UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO – CHILE

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PRODUCIDO EN RELLENOS SANITARIOS EN CHILE.

JOSÉ PABLO GARCÍA ALCALDE

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: MG. ING. ROBERTO YUNGE DUCAUD

PROFESOR CORREFERENTE: ING. LUIS GUZMÁN BONET

JULIO 2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por darme la oportunidad de estudiar y crecer como persona hasta esta instancia de la vida. Y a mi familia, por el apoyo y por creer en mí.

A mi profesor Guía Roberto Yunge, por su dedicación, colaboración y compromiso desde el primer día. Quien confió en mi propuesta y me ayudó con profesionalismo a sacarla adelante.

A mi profesor Correferente Luis Guzmán, por su ayuda y consejos entregados para el desarrollo de esta tesis.

A toda la gente que conocí durante la universidad, amigos, compañeros de clase, compañeros de equipos, funcionarios, profesores, tías de los kioscos, con quienes compartí en más de una oportunidad y ayudaron en mi formación en esta etapa universitaria.

Y en especial a quienes se han convertido en mis amigos. Por estar en las buenas y en las malas durante estos años. Por haber compartido tantas horas de estudio, horas de juegos, partidos de futbol y más de una fiesta o viaje.

A todos ustedes, y a todas las personas que aportaron en mi vida de manera significativa durante este último tiempo en que realicé esta tesis.

Muchas gracias, Jota.

RESUMEN

El biogás generado en rellenos sanitarios producto de la descomposición de los residuos, al ser una fuente ERNC, puede ser una alternativa importante para la generación de energía eléctrica limpia y la disminución de la huella de carbono en la matriz energética nacional.

Chile tiene un número significativo de rellenos sanitarios operativos, los cuales reciben un 78% de los RSU recolectados. Sin embargo, el país tiene solo 4 plantas de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario, las que aportan aproximadamente 45 MW al SEN. Estas representan un 56% del total de residuos dispuestos en rellenos sanitarios.

Esta información resalta un considerable potencial de generación de energía eléctrica inexplorado en el país, al no existir valorización del biogás generado por un 44% de los RSU. Es importante determinar este potencial a nivel nacional con el fin de proporcionar información al gobierno, investigadores o empresas, en relación con el uso de este biogás.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás disponible en los rellenos sanitarios a nivel nacional.

Para el desarrollo de este estudio se emplea la siguiente metodología: i) Elaborar un catastro actualizado de los rellenos sanitarios que no aprovechan el biogás generado, ii) Estimar el potencial teórico de generación de biogás en los rellenos sanitarios, iii) Segmentar los rellenos sanitarios en que puede ser factible el aprovechamiento del biogás, iv) Estimar el potencial técnico energético relativo al sistema de captación y tecnologías disponibles y v) Determinar el potencial económico implementable y sus posibles escenarios al sensibilizar el precio de venta de la energía eléctrica y el costo de operación y mantenimiento.

Los resultados obtenidos indican que hasta el año 2034, Chile tiene un potencial de generación de energía eléctrica de aproximadamente 33 MW de capacidad media instalable en 15 rellenos sanitarios. Repartido en 9 regiones, la principal fuente para el potencial estimado se encuentra en la Región del Maule con 9,2 MW instalable a partir de 4 rellenos sanitarios. Mientras que, en los distintos escenarios (alto y bajo) pueden implementarse plantas de energía eléctrica para 21 y 9 rellenos sanitarios respectivamente.

Palabras clave: Biogás, relleno sanitario, RSU, energía renovable, potencial energético.

ABSTRACT

The biogas generated in sanitary landfills as a result of the decomposition of waste, being an NCRE source, can be an important alternative for the generation of clean electric power and the reduction of the carbon footprint in the national energy matrix.

Chile has a significant number of operational sanitary landfills, which receive 78% of the MSW collected. However, the country has only 4 power plants from landfill biogas, which contribute approximately 45 MW to the SEN. These represent 56% of the total waste disposed in landfills.

