.689	21,8	1311	75%	16,4	983
2024	0	4.204.689	20,8	1247	75%	15,6	935
2025	0	4.204.689	19,8	1186	75%	14,8	890
2026	0	4.204.689	18,8	1128	75%	14,1	846
2027	0	4.204.689	17,9	1073	75%	13,4	805

2028	0	4.204.689	17,0	1021	75%	12,8	766
2029	0	4.204.689	16,2	971	75%	12,1	728
2030	0	4.204.689	15,4	924	75%	11,5	693

c. Basural de Quintero

Tabla 19: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Basural de Quintero.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1984	5.820	5.820	0,0	0	0%	0,0	0
1985	6.063	11.883	0,1	5	0%	0,0	0
1986	6.315	18.198	0,2	11	0%	0,0	0
1987	6.578	24.776	0,3	16	0%	0,0	0
1988	6.852	31.628	0,4	21	0%	0,0	0
1989	7.138	38.766	0,4	26	0%	0,0	0
1990	7.435	46.201	0,5	32	0%	0,0	0
1991	7.745	53.946	0,6	37	0%	0,0	0
1992	8.068	62.014	0,7	42	0%	0,0	0
1993	8.404	70.418	0,8	47	0%	0,0	0
1994	8.754	79.172	0,9	53	0%	0,0	0
1995	9.119	88.291	1,0	58	0%	0,0	0
1996	9.499	97.790	1,1	64	0%	0,0	0
1997	9.895	107.684	1,2	69	0%	0,0	0
1998	10.307	117.991	1,2	75	0%	0,0	0
1999	10.736	128.728	1,3	81	0%	0,0	0
2000	11.184	139.911	1,4	86	0%	0,0	0
2001	11.650	151.561	1,5	92	0%	0,0	0
2002	12.135	163.696	1,6	99	0%	0,0	0
2003	12.641	176.337	1,7	105	0%	0,0	0
2004	13.167	189.504	1,9	111	0%	0,0	0
2005	13.716	203.220	2,0	118	0%	0,0	0
2006	14.265	217.485	2,1	125	0%	0,0	0
2007	14.835	232.320	2,2	132	50%	1,1	66
2008	15.429	247.748	2,3	139	50%	1,2	69
2009	16.046	263.794	2,4	146	50%	1,2	73
2010	16.688	280.482	2,6	153	50%	1,3	77
2011	0	280.482	2,7	161	50%	1,3	81
2012	0	280.482	2,6	153	50%	1,3	77
2013	0	280.482	2,4	146	50%	1,2	73
2014	0	280.482	2,3	139	50%	1,2	69
2015	0	280.482	2,2	132	50%	1,1	66
2016	0	280.482	2,1	126	50%	1,0	63
2017	0	280.482	2,0	119	50%	1,0	60
2018	0	280.482	1,9	114	50%	0,9	57
2019	0	280.482	1,8	108	50%	0,9	54
2020	0	280.482	1,7	103	50%	0,9	51
2021	0	280.482	1,6	98	50%	0,8	49
2022	0	280.482	1,6	93	50%	0,8	47

2023	0	280.482	1,5	88	50%	0,7	44
2024	0	280.482	1,4	84	50%	0,7	42
2025	0	280.482	1,3	80	50%	0,7	40
2026	0	280.482	1,3	76	50%	0,6	38
2027	0	280.482	1,2	72	50%	0,6	36
2028	0	280.482	1,1	69	50%	0,6	34
2029	0	280.482	1,1	66	50%	0,5	33
2030	0	280.482	1,0	62	50%	0,5	31

d. Vertedero de Puchuncaví

Tabla 20: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero de Puchuncaví.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1993	2.640	2.640	0,0	0	0%	0,0	0
1994	2.750	5.389	0,0	2	0%	0,0	0
1995	2.864	8.253	0,1	5	0%	0,0	0
1996	2.983	11.237	0,1	7	0%	0,0	0
1997	3.108	14.344	0,2	10	0%	0,0	0
1998	3.237	17.582	0,2	12	0%	0,0	0
1999	3.372	20.954	0,2	14	0%	0,0	0
2000	3.513	24.466	0,3	17	0%	0,0	0
2001	3.659	28.125	0,3	19	0%	0,0	0
2002	3.811	31.937	0,4	21	0%	0,0	0
2003	3.970	35.907	0,4	24	0%	0,0	0
2004	4.136	40.043	0,4	26	0%	0,0	0
2005	4.308	44.351	0,5	29	0%	0,0	0
2006	4.480	48.831	0,5	31	0%	0,0	0
2007	4.660	53.490	0,6	34	50%	0,3	17
2008	4.846	58.336	0,6	37	50%	0,3	18
2009	5.040	63.376	0,7	39	50%	0,3	20
2010	5.241	68.617	0,7	42	50%	0,3	21
2011	0	68.617	0,7	45	50%	0,4	22
2012	0	68.617	0,7	42	50%	0,4	21
2013	0	68.617	0,7	40	50%	0,3	20
2014	0	68.617	0,6	38	50%	0,3	19
2015	0	68.617	0,6	37	50%	0,3	18
2016	0	68.617	0,6	35	50%	0,3	17
2017	0	68.617	0,6	33	50%	0,3	17
2018	0	68.617	0,5	31	50%	0,3	16
2019	0	68.617	0,5	30	50%	0,2	15
2020	0	68.617	0,5	28	50%	0,2	14
2021	0	68.617	0,5	27	50%	0,2	14
2022	0	68.617	0,4	26	50%	0,2	13
2023	0	68.617	0,4	24	50%	0,2	12
2024	0	68.617	0,4	23	50%	0,2	12
2025	0	68.617	0,4	22	50%	0,2	11
2026	0	68.617	0,4	21	50%	0,2	11
2027	0	68.617	0,3	20	50%	0,2	10

2028	0	68.617	0,3	19	50%	0,2	10
2029	0	68.617	0,3	18	50%	0,2	9
2030	0	68.617	0,3	17	50%	0,1	9

e. Vertedero de Casablanca

Tabla 21: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero de Casablanca.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1985	3.236	3.236	0,0	0	0%	0,0	0
1986	3.370	6.606	0,0	3	0%	0,0	0
1987	3.511	10.117	0,1	6	0%	0,0	0
1988	3.657	13.774	0,1	9	0%	0,0	0
1989	3.809	17.583	0,2	12	0%	0,0	0
1990	3.968	21.551	0,2	15	0%	0,0	0
1991	4.133	25.684	0,3	18	0%	0,0	0
1992	4.306	29.990	0,3	20	0%	0,0	0
1993	4.485	34.475	0,4	23	0%	0,0	0
1994	4.672	39.147	0,4	26	0%	0,0	0
1995	4.867	44.013	0,5	29	0%	0,0	0
1996	5.069	49.083	0,5	32	0%	0,0	0
1997	5.281	54.363	0,6	35	0%	0,0	0
1998	5.501	59.864	0,6	38	0%	0,0	0
1999	5.730	65.594	0,7	42	0%	0,0	0
2000	5.969	71.562	0,7	45	0%	0,0	0
2001	6.217	77.779	0,8	48	0%	0,0	0
2002	6.476	84.256	0,9	51	0%	0,0	0
2003	6.746	91.002	0,9	55	0%	0,0	0
2004	7.027	98.029	1,0	58	0%	0,0	0
2005	7.320	105.349	1,0	62	0%	0,0	0
2006	7.613	112.962	1,1	65	0%	0,0	0
2007	7.917	120.879	1,2	69	50%	0,6	35
2008	8.234	129.113	1,2	73	50%	0,6	37
2009	8.563	137.676	1,3	77	50%	0,6	39
2010	8.906	146.582	1,4	81	50%	0,7	41
2011	0	146.582	1,4	85	50%	0,7	43
2012	0	146.582	1,4	81	50%	0,7	41
2013	0	146.582	1,3	77	50%	0,6	39
2014	0	146.582	1,2	73	50%	0,6	37
2015	0	146.582	1,2	70	50%	0,6	35
2016	0	146.582	1,1	66	50%	0,6	33
2017	0	146.582	1,1	63	50%	0,5	32
2018	0	146.582	1,0	60	50%	0,5	30
2019	0	146.582	1,0	57	50%	0,5	29
2020	0	146.582	0,9	54	50%	0,5	27
2021	0	146.582	0,9	52	50%	0,4	26
2022	0	146.582	0,8	49	50%	0,4	25
2023	0	146.582	0,8	47	50%	0,4	23

2024	0	146.582	0,7	45	50%	0,4	22
2025	0	146.582	0,7	42	50%	0,4	21
2026	0	146.582	0,7	40	50%	0,3	20
2027	0	146.582	0,6	38	50%	0,3	19
2028	0	146.582	0,6	36	50%	0,3	18
2029	0	146.582	0,6	35	50%	0,3	17
2030	0	146.582	0,5	33	50%	0,3	16

2. Provincia de Quillota

a. Vertedero de San Pedro

Tabla 22: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero de San Pedro.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1996	26.128	26.128	0,0	0	0%	0,0	0
1997	27.217	53.345	0,4	24	0%	0,0	0
1998	28.351	81.695	0,8	47	0%	0,0	0
1999	29.532	111.227	1,2	71	0%	0,0	0
2000	30.762	141.989	1,6	95	0%	0,0	0
2001	32.044	174.034	2,0	118	0%	0,0	0
2002	33.379	207.413	2,4	141	0%	0,0	0
2003	34.770	242.183	2,7	165	0%	0,0	0
2004	36.219	278.402	3,1	189	0%	0,0	0
2005	37.728	316.130	3,5	213	0%	0,0	0
2006	39.237	355.367	3,9	237	0%	0,0	0
2007	40.807	396.174	4,3	261	75%	3,3	196
2008	42.439	438.612	4,8	285	75%	3,6	214
2009	44.136	482.748	5,2	310	75%	3,9	233
2010	45.902	528.650	5,6	335	75%	4,2	251
2011	0	528.650	6,0	361	75%	4,5	271
2012	0	528.650	5,7	343	75%	4,3	257
2013	0	528.650	5,4	326	75%	4,1	245
2014	0	528.650	5,2	311	75%	3,9	233
2015	0	528.650	4,9	295	75%	3,7	222
2016	0	528.650	4,7	281	75%	3,5	211
2017	0	528.650	4,5	267	75%	3,3	200
2018	0	528.650	4,2	254	75%	3,2	191
2019	0	528.650	4,0	242	75%	3,0	181
2020	0	528.650	3,8	230	75%	2,9	173
2021	0	528.650	3,6	219	75%	2,7	164
2022	0	528.650	3,5	208	75%	2,6	156
2023	0	528.650	3,3	198	75%	2,5	148
2024	0	528.650	3,1	188	75%	2,4	141
2025	0	528.650	3,0	179	75%	2,2	134
2026	0	528.650	2,8	170	75%	2,1	128
2027	0	528.650	2,7	162	75%	2,0	122
2028	0	528.650	2,6	154	75%	1,9	116

2029	0	528.650	2,4	147	75%	1,8	110
2030	0	528.650	2,3	140	75%	1,7	105

b. Vertedero Intercomunal de Limache

Tabla 23: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero Intercomunal de Limache.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1996	11.261	11.261	0,0	0	0%	0,0	0
1997	11.730	22.990	0,2	10	0%	0,0	0
1998	12.219	35.209	0,3	20	0%	0,0	0
1999	12.728	47.937	0,5	31	0%	0,0	0
2000	13.258	61.195	0,7	41	0%	0,0	0
2001	13.810	75.005	0,8	51	0%	0,0	0
2002	14.386	89.391	1,0	61	0%	0,0	0
2003	14.985	104.376	1,2	71	0%	0,0	0
2004	15.610	119.986	1,4	81	0%	0,0	0
2005	16.260	136.246	1,5	92	0%	0,0	0
2006	16.910	153.156	1,7	102	0%	0,0	0
2007	17.587	170.743	1,9	112	50%	0,9	56
2008	18.290	189.033	2,0	123	50%	1,0	61
2009	19.022	208.055	2,2	134	50%	1,1	67
2010	19.783	227.838	2,4	144	50%	1,2	72
2011	0	227.838	2,6	155	50%	1,3	78
2012	0	227.838	2,5	148	50%	1,2	74
2013	0	227.838	2,3	141	50%	1,2	70
2014	0	227.838	2,2	134	50%	1,1	67
2015	0	227.838	2,1	127	50%	1,1	64
2016	0	227.838	2,0	121	50%	1,0	61
2017	0	227.838	1,9	115	50%	1,0	58
2018	0	227.838	1,8	110	50%	0,9	55
2019	0	227.838	1,7	104	50%	0,9	52
2020	0	227.838	1,7	99	50%	0,8	50
2021	0	227.838	1,6	94	50%	0,8	47
2022	0	227.838	1,5	90	50%	0,7	45
2023	0	227.838	1,4	85	50%	0,7	43
2024	0	227.838	1,4	81	50%	0,7	41
2025	0	227.838	1,3	77	50%	0,6	39
2026	0	227.838	1,2	73	50%	0,6	37
2027	0	227.838	1,2	70	50%	0,6	35
2028	0	227.838	1,1	66	50%	0,6	33
2029	0	227.838	1,1	63	50%	0,5	32
2030	0	227.838	1,0	60	50%	0,5	30