This information highlights a considerable potential for generating unexplored electric power in the country, as there is no valuation of biogas generated by 44% of the MSW. It is important to determine this potential at the national level in order to provide information to the government, researchers or companies, regarding the use of this biogas.

Therefore, the objective of this research is to evaluate the potential of electric power generation from biogas available in landfills nationwide.

For the development of this study, the following methodology is used: i) Prepare an updated cadastre of landfills that do not take advantage of the generated biogas, ii) Estimate the theoretical potential of generating biogas in landfills, iii) Segment landfills in which the use of biogas may be feasible, iv) Estimate the technical energy potential related to the collection system and available technologies and v) Determine the economic potential that can be implemented and its possible scenarios by raising the price of electricity and the cost of electricity. operation and maintenance.

The results obtained indicate that up to the year 2034, Chile has an electric power generation potential of approximately 33 MW of average installable capacity in 15 landfills.

Distributed in 9 regions, the main source for the estimated potential is in the *Región del Maule* with 9.2 MW installable from 4 landfills. While, in the different scenarios (high and low), electric power plants can be implemented for 21 and 9 sanitary landfills respectively.

Keywords: Landfill gas, landfill, municipal solid waste, renewable energy, energy potential.

GLOSARIO

- BID: Banco Interamericano de Desarrollo.
- CNE: Comisión Nacional de Energía.
- CH4: Metano.
- CONAMA: Comisión Nacional del Medio Ambiente.
- CTI: Centro de Tratamiento Integral.
- CVNC: Costo Variable no Combustible.
- DIA: Declaración de Impacto Ambiental.
- DS: Decreto Supremo.
- EPA: Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos.
- ERNC: Energía Renovable No Convencional.
- GEI: Gases de Efecto Invernadero.
- H2S: Sulfuro de Hidrógeno.
- INIA: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- IPCC: Panel Intergubernamental del Cambio Climático.
- ITD: Informe Técnico Definitivo para Precios de Nudo de Corto Plazo.
- kW: Kilowatt.
- kWh: Kilowatt hora.
- MW: Megawatt.
- MWh: Megawatt hora.
- O&M: Operación y Mantenimiento.
- PPA: “Power Purchase Agreement”.
- PPC: Producción Per Cápita.
- PMGD: Pequeño Medio de Generación Distribuida.
- RETC: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes.
- RRSS: Rellenos Sanitarios.
- RSD: Residuos Sólidos Domiciliarios.
- RSDyA: Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables.
- RSU: Residuos Sólidos Urbanos.
- SEA: Servicio de Evaluación Ambiental.
- SEN: Sistema Eléctrico Nacional.
- SERNATUR: Servicio Nacional de Turismo.
- SINADER: Sistema Nacional de Declaración de Residuos.
- SUBDERE: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.
- TIR: Tasa Interna de Retorno.
- US$: Dólar Estadounidense.
- VAN: Valor Actual Neto.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción 1
1.1. Objetivos 2
1.1.1. Objetivo General 2
1.1.2. Objetivos Específicos 2
2. Metodología 3
2.1. Catastro rellenos sanitarios al año 2018 3
2.2. Potencial para la generación de biogás 3
2.3. Segmentación de rellenos sanitarios 4
2.4. Factibilidad técnica 4
2.5. Evaluación económica 4
3. Marco Teórico 5
3.1. Residuos sólidos urbanos 5
3.2. Relleno sanitario 6
3.3. Biogás de relleno sanitario 7
3.3.1. Propiedades del biogás de relleno sanitario 8
3.3.2. Fases de la generación del biogás 8
3.3.3. Factores que influyen en la producción 10
3.4. Sistema de extracción del biogás 11
3.5. Sistema de tratamiento del biogás 12
3.6. Modelos de estimación de producción de biogás 13
3.6.1. Modelo LandGEM 13
3.6.2. Modelo Mexicano 14
3.6.3. Modelo IPCC 14
3.7. Parámetros 16