3. Provincia de Petorca

a. Vertedero de Chicolco

Tabla 24: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero de Chicolco.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1989	849	849	0,0	0	0%	0,0	0
1990	885	1.734	0,0	1	0%	0,0	0
1991	922	2.656	0,0	2	0%	0,0	0
1992	960	3.615	0,0	2	0%	0,0	0
1993	1.000	4.615	0,1	3	0%	0,0	0
1994	1.042	5.657	0,1	4	0%	0,0	0
1995	1.085	6.742	0,1	5	0%	0,0	0
1996	1.130	7.872	0,1	5	0%	0,0	0
1997	1.177	9.049	0,1	6	0%	0,0	0
1998	1.226	10.276	0,1	7	0%	0,0	0
1999	1.278	11.553	0,1	8	0%	0,0	0
2000	1.331	12.884	0,1	8	0%	0,0	0
2001	1.386	14.270	0,2	9	0%	0,0	0
2002	1.444	15.714	0,2	10	0%	0,0	0
2003	1.504	17.218	0,2	11	0%	0,0	0
2004	1.567	18.785	0,2	12	0%	0,0	0
2005	1.632	20.417	0,2	13	0%	0,0	0
2006	1.697	22.114	0,2	13	0%	0,0	0
2007	1.765	23.879	0,2	14	75%	0,2	11
2008	1.836	25.715	0,3	15	75%	0,2	11
2009	1.909	27.624	0,3	16	75%	0,2	12
2010	1.986	29.610	0,3	17	75%	0,2	13
2011	0	29.610	0,3	18	75%	0,2	14
2012	0	29.610	0,3	17	75%	0,2	13
2013	0	29.610	0,3	16	75%	0,2	12
2014	0	29.610	0,3	16	75%	0,2	12
2015	0	29.610	0,2	15	75%	0,2	11
2016	0	29.610	0,2	14	75%	0,2	11
2017	0	29.610	0,2	13	75%	0,2	10
2018	0	29.610	0,2	13	75%	0,2	10
2019	0	29.610	0,2	12	75%	0,2	9
2020	0	29.610	0,2	12	75%	0,1	9
2021	0	29.610	0,2	11	75%	0,1	8
2022	0	29.610	0,2	10	75%	0,1	8
2023	0	29.610	0,2	10	75%	0,1	7
2024	0	29.610	0,2	9	75%	0,1	7
2025	0	29.610	0,2	9	75%	0,1	7
2026	0	29.610	0,1	9	75%	0,1	6
2027	0	29.610	0,1	8	75%	0,1	6
2028	0	29.610	0,1	8	75%	0,1	6
2029	0	29.610	0,1	7	75%	0,1	6
2030	0	29.610	0,1	7	75%	0,1	5

b. Vertedero de Cabildo

Tabla 25: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero de Cabildo.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1993	2.000	2.000	0,0	0	0%	0,0	0
1994	2.083	4.083	0,0	2	0%	0,0	0
1995	2.170	6.253	0,1	4	0%	0,0	0
1996	2.260	8.514	0,1	5	0%	0,0	0
1997	2.355	10.868	0,1	7	0%	0,0	0
1998	2.453	13.321	0,2	9	0%	0,0	0
1999	2.555	15.876	0,2	11	0%	0,0	0
2000	2.661	18.537	0,2	13	0%	0,0	0
2001	2.772	21.309	0,2	14	0%	0,0	0
2002	2.888	24.197	0,3	16	0%	0,0	0
2003	3.008	27.205	0,3	18	0%	0,0	0
2004	3.133	30.339	0,3	20	0%	0,0	0
2005	3.264	33.603	0,4	22	0%	0,0	0
2006	3.395	36.997	0,4	24	0%	0,0	0
2007	3.530	40.528	0,4	26	75%	0,3	19
2008	3.672	44.199	0,5	28	75%	0,3	21
2009	3.818	48.017	0,5	30	75%	0,4	22
2010	3.971	51.988	0,5	32	75%	0,4	24
2011	0	51.988	0,6	34	75%	0,4	25
2012	0	51.988	0,5	32	75%	0,4	24
2013	0	51.988	0,5	31	75%	0,4	23
2014	0	51.988	0,5	29	75%	0,4	22
2015	0	51.988	0,5	28	75%	0,3	21
2016	0	51.988	0,4	26	75%	0,3	20
2017	0	51.988	0,4	25	75%	0,3	19
2018	0	51.988	0,4	24	75%	0,3	18
2019	0	51.988	0,4	23	75%	0,3	17
2020	0	51.988	0,4	22	75%	0,3	16
2021	0	51.988	0,3	20	75%	0,3	15
2022	0	51.988	0,3	19	75%	0,2	15
2023	0	51.988	0,3	19	75%	0,2	14
2024	0	51.988	0,3	18	75%	0,2	13
2025	0	51.988	0,3	17	75%	0,2	13
2026	0	51.988	0,3	16	75%	0,2	12
2027	0	51.988	0,3	15	75%	0,2	11
2028	0	51.988	0,2	14	75%	0,2	11
2029	0	51.988	0,2	14	75%	0,2	10
2030	0	51.988	0,2	13	75%	0,2	10

4. Provincia de San Felipe

a. Vertedero La Hormiga

Tabla 26: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero La Hormiga.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1994	35.231	35.231	0,0	0	0%	0,0	0
1995	36.699	71.930	0,5	32	0%	0,0	0
1996	38.228	110.157	1,1	64	0%	0,0	0
1997	39.821	149.978	1,6	96	0%	0,0	0
1998	41.480	191.458	2,1	127	0%	0,0	0
1999	43.208	234.666	2,7	159	0%	0,0	0
2000	45.009	279.675	3,2	191	0%	0,0	0
2001	46.884	326.559	3,7	222	0%	0,0	0
2002	48.837	375.396	4,2	254	0%	0,0	0
2003	50.872	426.269	4,8	287	0%	0,0	0
2004	52.992	479.261	5,3	319	0%	0,0	0
2005	55.200	534.461	5,9	352	0%	0,0	0
2006	57.408	591.869	6,4	385	0%	0,0	0
2007	59.704	651.573	7,0	419	50%	3,5	209
2008	62.092	713.665	7,5	453	50%	3,8	226
2009	64.576	778.242	8,1	487	50%	4,1	244
2010	67.159	845.401	8,7	522	50%	4,4	261
2011	0	845.401	9,3	558	50%	4,7	279
2012	0	845.401	8,8	531	50%	4,4	265
2013	0	845.401	8,4	505	50%	4,2	252
2014	0	845.401	8,0	480	50%	4,0	240
2015	0	845.401	7,6	457	50%	3,8	228
2016	0	845.401	7,2	435	50%	3,6	217
2017	0	845.401	6,9	413	50%	3,4	207
2018	0	845.401	6,6	393	50%	3,3	197
2019	0	845.401	6,2	374	50%	3,1	187
2020	0	845.401	5,9	356	50%	3,0	178
2021	0	845.401	5,6	339	50%	2,8	169
2022	0	845.401	5,4	322	50%	2,7	161
2023	0	845.401	5,1	306	50%	2,6	153
2024	0	845.401	4,9	291	50%	2,4	146
2025	0	845.401	4,6	277	50%	2,3	139
2026	0	845.401	4,4	264	50%	2,2	132
2027	0	845.401	4,2	251	50%	2,1	125
2028	0	845.401	4,0	239	50%	2,0	119
2029	0	845.401	3,8	227	50%	1,9	113
2030	0	845.401	3,6	216	50%	1,8	108

b. Vertedero de Tabolango

Tabla 27: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero de Tabolango.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1993	1.838	1.838	0,0	0	0%	0,0	0
1994	1.915	3.753	0,0	2	0%	0,0	0
1995	1.995	5.747	0,1	3	0%	0,0	0
1996	2.078	7.825	0,1	5	0%	0,0	0
1997	2.164	9.989	0,1	7	0%	0,0	0
1998	2.254	12.243	0,1	8	0%	0,0	0
1999	2.348	14.592	0,2	10	0%	0,0	0
2000	2.446	17.038	0,2	12	0%	0,0	0
2001	2.548	19.586	0,2	13	0%	0,0	0
2002	2.654	22.240	0,2	15	0%	0,0	0
2003	2.765	25.005	0,3	17	0%	0,0	0
2004	2.880	27.885	0,3	18	0%	0,0	0
2005	3.000	30.885	0,3	20	0%	0,0	0
2006	3.120	34.005	0,4	22	0%	0,0	0
2007	3.245	37.250	0,4	24	50%	0,2	12
2008	3.375	40.624	0,4	25	50%	0,2	13
2009	3.510	44.134	0,5	27	50%	0,2	14
2010	3.650	47.784	0,5	29	50%	0,2	15
2011	0	47.784	0,5	31	50%	0,3	16
2012	0	47.784	0,5	30	50%	0,2	15
2013	0	47.784	0,5	28	50%	0,2	14
2014	0	47.784	0,4	27	50%	0,2	13
2015	0	47.784	0,4	25	50%	0,2	13
2016	0	47.784	0,4	24	50%	0,2	12
2017	0	47.784	0,4	23	50%	0,2	12
2018	0	47.784	0,4	22	50%	0,2	11
2019	0	47.784	0,3	21	50%	0,2	10
2020	0	47.784	0,3	20	50%	0,2	10
2021	0	47.784	0,3	19	50%	0,2	9
2022	0	47.784	0,3	18	50%	0,1	9
2023	0	47.784	0,3	17	50%	0,1	9
2024	0	47.784	0,3	16	50%	0,1	8
2025	0	47.784	0,3	15	50%	0,1	8
2026	0	47.784	0,2	15	50%	0,1	7
2027	0	47.784	0,2	14	50%	0,1	7
2028	0	47.784	0,2	13	50%	0,1	7
2029	0	47.784	0,2	13	50%	0,1	6
2030	0	47.784	0,2	12	50%	0,1	6

5. Provincia de San Antonio

a. Vertedero de Cartagena

Tabla 28: Proyecciones de generación y recuperación de biogás. Vertedero de Cartagena.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1991	78.731	78.731	0,0	0	0%	0,0	0
1992	82.012	160.743	1,2	72	0%	0,0	0
1993	85.429	246.172	2,4	143	0%	0,0	0
1994	88.988	335.160	3,6	214	0%	0,0	0
1995	92.696	427.857	4,7	285	0%	0,0	0
1996	96.559	524.415	5,9	355	0%	0,0	0
1997	100.582	624.997	7,1	426	0%	0,0	0
1998	104.773	729.770	8,3	497	0%	0,0	0
1999	109.138	838.908	9,5	569	0%	0,0	0
2000	113.686	952.594	10,7	640	0%	0,0	0
2001	118.423	1.071.017	11,9	713	0%	0,0	0
2002	123.357	1.194.374	13,1	786	0%	0,0	0
2003	128.497	1.322.871	14,3	860	0%	0,0	0
2004	133.851	1.456.722	15,6	936	0%	0,0	0
2005	139.428	1.596.150	16,9	1012	0%	0,0	0
2006	145.005	1.741.155	18,2	1090	0%	0,0	0
2007	150.805	1.891.960	19,5	1169	50%	9,7	584
2008	156.838	2.048.797	20,8	1249	50%	10,4	625
2009	163.111	2.211.908	22,2	1332	50%	11,1	666
2010	169.636	2.381.544	23,6	1415	50%	11,8	708
2011	0	2.381.544	25,0	1501	50%	12,5	751
2012	0	2.381.544	23,8	1428	50%	11,9	714
2013	0	2.381.544	22,6	1358	50%	11,3	679
2014	0	2.381.544	21,5	1292	50%	10,8	646
2015	0	2.381.544	20,5	1229	50%	10,2	615
2016	0	2.381.544	19,5	1169	50%	9,7	585
2017	0	2.381.544	18,5	1112	50%	9,3	556
2018	0	2.381.544	17,6	1058	50%	8,8	529
2019	0	2.381.544	16,8	1006	50%	8,4	503
2020	0	2.381.544	16,0	957	50%	8,0	479
2021	0	2.381.544	15,2	911	50%	7,6	455
2022	0	2.381.544	14,4	866	50%	7,2	433
2023	0	2.381.544	13,7	824	50%	6,9	412
2024	0	2.381.544	13,1	784	50%	6,5	392
2025	0	2.381.544	12,4	745	50%	6,2	373
2026	0	2.381.544	11,8	709	50%	5,9	355
2027	0	2.381.544	11,2	675	50%	5,6	337
2028	0	2.381.544	10,7	642	50%	5,3	321
2029	0	2.381.544	10,2	610	50%	5,1	305
2030	0	2.381.544	9,7	581	50%	4,8	290

Anexo 2: Gráficos de proyecciones de generación y recuperación de biogás.

1. Provincia de Valparaíso

a. Vertedero De Marco

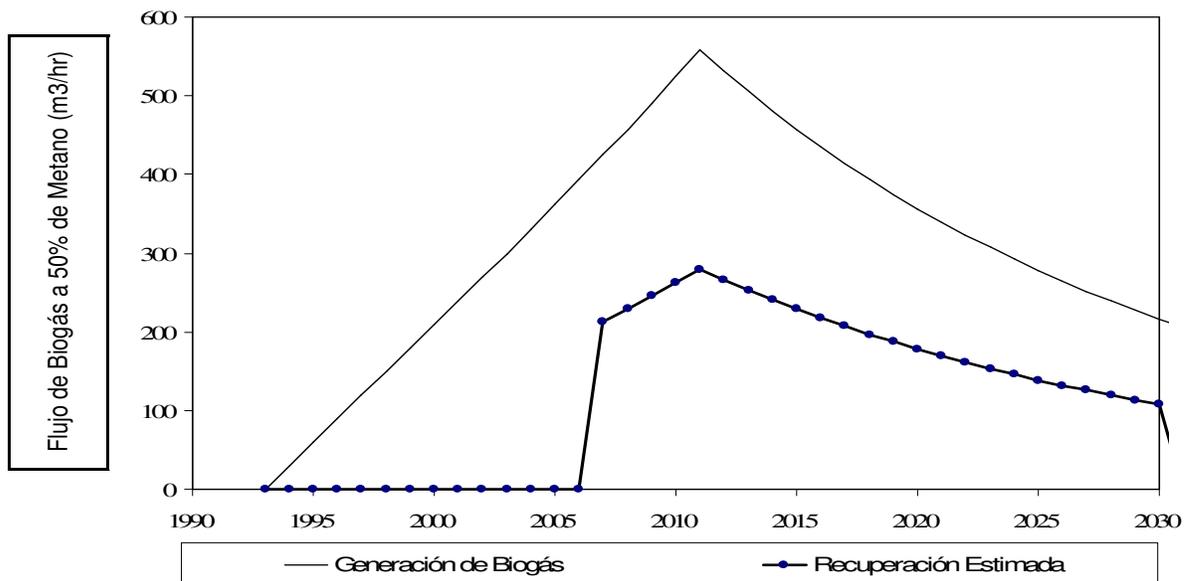


Figura 47: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero De Marco

b. Vertedero El Molle

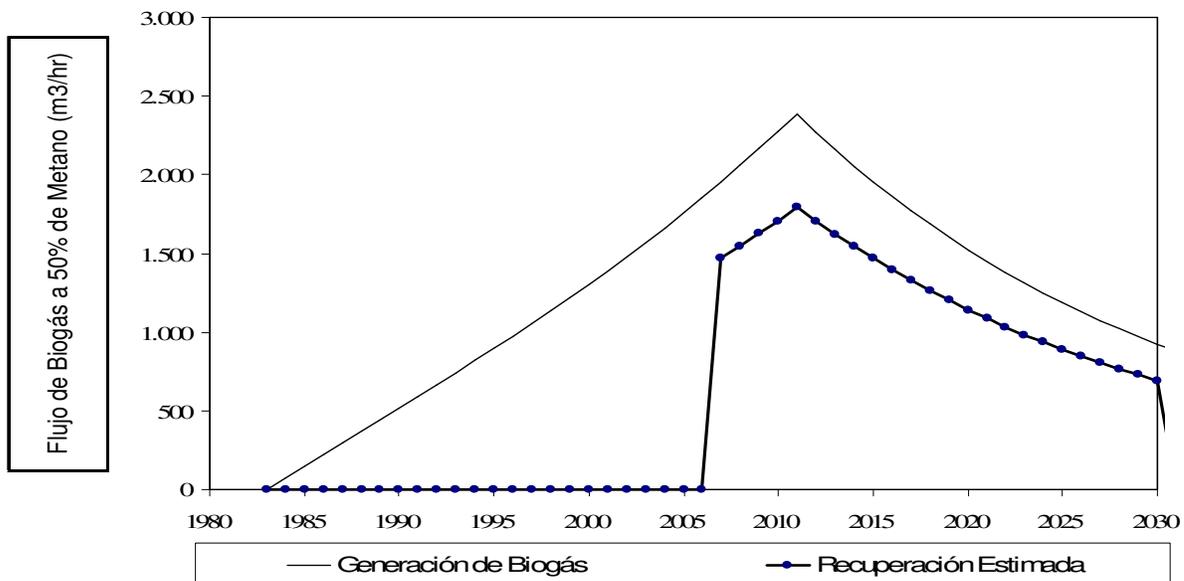


Figura 48: Generación y recuperación estimada al 75% de biogás, Vertedero El Molle.

c. Basural de Quintero

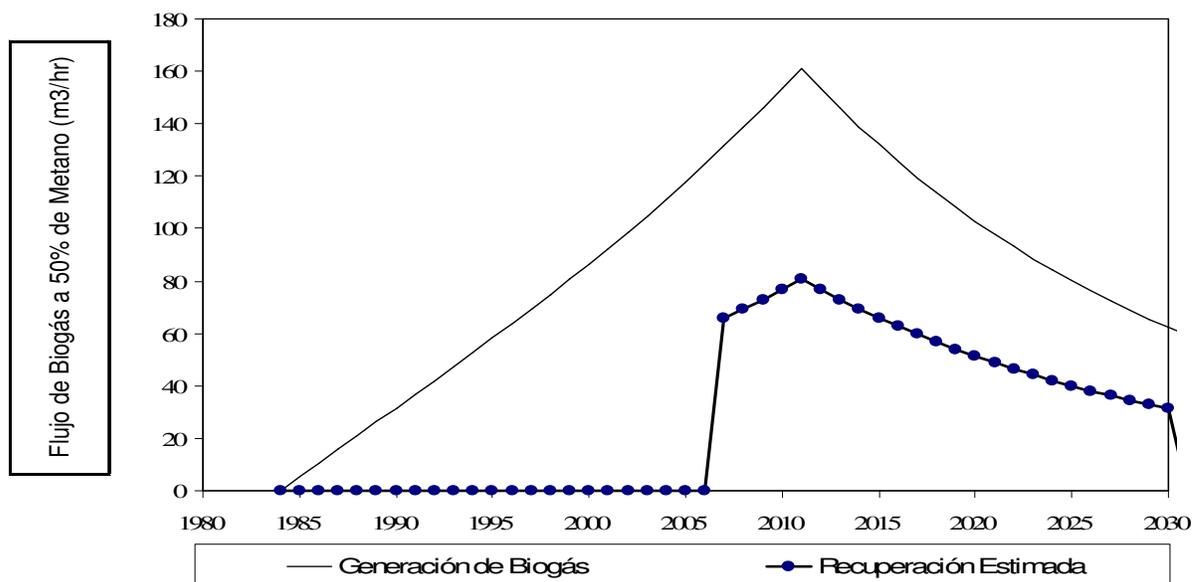


Figura 49: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Basural de Quintero.

d. Vertedero de Puchuncaví

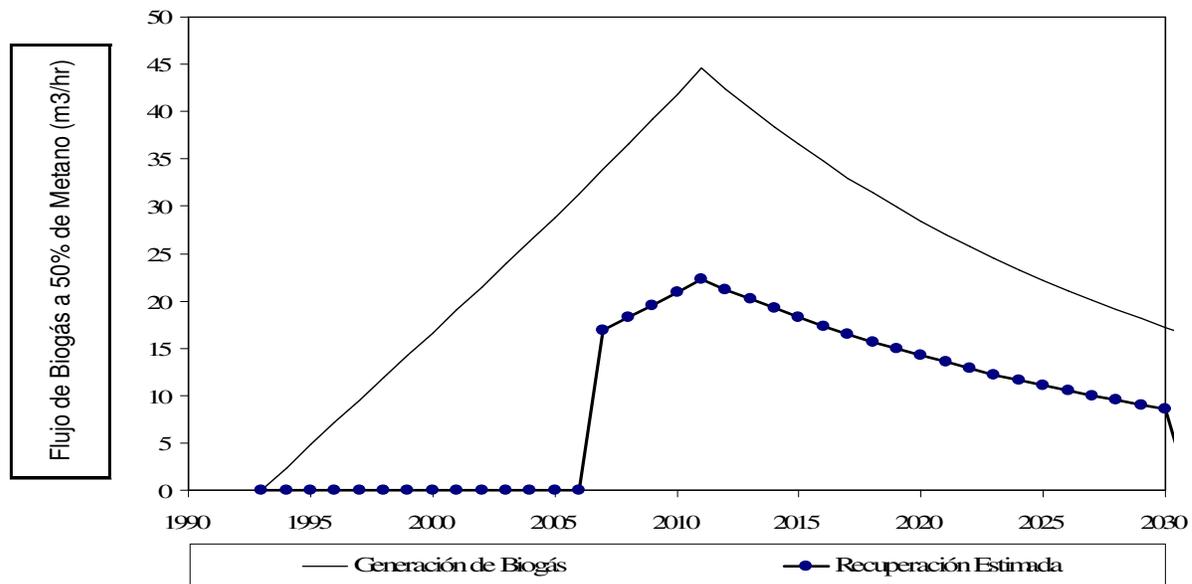


Figura 50: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero de Puchuncaví.

e. Vertedero de Casablanca

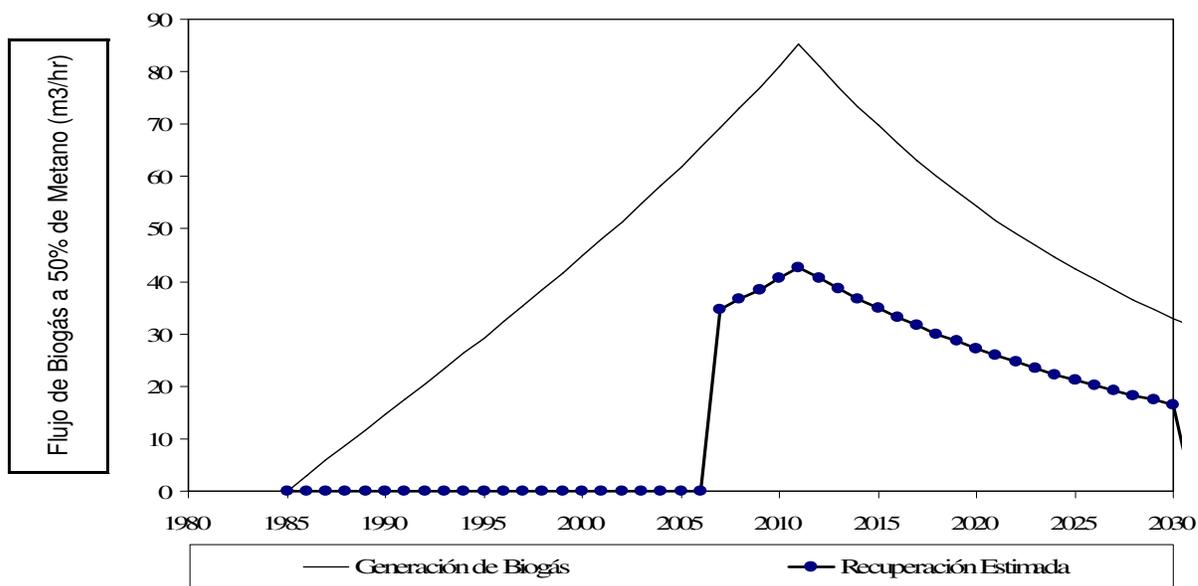


Figura 51: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero de Casablanca.