3.7.1. Tasa de generación de metano 16
3.7.2. Potencial de generación de metano 17
3.8. Tecnologías de generación de energía eléctrica 18
3.8.1. Motor de combustión interna 19
3.8.2. Turbinas a Gas 19
3.9. ERNC en el mercado eléctrico chileno 20
3.9.1. Operación comercial en el mercado 20
3.9.2. ERNC en el Sistema eléctrico nacional 21
4. Catastro de rellenos sanitarios en Chile 2018 22
5. Potencial de Generación de Biogás 32
5.1. Determinación de los parámetros 32
5.1.1. Tasa de generación de metano 33
5.1.2. Potencial de generación de metano 37
5.2. Estimación de biogás 41
6. Segmentación de Rellenos Sanitarios 47
6.1. Criterios de segmentación 49
6.2. Categorías de segmentación 52
6.2.1. Categoría 0 54
6.2.2. Categoría 1 54
6.2.3. Categoría 2 55
6.2.4. Categoría 3 55
6.2.5. Categoría 4 56
6.2.6. Categoría 5 56
7. Factibilidad Técnica 57
7.1. Factor de Planta 57

7.2. Costos 57
7.2.1. Costos de Inversión 57
7.2.2. Costos de Operación y Mantenimiento 58
a. Costo O&M 58
b. Costo variable no combustible 59
c. Costo de overhaul 60
7.3. Eficiencia de Captura 62
7.3.1. Profundidad de los residuos 62
7.3.2. Tipo de cobertura 62
7.3.3. Recubrimiento inferior 63
7.3.4. Compactación de residuos 63
7.3.5. Manejo de lixiviados 63
7.4. Potencial factible de biogás 64
7.5. Tecnologías disponibles 67
7.6. Potencial técnico energético 68
8. Evaluación Económica 71
8.1. Ingresos 71
8.1.1. Ingresos por energía térmica 71
8.1.2. Ingresos por generación eléctrica 71
8.1.3. Ingresos por potencia 72
8.2. Valor Residual 72
8.3. Flujo de Caja 73
8.4. Potencial Económico Implementable 74
8.5. Análisis de sensibilidad 79
8.5.1. Variación del precio de energía eléctrica 80