2. Provincia de Quillota

a. Vertedero de San Pedro

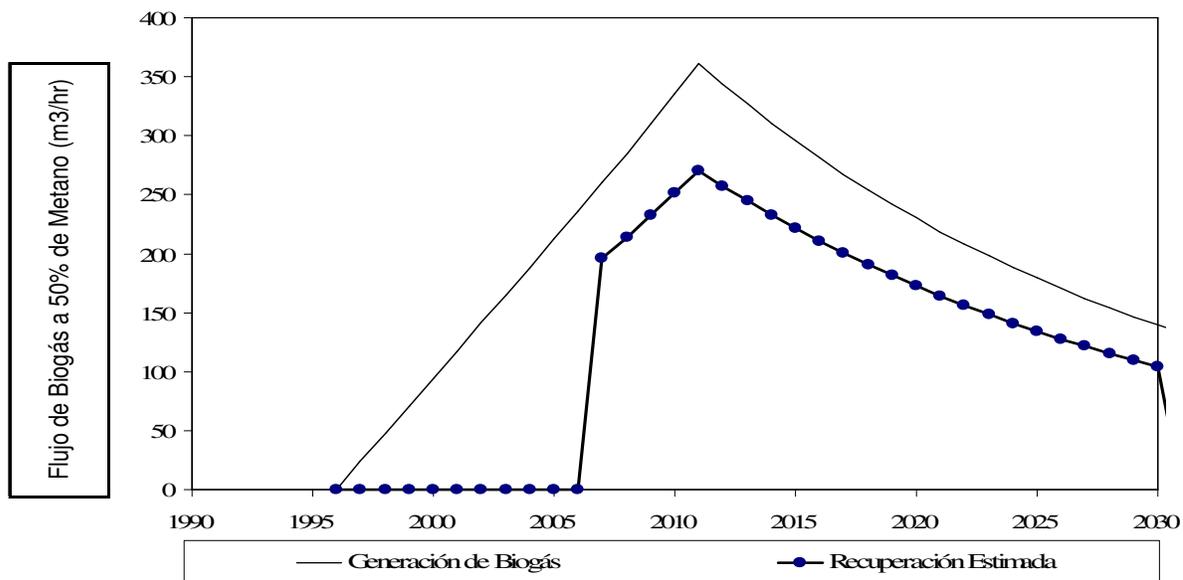


Figura 52: Generación y recuperación estimada al 75% de biogás, Vertedero de San Pedro.

b. Vertedero Intercomunal de Limache

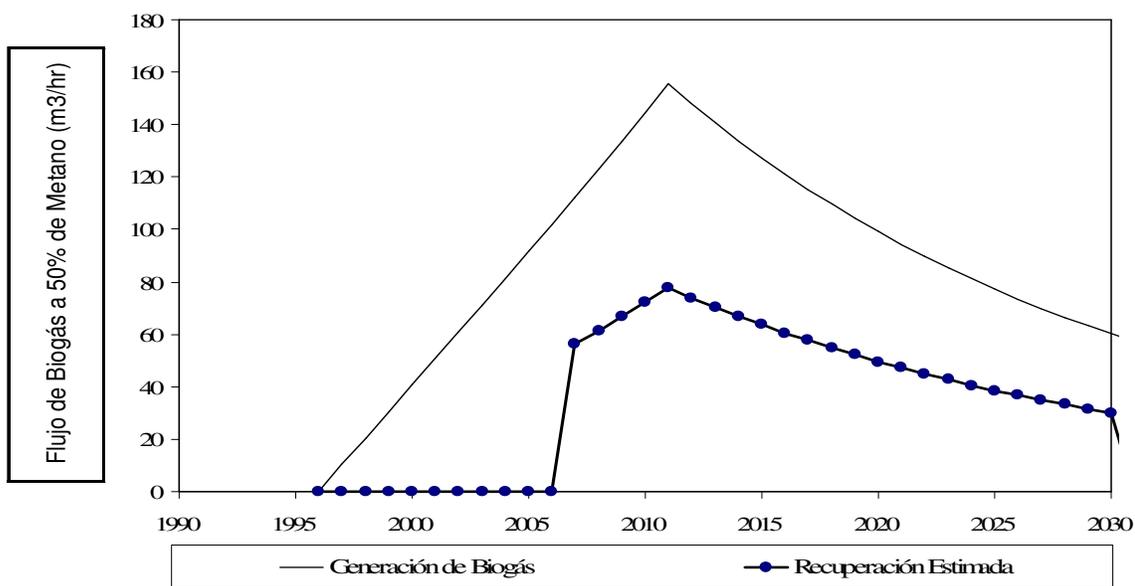


Figura 53: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero Intercomunal de Limache.

3. Provincia de Petorca

a. Vertedero de Chicolco

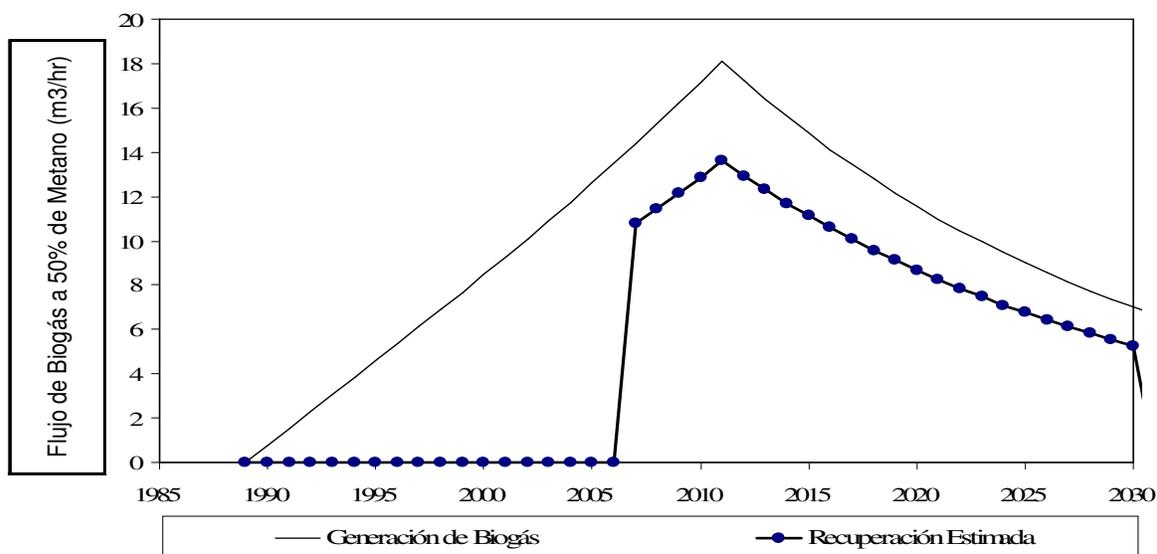


Figura 54: Generación y recuperación estimada al 75% de biogás, Vertedero de Chicolco.

b. Vertedero de Cabildo

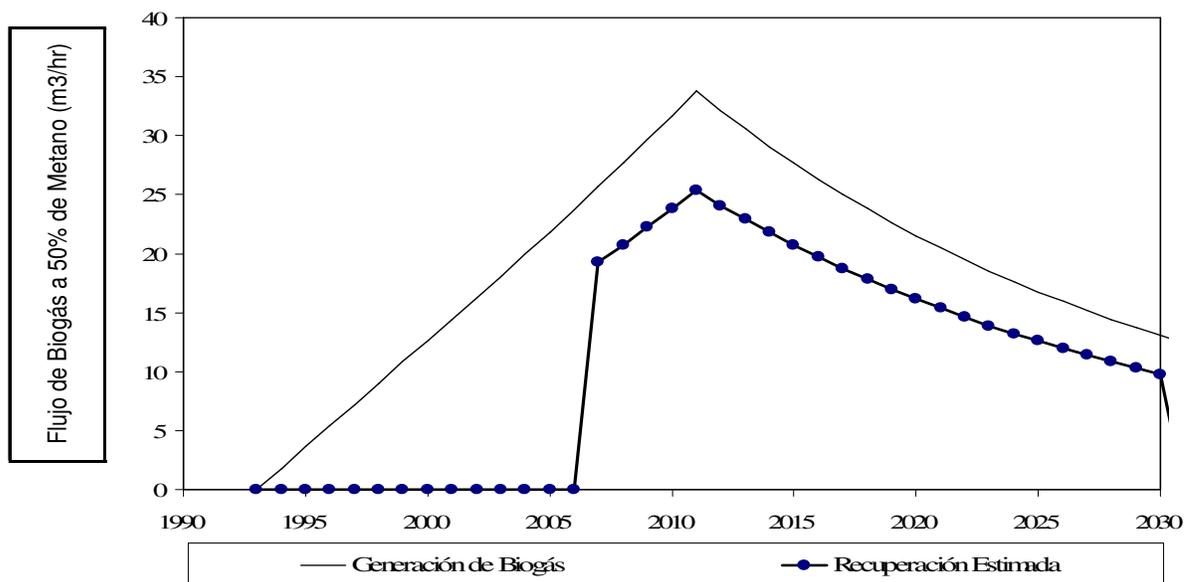


Figura 55: Generación y recuperación estimada al 75% de biogás, Vertedero de Cabildo.

4. Provincia de San Felipe

a. Vertedero La Hormiga

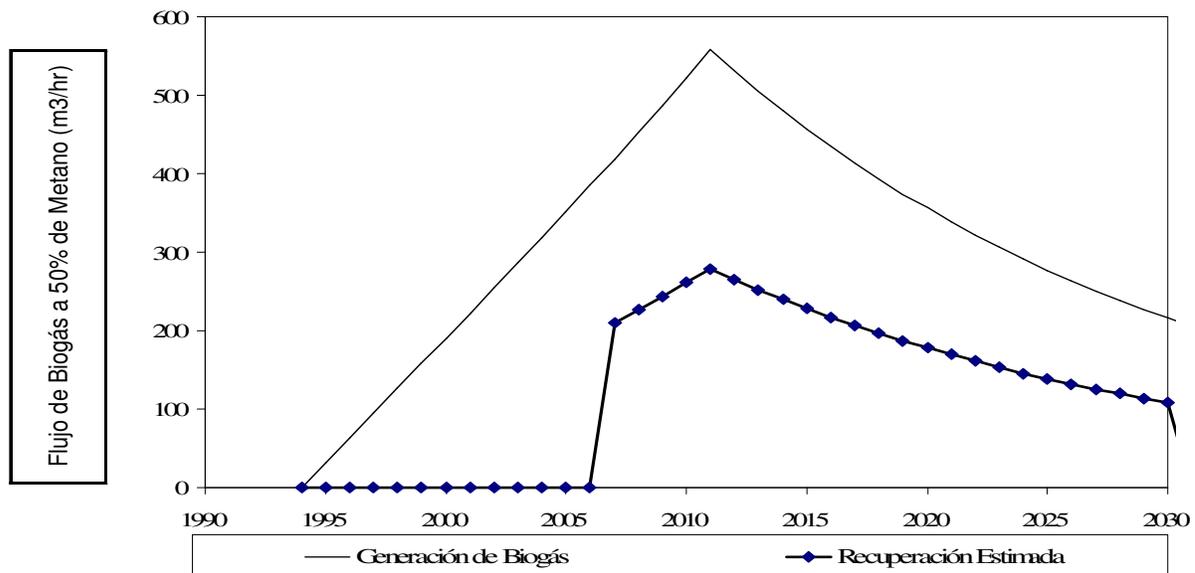


Figura 56: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero La Hormiga.

b. Vertedero de Tabolango

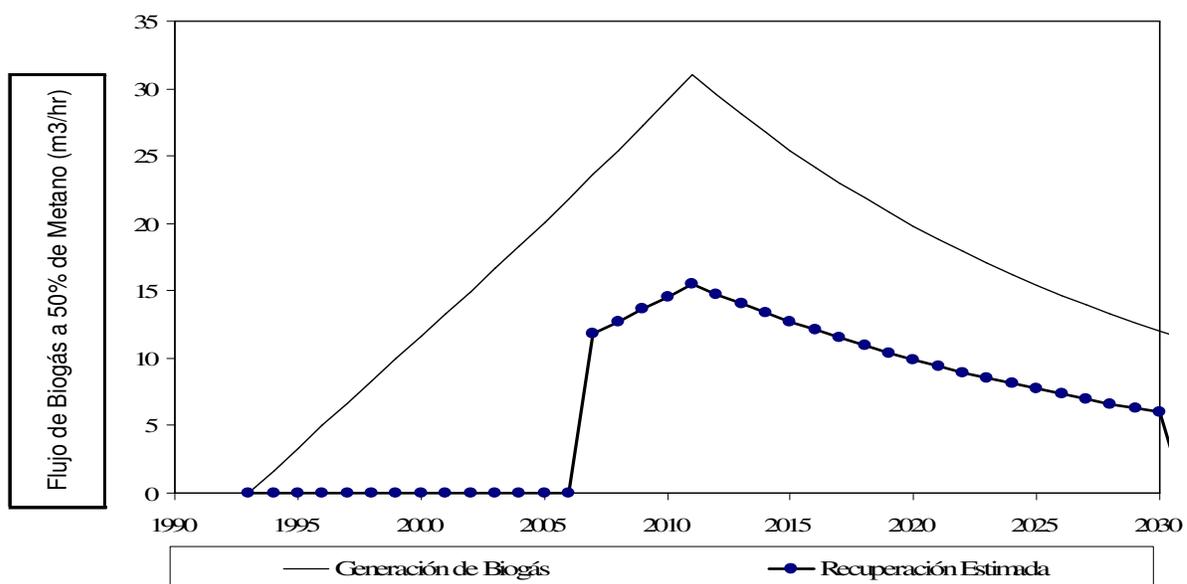


Figura 57: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero de Tabolango.

5. Provincia de San Antonio

a. Vertedero de Cartagena

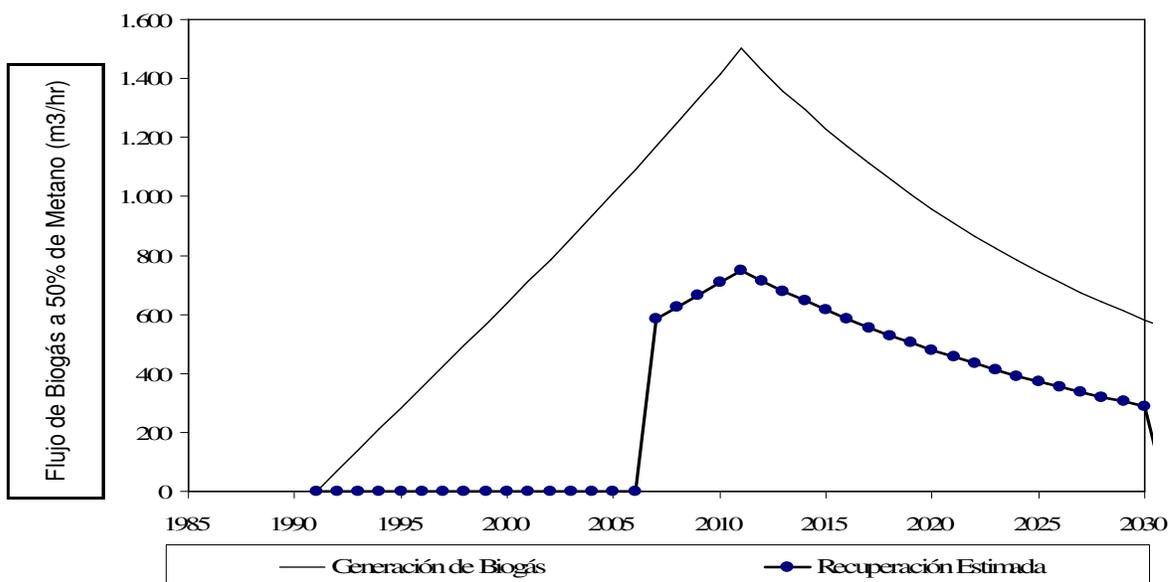


Figura 58: Generación y recuperación estimada al 50% de biogás, Vertedero de Cartagena.

Anexo 3: Tablas de proyecciones de generación eléctrica anual en cada sitio de disposición.

1. Provincia de Valparaíso

a. Vertedero De Marco

Tabla 29: Potencial de generación de electricidad, Vertedero De Marco.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	50%	213	313,6	307	2.423.302
2008	50%	229	337,2	330	2.605.334
2009	50%	245	360,8	354	2.787.367
2010	50%	262	385,8	378	2.980.776
2011	50%	279	410,8	403	3.174.185
2012	50%	266	391,7	384	3.026.284
2013	50%	253	372,5	365	2.878.383
2014	50%	241	354,9	348	2.741.858
2015	50%	229	337,2	330	2.605.334
2016	50%	218	321,0	315	2.480.187
2017	50%	207	304,8	299	2.355.040
2018	50%	197	290,1	284	2.241.270
2019	50%	187	275,4	270	2.127.500
2020	50%	178	262,1	257	2.025.107
2021	50%	169	248,9	244	1.922.714
2022	50%	161	237,1	232	1.831.698
2023	50%	153	225,3	221	1.740.682
2024	50%	146	215,0	211	1.661.043
2025	50%	139	204,7	201	1.581.404
2026	50%	132	194,4	190	1.501.765
2027	50%	126	185,5	182	1.433.503
2028	50%	119	175,2	172	1.353.864
2029	50%	114	167,9	165	1.296.979
2030	50%	108	159,0	156	1.228.717

b. Vertedero El Molle

Tabla 30: Potencial de generación de electricidad, Vertedero El Molle.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	75%	1.467	2.160	2.117	16.690.068
2008	75%	1.545	2.275	2.230	17.577.475
2009	75%	1.625	2.393	2.345	18.487.635
2010	75%	1.707	2.514	2.463	19.420.550
2011	75%	1.792	2.639	2.586	20.387.595
2012	75%	1.704	2.509	2.459	19.386.419
2013	75%	1.621	2.387	2.339	18.442.127
2014	75%	1.542	2.271	2.225	17.543.344
2015	75%	1.467	2.160	2.117	16.690.068
2016	75%	1.395	2.054	2.013	15.870.924
2017	75%	1.327	1.954	1.915	15.097.287
2018	75%	1.262	1.858	1.821	14.357.782
2019	75%	1.201	1.768	1.733	13.663.784
2020	75%	1.142	1.682	1.648	12.992.541
2021	75%	1.087	1.601	1.569	12.366.806
2022	75%	1.034	1.523	1.492	11.763.824
2023	75%	983	1.447	1.419	11.183.597
2024	75%	935	1.377	1.349	10.637.501
2025	75%	890	1.311	1.284	10.125.536
2026	75%	846	1.246	1.221	9.624.947
2027	75%	805	1.185	1.162	9.158.490
2028	75%	766	1.128	1.105	8.714.787
2029	75%	728	1.072	1.051	8.282.461
2030	75%	693	1.007	987	7.783.068

c. Basural de Quintero

Tabla 31: Potencial de generación de electricidad, Basural de Quintero.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	50%	66	97	95	750.882
2008	50%	69	102	100	785.013
2009	50%	73	107	105	830.521
2010	50%	77	113	111	876.029
2011	50%	81	119	117	921.538

2012	50%	77	113	111	876.029
2013	50%	73	107	105	830.521
2014	50%	69	102	100	785.013
2015	50%	66	97	95	750.882
2016	50%	63	93	91	716.751
2017	50%	60	88	87	682.620
2018	50%	57	84	82	648.489
2019	50%	54	80	78	614.358
2020	50%	51	75	74	580.227
2021	50%	49	72	71	557.473
2022	50%	47	69	68	534.719
2023	50%	44	65	63	500.588
2024	50%	42	62	61	477.834
2025	50%	40	59	58	455.080
2026	50%	38	56	55	432.326
2027	50%	36	53	52	409.572
2028	50%	34	50	49	386.818
2029	50%	33	49	48	375.441
2030	50%	31	45	44	348.160

d. Vertedero de Puchuncaví

Tabla 32: Potencial de generación de electricidad, Vertedero de Puchuncaví.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	50%	17	25	25	193.409
2008	50%	18	27	26	204.786
2009	50%	20	29	29	227.540
2010	50%	21	31	30	238.917
2011	50%	22	32	32	250.294
2012	50%	21	31	30	238.917
2013	50%	20	29	29	227.540
2014	50%	19	28	27	216.163
2015	50%	18	27	26	204.786
2016	50%	17	25	25	193.409
2017	50%	17	25	25	193.409
2018	50%	16	24	23	182.032
2019	50%	15	22	22	170.655
2020	50%	14	21	20	159.278
2021	50%	14	21	20	159.278
2022	50%	13	19	19	147.901
2023	50%	12	18	17	136.524
2024	50%	12	18	17	136.524
2025	50%	11	16	16	125.147

2026	50%	11	16	16	125.147
2027	50%	10	15	14	113.770
2028	50%	10	15	14	113.770
2029	50%	9	13	13	102.393
2030	50%	9	13	13	102.393

e. Vertedero de Casablanca

Tabla 33: Potencial de generación de electricidad, Vertedero de Casablanca.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	50%	35	52	51	398.195
2008	50%	37	54	53	420.949
2009	50%	39	57	56	443.703
2010	50%	41	60	59	466.457
2011	50%	43	63	62	489.211
2012	50%	41	60	59	466.457
2013	50%	39	57	56	443.703
2014	50%	37	54	53	420.949
2015	50%	35	52	51	398.195
2016	50%	33	49	48	375.441
2017	50%	32	47	46	364.064
2018	50%	30	44	43	341.310
2019	50%	29	43	42	329.933
2020	50%	27	40	39	307.179
2021	50%	26	38	38	295.802
2022	50%	25	37	36	284.425
2023	50%	23	34	33	261.671
2024	50%	22	32	32	250.294
2025	50%	21	31	30	238.917
2026	50%	20	29	29	227.540
2027	50%	19	28	27	216.163
2028	50%	18	27	26	204.786
2029	50%	17	25	25	193.409
2030	50%	16	24	23	182.032

2. Provincia de Quillota

a. Vertedero de San Pedro

Tabla 34: Potencial de generación de electricidad, Vertedero de San Pedro.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	75%	196	289	283	2.229.893
2008	75%	214	315	309	2.434.679
2009	75%	233	343	336	2.650.842
2010	75%	251	370	362	2.855.629
2011	75%	271	399	391	3.083.169
2012	75%	257	378	371	2.923.891
2013	75%	245	361	354	2.787.367
2014	75%	233	343	336	2.650.842
2015	75%	222	327	320	2.525.695
2016	75%	211	311	304	2.400.548
2017	75%	200	295	289	2.275.401
2018	75%	191	281	276	2.173.008
2019	75%	181	267	261	2.059.238
2020	75%	173	255	250	1.968.222
2021	75%	164	241	237	1.865.829
2022	75%	156	230	225	1.774.813
2023	75%	148	218	214	1.683.797
2024	75%	141	208	203	1.604.158
2025	75%	134	197	193	1.524.519
2026	75%	128	188	185	1.456.257
2027	75%	122	180	176	1.387.995
2028	75%	116	171	167	1.319.733
2029	75%	110	162	159	1.251.471
2030	75%	105	155	152	1.194.586

b. Vertedero Intercomunal de Limache

Tabla 35: Potencial de generación de electricidad, Vertedero Intercomunal de Limache.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	50%	56	82	81	637.112
2008	50%	61	90	88	693.997
2009	50%	67	99	97	762.259
2010	50%	72	106	104	819.144

2011	50%	78	115	113	887.406
2012	50%	74	109	107	841.898
2013	50%	70	103	101	796.390
2014	50%	67	99	97	762.259
2015	50%	64	94	92	728.128
2016	50%	61	90	88	693.997
2017	50%	58	85	84	659.866
2018	50%	55	81	79	625.735
2019	50%	52	77	75	591.604
2020	50%	50	74	72	568.850
2021	50%	47	69	68	534.719
2022	50%	45	66	65	511.965
2023	50%	43	63	62	489.211
2024	50%	41	60	59	466.457
2025	50%	39	57	56	443.703
2026	50%	37	54	53	420.949
2027	50%	35	52	51	398.195
2028	50%	33	49	48	375.441
2029	50%	32	47	46	364.064
2030	50%	30	44	43	341.310

3. Provincia de Petorca

a. Vertedero de Chicolco

Tabla 36: Potencial de generación de electricidad, Vertedero de Chicolco.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	75%	11	16	16	125.147
2008	75%	11	16	16	125.147
2009	75%	12	18	17	136.524
2010	75%	13	19	19	147.901
2011	75%	14	21	20	159.278
2012	75%	13	19	19	147.901
2013	75%	12	18	17	136.524
2014	75%	12	18	17	136.524
2015	75%	11	16	16	125.147
2016	75%	11	16	16	125.147
2017	75%	10	15	14	113.770
2018	75%	10	15	14	113.770
2019	75%	9	13	13	102.393
2020	75%	9	13	13	102.393
2021	75%	8	12	12	91.016
2022	75%	8	12	12	91.016
2023	75%	7	10	10	79.639

2024	75%	7	10	10	79.639
2025	75%	7	10	10	79.639
2026	75%	6	9	9	68.262
2027	75%	6	9	9	68.262
2028	75%	6	9	9	68.262
2029	75%	6	9	9	68.262
2030	75%	5	7	7	56.885

b. Vertedero de Cabildo

Tabla 37: Potencial de generación de electricidad, Vertedero de Cabildo.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	75%	19	28	27	216.163
2008	75%	21	31	30	238.917
2009	75%	22	32	32	250.294
2010	75%	24	35	35	273.048
2011	75%	25	37	36	284.425
2012	75%	24	35	35	273.048
2013	75%	23	34	33	261.671
2014	75%	22	32	32	250.294
2015	75%	21	31	30	238.917
2016	75%	20	29	29	227.540
2017	75%	19	28	27	216.163
2018	75%	18	27	26	204.786
2019	75%	17	25	25	193.409
2020	75%	16	24	23	182.032
2021	75%	15	22	22	170.655
2022	75%	15	22	22	170.655
2023	75%	14	21	20	159.278
2024	75%	13	19	19	147.901
2025	75%	13	19	19	147.901
2026	75%	12	18	17	136.524
2027	75%	11	16	16	125.147
2028	75%	11	16	16	125.147
2029	75%	10	15	14	113.770
2030	75%	10	15	14	113.770