8.5.2. Variación del costo de operación y mantenimiento 82

Conclusiones y Recomendaciones 84

Referencias 86

Anexo A 89

Anexo B 112

Anexo C 126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de relleno sanitario. 7
Figura 2 Evolución de la composición del biogás de relleno sanitario. 9
Figura 3 Tratamiento del biogás según utilización. 12
Figura 4 Alternativas de interacción comercial de un ERNC. 20
Figura 5 Capacidad total del SEN, MW. 21
Figura 6 Residuos recibidos por tipo de instalación. 22
Figura 7 Proyección corregida de ingreso de residuos en relleno sanitario El Panul. 29
Figura 8 Proyección corregida de ingreso de residuos en relleno sanitario El Retamo. 30
Figura 9 Árbol de decisión para las emisiones de CH4. 32
Figura 10 Valores del índice de generación de metano por defecto. 33
Figura 11 Principales estaciones meteorológicas utilizadas. 35
Figura 12 Valores por defecto para contenido de carbono orgánico degradable. 38
Figura 13 Factores de corrección de metano para distintos tipos de sitio. 39
Figura 14 Curva de generación de biogás relleno sanitario Santiago Poniente. 41
Figura 15 Potencial teórico total de generación de biogás y potencia eléctrica a instalar en el mediano plazo. 46
Figura 16 Variación de indicadores económicos al agregar motor extra sobre 1.500 kW… 50
Figura 17 Modelo de flujo de caja privado. 73
Figura 18 Número de rellenos sanitarios por rango de potencia instalada. 76
Figura 19 Distribución espacial de la potencia eléctrica media implementable hasta 2034. 77
Figura 20 Diagrama de flujo para el biogás y la potencia media en los rellenos sanitarios potenciales de Chile. 78
Figura 21 Análisis de sensibilidad precio de energía eléctrica motor J312. 80
Figura 22 Análisis de sensibilidad precio de energía eléctrica motor J316. 81
Figura 23 Análisis de sensibilidad precio de energía eléctrica, turbina a gas. 82
Figura 24 Análisis de sensibilidad costo O&M, motor J312. 83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Composición de los principales gases y trazas en biogás de relleno sanitario. 8
Tabla 2 Generación de RSDyA a nivel nacional. 22
Tabla 3 Sitios de disposición final excluidos del Catastro 2018. 24
Tabla 4 RSD recibidos en regiones pertenecientes al catastro. 25
Tabla 5 Residuos recibidos por tipo de instalación en regiones pertenecientes al catastro.. 25
Tabla 6 Composición de los residuos recibidos por sitios catastrados. 26
Tabla 7 Datos de diseño, Relleno Sanitario El Panul. 27
Tabla 8 RSD declarados en RETC, Relleno Sanitario El Panul. 28
Tabla 9 Catastro de rellenos sanitarios potenciales. 31
Tabla 10 Composición porcentual otros residuos degradables. 34
Tabla 11 Valores de k para cada rango de MAP/PET. 35
Tabla 12 Tasa de generación de metano para los rellenos sanitarios potencial de Chile. 36
Tabla 13 Potencial de generación de metano para los rellenos sanitarios potenciales de Chile. 40
Tabla 14 Potencial teórico de generación de biogás en los rellenos sanitarios de Chile en el mediano plazo, parte I. 43
Tabla 15 Potencial teórico de generación de biogás en los rellenos sanitarios de Chile en el mediano plazo, parte II. 44
Tabla 16 Total de potencial de biogás a generar en el mediano plazo. 45
Tabla 17 Potencia nominal total a generar en el mediano plazo. 45
Tabla 18 Resumen de costos para cada tipo de tecnología. 47
Tabla 19 Supuestos utilizados para calcular periodo de retorno de tecnologías. 48
Tabla 20 Precios nudo de corto plazo promedio por tecnología. 48
Tabla 21 Especificaciones técnicas motor Jenbacher J420. 49
Tabla 22 Indicadores económicos para un motor sobre 1.500 kW. 49
Tabla 23 Indicadores económicos para dos motores sobre 1.500 kW. 50
Tabla 24 Comparación de tecnologías al utilizar 2.200 [m3/hr] de biogás. 51
Tabla 25 Criterios de segmentación para cada tipo de tecnología. 51
Tabla 26 Criterios de segmentación aplicados a potencial de generación de biogás*. 52

Tabla 27 Potencial de generación de biogás en rellenos sanitarios capaces. 53
Tabla 28 Potencial de generación de biogás en rellenos sanitarios descartados. 53
Tabla 29 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 0..... 54
Tabla 30 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 1..... 54
Tabla 31 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 2..... 55
Tabla 32 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 3..... 55
Tabla 33 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 5..... 56
Tabla 34 Costos estimados de inversión en proyectos eléctricos a partir de biogás de relleno. 58
Tabla 35 Costos de O&M típicos en proyectos eléctricos a partir de biogás de relleno. 59
Tabla 36 Resumen de costos de overhaul por capacidad instalada. 60
Tabla 37 Costos estimados de overhaul por generación eléctrica. Fuente: Elaboración propia. 61
Tabla 38 Costos estimados de operación y mantenimiento sin overhaul. 61
Tabla 39 Eficiencias de captura para cada tipo de cobertura utilizada..... 63
Tabla 40 Eficiencias de captura del sistema de recolección para rellenos sanitarios segmentados. 64
Tabla 41 Potencial factible de biogás en los rellenos sanitarios segmentados*. 65
Tabla 42 Biogás no captado en rellenos sanitarios capaces. 66
Tabla 43 Biogás captado y quemado en rellenos sanitarios descartados. 66
Tabla 44 Potencial factible de biogás en 15 rellenos sanitarios. 66
Tabla 45 Tecnologías de generación con biogás de relleno sanitario. 67
Tabla 46 Factibilidad de tecnologías en relleno sanitario Los Ángeles. 68
Tabla 47 Potencial técnico energético en rellenos sanitarios capaces*. 69
Tabla 48 Biogás no aprovechable por tecnologías. 70
Tabla 49 Biogás máximo aprovechable por tecnologías. 70
Tabla 50 Supuestos utilizados para la evaluación económica de las alternativas tecnológicas. 71
Tabla 51 Evaluación económica de alternativas tecnológicas en relleno sanitario Los Ángeles. 74

Tabla 52 Potencial económico implementable en los rellenos sanitarios factibles de Chile*. 75
Tabla 53 Biogás no aprovechado por tecnologías implementadas. 76
Tabla 54 Biogás aprovechado por tecnologías implementadas. 76
Tabla 55 Cantidad de proyectos de energía eléctrica al variar precio energía eléctrica. 82
Tabla 56 Cantidad de proyectos de energía eléctrica al variar costo O&M. 83

1. Introducción

En Chile al año 2017 se generaron aproximadamente 7,5 millones de toneladas de residuos sólidos domiciliarios, de los cuales un 78,2% fueron dispuestos entre los 38 rellenos sanitarios que se encuentran actualmente operativos.

Como consecuencia de la disposición final, se genera biogás de relleno sanitario producto de la descomposición anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de los residuos orgánicos dispuestos en estos sitios. La composición típica del biogás es 50% metano y 50% dióxido de carbono.

A través de la combustión de la fracción de metano puede aprovecharse el biogás de relleno sanitario para la generación de energía eléctrica y/o térmica. Para aquello, deben instalarse equipos de generación como motores de combustión interna o turbinas a gas.

Del total de rellenos sanitarios operativos en el país, sólo 4 valorizan el biogás producido para generar energía eléctrica e inyectar un total de 45 MW al sistema eléctrico nacional (SEN). Estos representan un 56% del total de residuos dispuestos en rellenos sanitarios.

Los otros 34 sitios queman el biogás para cumplir con el reglamento de rellenos sanitarios (DS 189/08). En este sentido surge la interrogante ¿Por qué no se valoriza el biogás producido por el otro 44% de los residuos recibidos en rellenos sanitarios?

Para responder a esta pregunta se plantea el objetivo general de esta tesis “Evaluar el potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás disponible en los rellenos sanitarios a nivel nacional”.

Para calcular este potencial se debe estimar la evolución de la generación de biogás a través del tiempo. Asumiendo que al mediano plazo los hábitos en generación de desechos de los chilenos no cambiarán, se estable un alcance hasta el año 2033.

Con los resultados de esta tesis se podrá determinar el aporte energético que puede entregar esta fuente ERNC a la matriz energética durante los próximos 15 años, con el fin de entregar energía limpia responsable con el medio ambiente, disminuir la huella de carbono en la matriz energética nacional y generar nuevas oportunidades de negocios.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Evaluar el potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás disponible en los rellenos sanitarios a nivel nacional.

1.1.2. Objetivos Específicos

1. Elaborar un catastro con la cantidad y composición de los residuos sólidos domiciliarios y asimilables al año 2018 dispuestos en los rellenos sanitarios de Chile.
2. Estimar el potencial para la generación de biogás en los rellenos sanitarios a través de modelos de emisión hasta el año 2033.
3. Segmentar los rellenos sanitarios según su potencial de producción de biogás.
4. Analizar la factibilidad técnica por segmentos para el aprovechamiento del biogás en la generación de energía eléctrica.
5. Evaluar económicamente la implementación de plantas de energía eléctrica a partir de biogás en los rellenos sanitarios técnicamente factibles.

2. Metodología

Para lograr los objetivos mencionados, se utilizó la siguiente metodología según tópicos

2.1. Catastro rellenos sanitarios al año 2018

En la primera etapa se elaboró un catastro actualizado de los rellenos sanitarios en donde no existe aprovechamiento energético del biogás generado. Para ello se recoge información del "Diagnóstico y Catastro Nacional de Sitios de Disposición Final e Instalaciones para la Gestión de Residuos Sólidos Año 2017." de la SUBDERE, el cual se complementa con las declaraciones y estudios de impacto ambiental de cada uno de los sitios de disposición final.