4. Provincia de San Felipe

a. Vertedero La Hormiga

Tabla 38: Potencial de generación de electricidad, Vertedero La Hormiga.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	50%	209	308	302	2.380.871
2008	50%	226	333	327	2.574.559
2009	50%	244	359	351	2.771.194
2010	50%	261	385	377	2.971.127
2011	50%	279	411	403	3.174.712
2012	50%	265	391	383	3.019.879
2013	50%	252	372	364	2.872.598
2014	50%	240	354	347	2.732.500
2015	50%	228	336	330	2.599.234
2016	50%	217	320	314	2.472.468
2017	50%	207	304	298	2.351.884
2018	50%	197	290	284	2.237.182
2019	50%	187	275	270	2.128.073
2020	50%	178	262	257	2.024.286
2021	50%	169	249	244	1.925.560
2022	50%	161	237	232	1.831.649
2023	50%	153	226	221	1.742.319
2024	50%	146	215	210	1.657.345
2025	50%	139	204	200	1.576.515
2026	50%	132	194	190	1.499.628
2027	50%	125	185	181	1.426.490
2028	50%	119	176	172	1.356.919
2029	50%	113	167	164	1.290.741
2030	50%	108	159	156	1.227.791

b. Vertedero de Tabolango

Tabla 39: Potencial de generación de electricidad, Vertedero de Tabolango.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	50%	12	18	17	136.524
2008	50%	13	19	19	147.901
2009	50%	14	21	20	159.278
2010	50%	15	22	22	170.655
2011	50%	16	24	23	182.032

2012	50%	15	22	22	170.655
2013	50%	14	21	20	159.278
2014	50%	13	19	19	147.901
2015	50%	13	19	19	147.901
2016	50%	12	18	17	136.524
2017	50%	12	18	17	136.524
2018	50%	11	16	16	125.147
2019	50%	10	15	14	113.770
2020	50%	10	15	14	113.770
2021	50%	9	13	13	102.393
2022	50%	9	13	13	102.393
2023	50%	9	13	13	102.393
2024	50%	8	12	12	91.016
2025	50%	8	12	12	91.016
2026	50%	7	10	10	79.639
2027	50%	7	10	10	79.639
2028	50%	7	10	10	79.639
2029	50%	6	9	9	68.262
2030	50%	6	9	9	68.262

5. Provincia de San Antonio

a. Vertedero de Cartagena

Tabla 40: Potencial de generación de electricidad, Vertedero de Cartagena.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
2007	50%	584	860	843	6.644.172
2008	50%	625	920	902	7.110.629
2009	50%	666	981	961	7.577.086
2010	50%	708	1.043	1.022	8.054.920
2011	50%	751	1.106	1.084	8.544.132
2012	50%	714	1.051	1.030	8.123.182
2013	50%	679	1.000	980	7.724.987
2014	50%	646	951	932	7.349.546
2015	50%	615	906	887	6.996.859
2016	50%	585	861	844	6.655.549
2017	50%	556	819	802	6.325.615
2018	50%	529	779	763	6.018.436
2019	50%	503	741	726	5.722.634
2020	50%	479	705	691	5.449.586
2021	50%	455	670	657	5.176.538
2022	50%	433	638	625	4.926.244
2023	50%	412	607	595	4.687.327
2024	50%	392	577	566	4.459.786

2025	50%	373	549	538	4.243.623
2026	50%	355	523	512	4.038.837
2027	50%	337	496	486	3.834.051
2028	50%	321	473	463	3.652.019
2029	50%	305	449	440	3.469.987
2030	50%	290	427	418	3.299.332

Anexo 4: Gráficos de proyecciones de generación eléctrica anual en cada sitio de disposición.

1. Provincia de Valparaíso

a. Vertedero De Marco

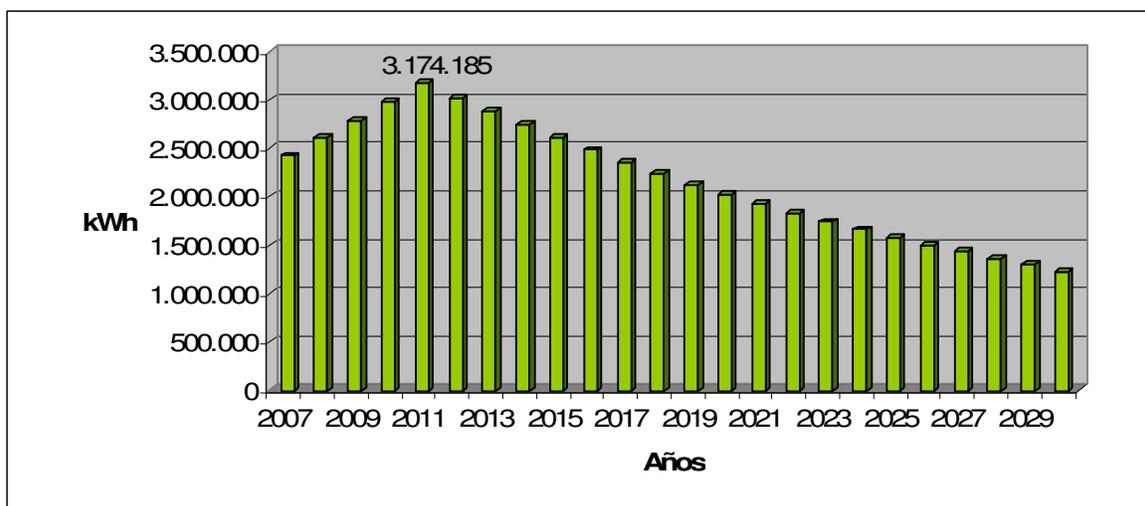


Figura 59: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero De Marco.

b. Vertedero El Molle

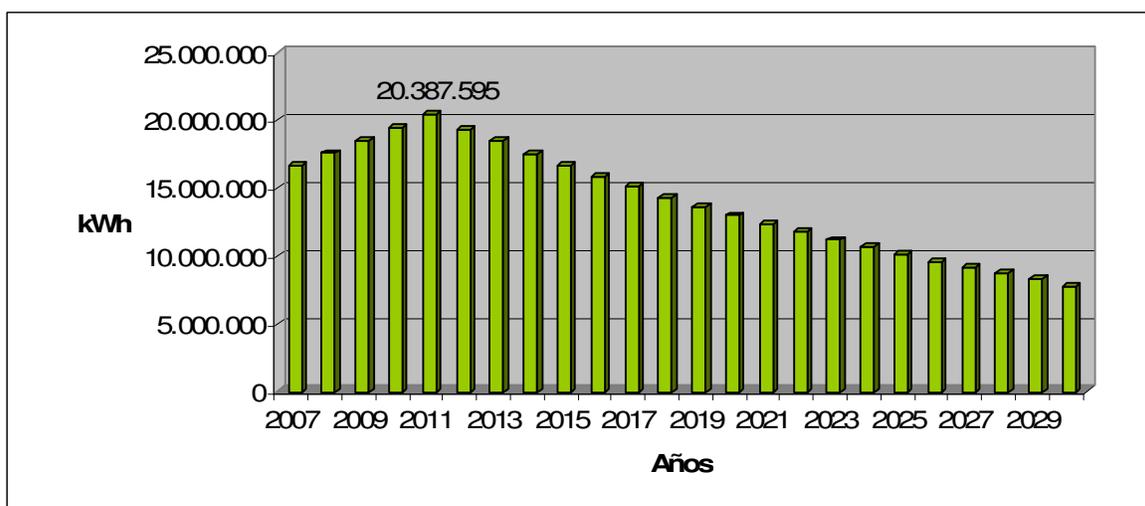


Figura 60: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero El Molle.

c. Basural de Quintero

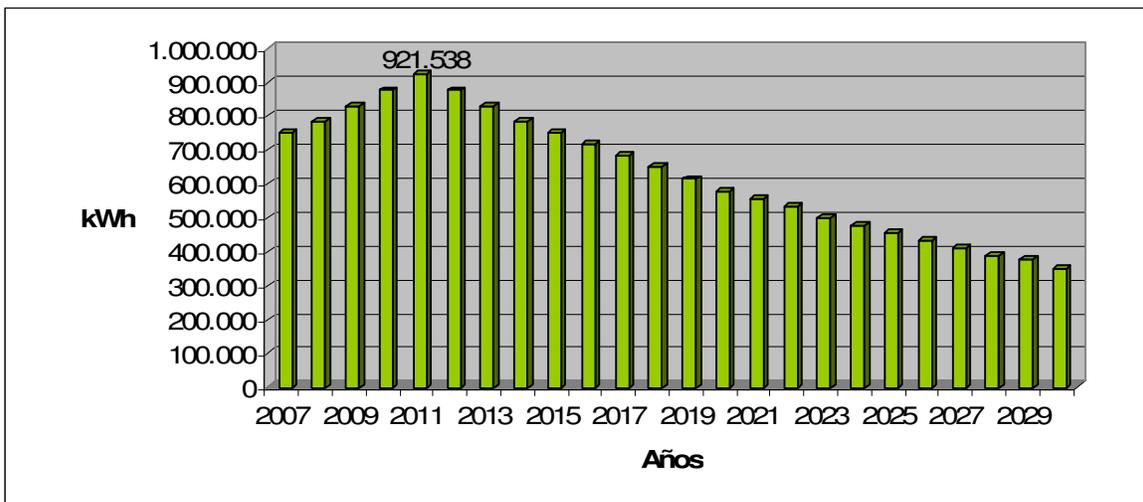


Figura 61: Proyección de electricidad anual generada, Basural de Quintero.

d. Vertedero de Puchuncaví

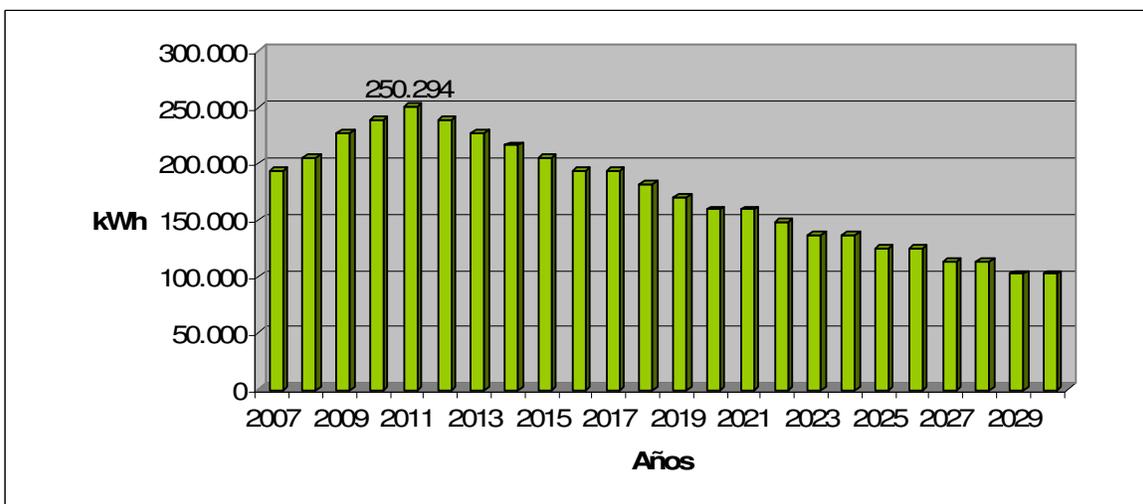


Figura 62: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero de Puchuncaví.

e. Vertedero de Casablanca

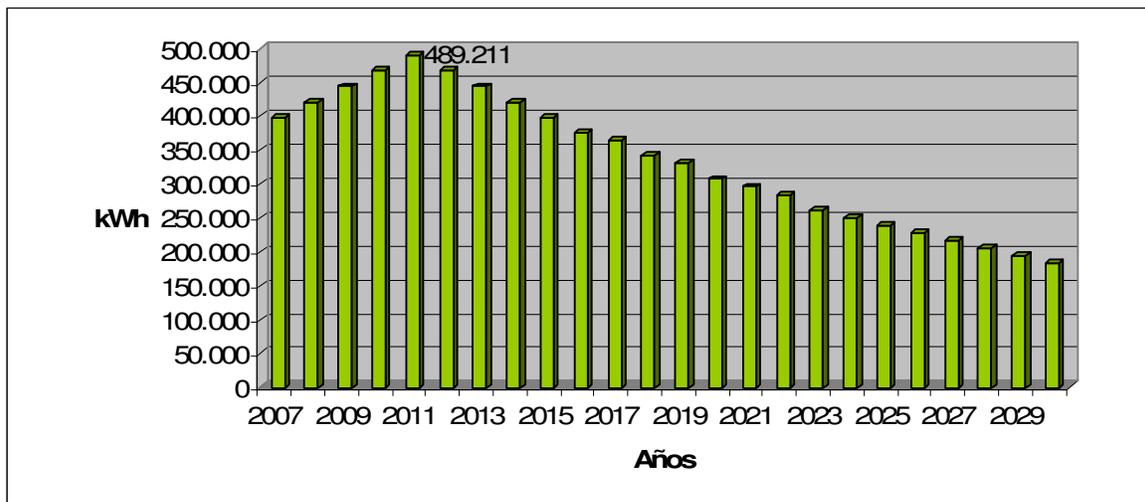


Figura 63: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero de Casablanca.

2. Provincia de Quillota

a. Vertedero de San Pedro

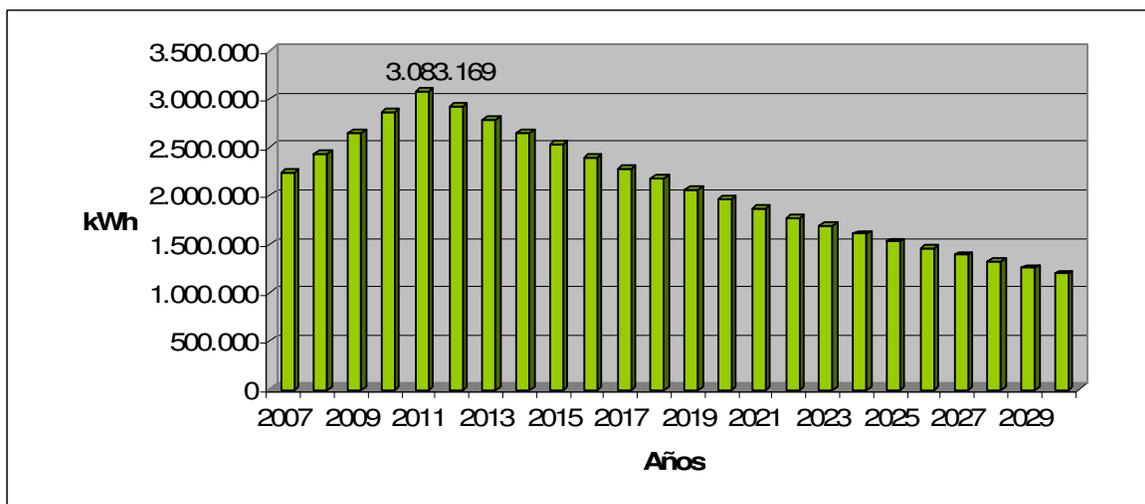


Figura 64: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero de San Pedro.

b. Vertedero Intercomunal de Limache

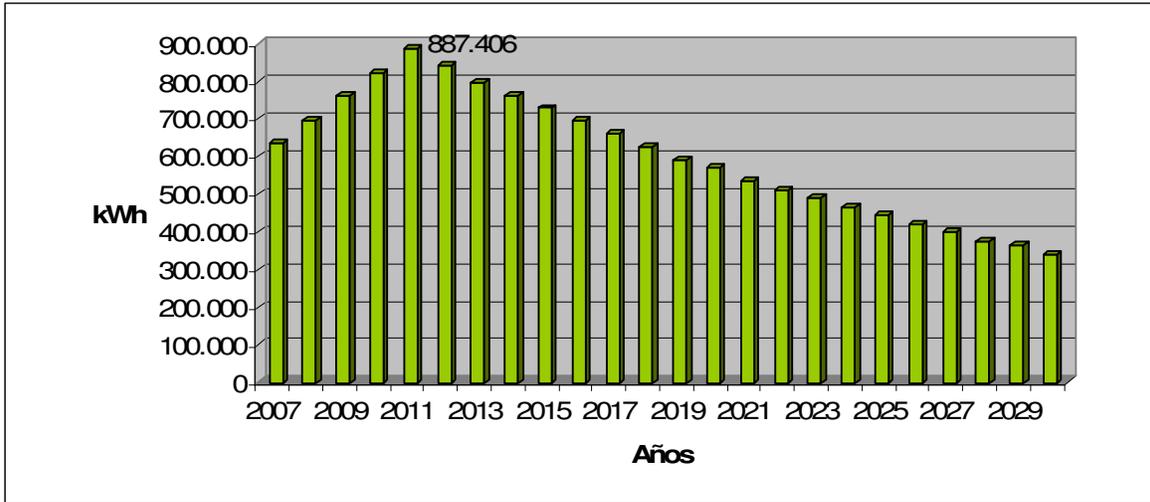


Figura 65: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero Intercomunal de Limache.

3. Provincia de Petorca

a. Vertedero de Chicolco

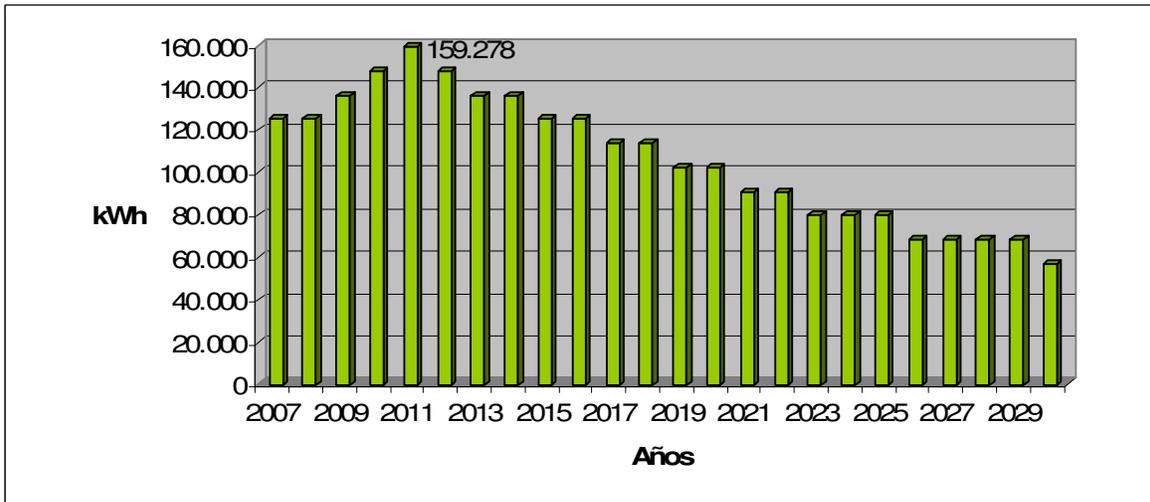


Figura 66: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero de Chicolco.

b. Vertedero de Cabildo

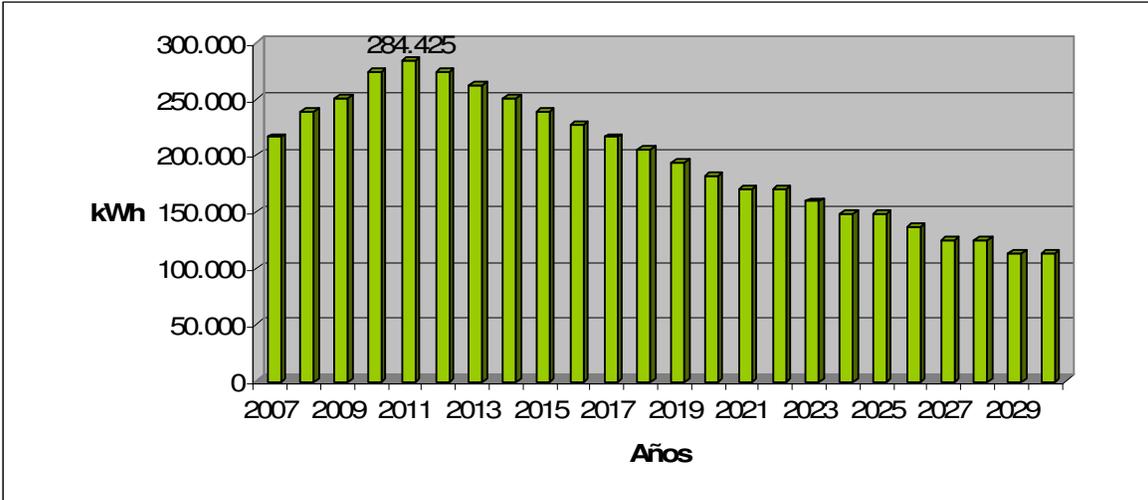


Figura 67: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero de Cabildo.

4. Provincia de San Felipe

a. Vertedero La Hormiga

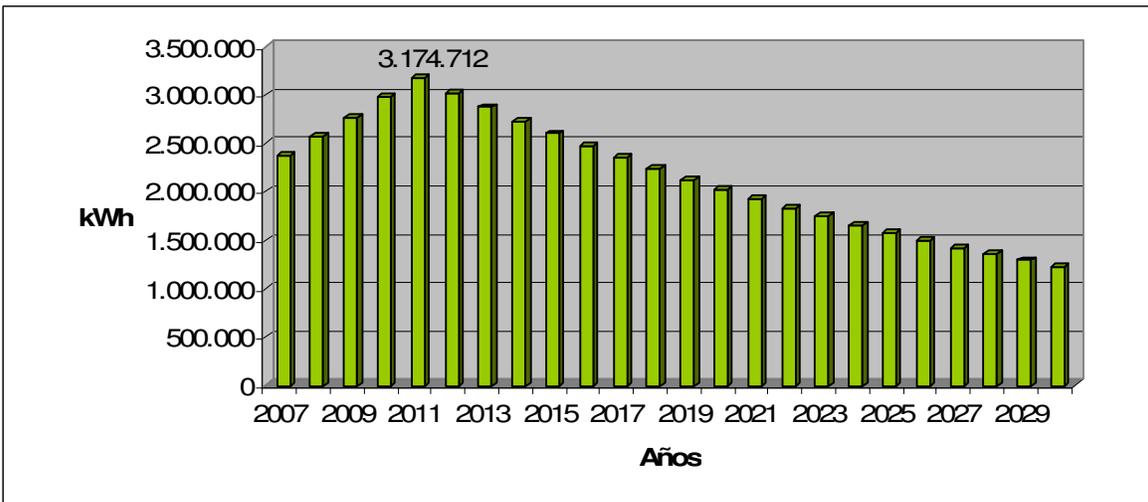


Figura 68: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero La Hormiga.

b. Vertedero de Tabolango

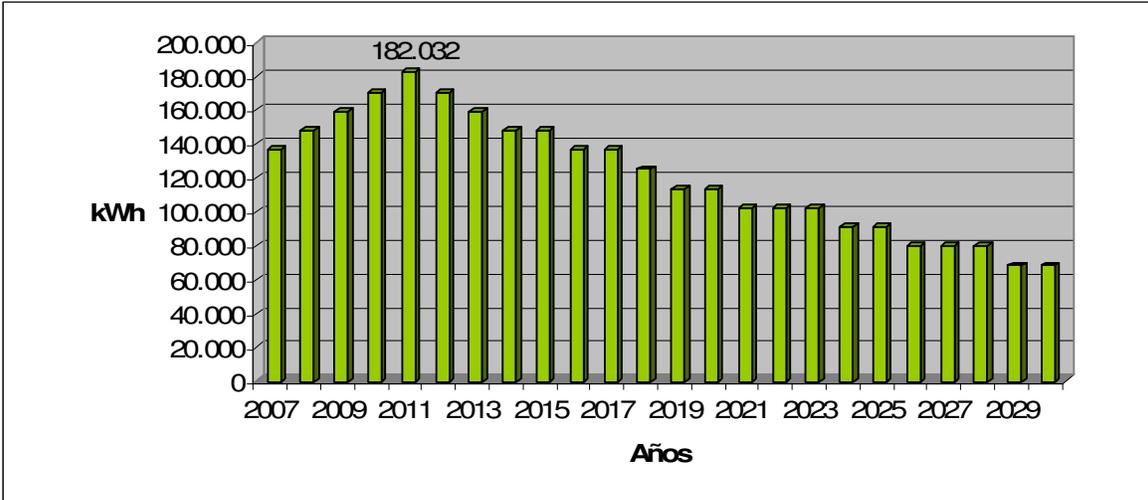


Figura 69: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero de Tabolango.

5. Provincia de San Antonio

a. Vertedero de Cartagena

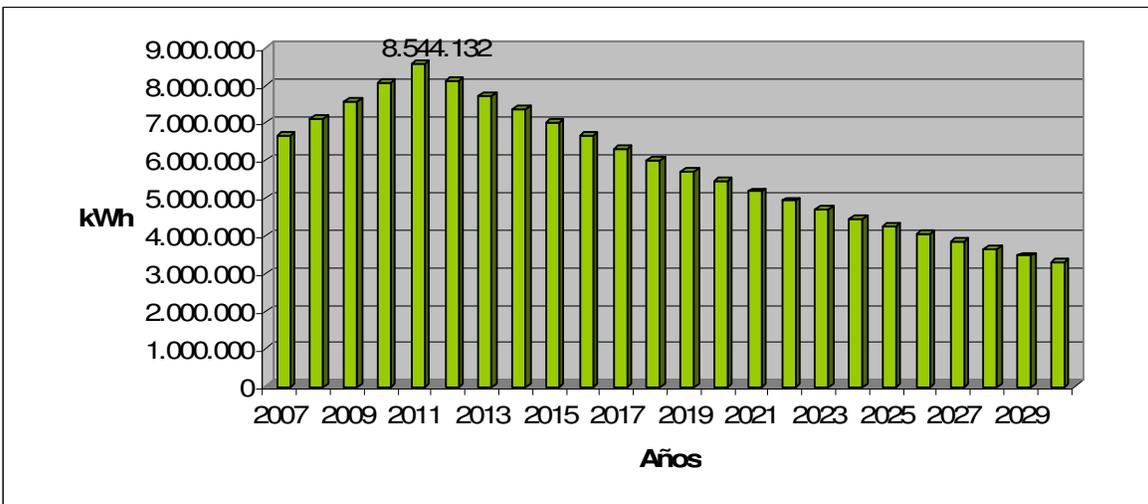


Figura 70: Proyección de electricidad anual generada, Vertedero de Cartagena.

Anexo 5: Proyecciones de generación y recuperación de biogás para el escenario teórico.

1. Para el caso de las Provincias de San Antonio, Valparaíso y Quillota.

Tabla 41: Generación y recuperación de biogás.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1983	82.122	82.122	0,0	0	0%	0,0	0
1984	91.363	173.485	1,2	75	0%	0,0	0
1985	98.406	271.891	2,6	155	0%	0,0	0
1986	102.506	374.397	3,9	237	0%	0,0	0
1987	106.777	481.174	5,3	319	0%	0,0	0
1988	111.226	592.400	6,7	401	50%	4,3	260
1989	115.860	708.260	8,0	483	50%	5,2	314
1990	120.688	828.948	9,4	565	75%	7,1	424
1991	204.448	1.033.396	10,8	647	75%	8,1	485
1992	212.967	1.246.362	13,4	802	75%	10,0	602
1993	257.566	1.503.928	16,0	957	75%	12,0	718
1994	268.298	1.772.226	19,1	1146	75%	14,3	859
1995	279.477	2.051.703	22,2	1334	75%	16,7	1.001
1996	328.510	2.380.214	25,4	1524	75%	19,1	1.143
1997	342.198	2.722.412	29,2	1750	75%	21,9	1.312
1998	356.457	3.078.869	32,9	1976	75%	24,7	1.482
1999	371.309	3.450.178	36,8	2205	75%	27,6	1.654
2000	386.780	3.836.958	40,6	2436	75%	30,5	1.827
2001	402.896	4.239.854	44,5	2670	75%	33,4	2.003
2002	419.683	4.659.537	48,5	2908	75%	36,3	2.181
2003	437.170	5.096.708	52,5	3149	75%	39,4	2.361
2004	455.386	5.552.093	56,6	3394	75%	42,4	2.545
2005	474.360	6.026.453	60,7	3644	75%	45,5	2.733
2006	493.334	6.519.788	65,0	3899	75%	48,7	2.924
2007	513.068	7.032.855	69,3	4159	75%	52,0	3.119
2008	533.590	7.566.446	73,7	4424	75%	55,3	3.318
2009	554.934	8.121.380	78,2	4695	75%	58,7	3.521
2010	577.131	8.698.511	82,9	4972	75%	62,2	3.729
2011	0	8.698.511	87,6	5256	75%	65,7	3.942
2012	0	8.698.511	83,3	5000	75%	62,5	3.750
2013	0	8.698.511	79,3	4756	75%	59,4	3.567
2014	0	8.698.511	75,4	4524	75%	56,5	3.393
2015	0	8.698.511	71,7	4303	75%	53,8	3.227
2016	0	8.698.511	68,2	4093	75%	51,2	3.070
2017	0	8.698.511	64,9	3894	75%	48,7	2.920
2018	0	8.698.511	61,7	3704	75%	46,3	2.778
2019	0	8.698.511	58,7	3523	75%	44,0	2.642
2020	0	8.698.511	55,9	3351	75%	41,9	2.514

2021	0	8.698.511	53,1	3188	75%	39,8	2.391
2022	0	8.698.511	50,5	3032	75%	37,9	2.274
2023	0	8.698.511	48,1	2885	75%	36,1	2.163
2024	0	8.698.511	45,7	2744	75%	34,3	2.058
2025	0	8.698.511	43,5	2610	75%	32,6	1.958
2026	0	8.698.511	41,4	2483	75%	31,0	1.862
2027	0	8.698.511	39,4	2362	75%	29,5	1.771
2028	0	8.698.511	37,4	2246	75%	28,1	1.685
2029	0	8.698.511	35,6	2137	75%	26,7	1.603
2030	0	8.698.511	33,9	2033	75%	25,4	1.525

2. Para el caso de las Provincias de San Felipe, Los Andes y Petorca.

Tabla 42: Generación y recuperación de biogás.

Año	Índice de Disposición (Ton/año)	Toneladas Acumuladas (Ton)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás	
			(m ³ /min)	(m ³ /hr)		(m ³ /min)	(m ³ /hr)
1989	849	849	0,0	0	0%	0,0	0
1990	885	1.734	0,0	1	0%	0,0	0
1991	922	2.656	0,0	2	0%	0,0	0
1992	960	3.616	0,0	2	0%	0,0	0
1993	4.838	8.454	0,1	3	0%	0,0	0
1994	40.270	48.724	0,1	7	50%	0,1	5
1995	41.948	90.673	0,7	44	50%	0,5	28
1996	43.696	134.369	1,3	80	75%	1,0	60
1997	45.517	179.886	1,9	116	75%	1,4	87
1998	47.413	227.299	2,5	152	75%	1,9	114
1999	49.389	276.688	3,1	188	75%	2,3	141
2000	51.447	328.134	3,7	223	75%	2,8	168
2001	53.590	381.725	4,3	259	75%	3,2	195
2002	55.823	437.548	4,9	296	75%	3,7	222
2003	58.149	495.697	5,5	332	75%	4,2	249
2004	60.572	556.270	6,2	369	75%	4,6	277
2005	63.096	619.366	6,8	406	75%	5,1	305
2006	65.620	684.985	7,4	444	75%	5,6	333
2007	68.245	753.230	8,0	482	75%	6,0	362
2008	70.974	824.204	8,7	521	75%	6,5	391
2009	73.813	898.018	9,3	560	75%	7,0	420
2010	76.766	974.784	10,0	600	75%	7,5	450
2011	0	974.784	10,7	641	75%	8,0	481
2012	0	974.784	10,2	610	75%	7,6	457
2013	0	974.784	9,7	580	75%	7,3	435
2014	0	974.784	9,2	552	75%	6,9	414
2015	0	974.784	8,7	525	75%	6,6	394
2016	0	974.784	8,3	499	75%	6,2	374
2017	0	974.784	7,9	475	75%	5,9	356
2018	0	974.784	7,5	452	75%	5,6	339

2019	0	974.784	7,2	430	75%	5,4	322
2020	0	974.784	6,8	409	75%	5,1	307
2021	0	974.784	6,5	389	75%	4,9	292
2022	0	974.784	6,2	370	75%	4,6	277
2023	0	974.784	5,9	352	75%	4,4	264
2024	0	974.784	5,6	335	75%	4,2	251
2025	0	974.784	5,3	318	75%	4,0	239
2026	0	974.784	5,0	303	75%	3,8	227
2027	0	974.784	4,8	288	75%	3,6	216
2028	0	974.784	4,6	274	75%	3,4	205
2029	0	974.784	4,3	261	75%	3,3	195
2030	0	974.784	4,1	248	75%	3,1	186

Anexo 6: Proyecciones de electricidad anual generada para el escenario teórico.

1. Para el caso de las Provincias de San Antonio, Valparaíso y Quillota.

Tabla 43: Potencial de generación de electricidad.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m ³ /hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
1988	50%	260,4	383	376	2.962.689
1989	50%	313,7	462	453	3.568.494
1990	75%	423,5	624	611	4.818.478
1991	75%	485,4	715	701	5.522.851
1992	75%	601,6	886	868	6.844.816
1993	75%	718,0	1.057	1.036	8.168.613
1994	75%	859,2	1.265	1.240	9.774.987
1995	75%	1000,8	1.474	1.444	11.386.550
1996	75%	1143,2	1.683	1.650	13.006.527
1997	75%	1312,2	1.932	1.894	14.929.148
1998	75%	1482,3	2.183	2.139	16.864.542
1999	75%	1653,9	2.435	2.387	18.816.524
2000	75%	1827,3	2.691	2.637	20.788.911
2001	75%	2002,8	2.949	2.890	22.785.523
2002	75%	2180,7	3.211	3.147	24.810.196
2003	75%	2361,5	3.477	3.408	26.866.789
2004	75%	2545,4	3.748	3.673	28.959.189
2005	75%	2732,8	4.024	3.944	31.091.321
2006	75%	2924,1	4.306	4.220	33.267.155
2007	75%	3119,0	4.593	4.501	35.484.559
2008	75%	3317,9	4.886	4.788	37.747.413
2009	75%	3521,1	5.185	5.081	40.059.645
2010	75%	3729,0	5.491	5.381	42.425.236
2011	75%	3942,0	5.805	5.689	44.848.229
2012	75%	3749,8	5.522	5.411	42.660.955
2013	75%	3566,9	5.252	5.147	40.580.356
2014	75%	3392,9	4.996	4.896	38.601.229
2015	75%	3227,4	4.752	4.657	36.718.624
2016	75%	3070,0	4.521	4.430	34.927.836
2017	75%	2920,3	4.300	4.214	33.224.385
2018	75%	2777,9	4.090	4.009	31.604.013
2019	75%	2642,4	3.891	3.813	30.062.667
2020	75%	2513,5	3.701	3.627	28.596.493
2021	75%	2390,9	3.521	3.450	27.201.826
2022	75%	2274,3	3.349	3.282	25.875.177
2023	75%	2163,4	3.186	3.122	24.613.230
2024	75%	2057,9	3.030	2.970	23.412.829

2025	75%	1957,5	2.882	2.825	22.270.972
2026	75%	1862,1	2.742	2.687	21.184.803
2027	75%	1771,3	2.608	2.556	20.151.608
2028	75%	1684,9	2.481	2.431	19.168.803
2029	75%	1602,7	2.360	2.313	18.233.929
2030	75%	1524,5	2.245	2.200	17.344.650

2. Para el caso de las Provincias de San Felipe, Los Andes y Petorca.

Tabla 44: Potencial de generación de electricidad.

Año	Eficiencia del Sistema de Recolección	(m³/hr)	Potencial Grueso de generación de energía (kW)	Potencial Neto de generación de energía (kW)	Electricidad anual generada (kWh)
1994	50%	5	7	7	56.885
1995	50%	28	41	40	318.556
1996	75%	60	88	87	682.620
1997	75%	87	128	126	989.800
1998	75%	114	168	165	1.296.979
1999	75%	141	208	203	1.604.158
2000	75%	168	247	242	1.911.337
2001	75%	195	287	281	2.218.516
2002	75%	222	327	320	2.525.695
2003	75%	249	367	359	2.832.875
2004	75%	277	408	400	3.151.431
2005	75%	305	449	440	3.469.987
2006	75%	333	490	481	3.788.543
2007	75%	362	533	522	4.118.476
2008	75%	391	576	564	4.448.409
2009	75%	420	618	606	4.778.343
2010	75%	450	663	649	5.119.653
2011	75%	481	708	694	5.472.340
2012	75%	457	673	659	5.199.292
2013	75%	435	641	628	4.948.998
2014	75%	414	610	597	4.710.081
2015	75%	394	580	569	4.482.540
2016	75%	374	551	540	4.255.000
2017	75%	356	524	514	4.050.214
2018	75%	339	499	489	3.856.805
2019	75%	322	474	465	3.663.396
2020	75%	307	452	443	3.492.741
2021	75%	292	430	421	3.322.086
2022	75%	277	408	400	3.151.431
2023	75%	264	389	381	3.003.530

2024	75%	251	370	362	2.855.629
2025	75%	239	352	345	2.719.104
2026	75%	227	334	328	2.582.580
2027	75%	216	318	312	2.457.433
2028	75%	205	302	296	2.332.286
2029	75%	195	287	281	2.218.516
2030	75%	186	274	268	2.116.123