Para cada sitio de disposición final se registraron sus datos de diseño, tasas de crecimiento de residuos, composición de residuos y proyecciones de ingreso de RSD. Estas proyecciones se corroboraron con las fuentes disponibles, calculando un factor de corrección con el que se determinó si las proyecciones fueron subestimadas o sobrestimadas, modificando el año de cierre de los rellenos.

2.2. Potencial para la generación de biogás

A partir de la cantidad de biomasa estimada bajo el punto previo, se calculó el potencial teórico para la generación de biogás. Este valor corresponde a la cantidad de biogás que es posible generar a partir de la degradación del componente orgánico de los RSD proyectados anteriormente, sin considerar las restricciones técnicas asociadas a la viabilidad de recolección y generación energética.

Para determinar este potencial se debe seleccionar un modelo matemático apropiado para la estimación del biogás ideal a generar, el cual debe alimentarse con parámetros que varían según las características del sitio, las condiciones climatológicas, la composición de los residuos y la ubicación geográfica.

2.3. Segmentación de rellenos sanitarios

Luego de calcular la generación de biogás de todos los rellenos sanitarios, se deben separar los sitios en que puede ser factible el aprovechamiento energético, de los que no tienen un potencial suficiente.

Para realizar esta segmentación, se calcula el periodo mínimo que debe funcionar cada tecnología de generación para presentar un retorno de la inversión, descartando los rellenos sanitarios que no logren mantener un caudal óptimo durante los años requeridos.

2.4. Factibilidad técnica

En los rellenos sanitarios segmentados se aplicaron restricciones técnicas relativas a la captación y uso del biogás. Primero se determina el potencial factible de biogás, que depende de la eficiencia del sistema de recolección del biogás teóricamente generado.

Luego se toman en cuenta aspectos técnicos de la utilización del biogás para la generación de energía, como la eficiencia de generadores, factor de planta, factor de potencia, entre otros, con lo que se determina el potencial técnico energético.

2.5. Evaluación económica

Por último, para cada relleno sanitario factible se realizó una evaluación económica, a partir de la cual se estimó el potencial económico implementable en el país en el corto y mediano plazo.

Además, mediante análisis de sensibilidad se determinan distintos escenarios posibles a manifestarse dentro del periodo de evaluación del proyecto, al variar el precio de venta de la energía eléctrica y el costo de operación y mantenimiento de las centrales.

3. Marco Teórico

3.1. Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos o domiciliarios son residuos sólidos, basuras, desechos o desperdicios generados en viviendas y establecimientos tales como edificios habitacionales, locales comerciales, hoteles, establecimientos educacionales y cárceles. A estos, se le pueden sumar los residuos sólidos asimilables que son generados en procesos industriales y no son considerados peligrosos para ser dispuestos en rellenos sanitarios. (DS N° 189, 2008)

Los RSU se componen de residuos orgánicos, papel y cartón, plásticos, vidrios, metales y otros residuos de menor cantidad, entre los cuales se encuentran madera, textiles, gomas, Tetrapak e higiénicos.

La estimación de la generación de residuos sólidos urbanos en una comunidad durante un año queda determinada por la siguiente ecuación.

$$RSD_{gen} = ppc \cdot (1 + \frac{Tasa_{ppc}}{100}) \cdot habitantes \cdot (1 + \frac{Tasa_{hab}}{100}) \cdot 365 \quad (1)$$

En donde,

RSD_{gen}: Residuos generados en un año, ton/año.

ppc: Producción per cápita de residuos, kg/hab·día.

$Tasa_{ppc}$: Tasa a la que se incrementa la ppc anualmente, porcentaje.

$habitantes$: Cantidad de habitantes, hab.

$Tasa_{hab}$: Tasa a la que se incrementa el número de habitantes anualmente, porcentaje.

365: Días en un año, constante (día).

A partir de la ecuación (1) se puede determinar una expresión para la tasa de crecimiento de los RSD generados.

$$Tasa_{RSD} = \left(1 + \frac{Tasa_{ppc}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{Tasa_{hab}}{100}\right) \quad (2)$$

En donde,

$Tasa_{RSD}$: Tasa anual de crecimiento de la generación de RSD, porcentaje.

En la cuarta publicación del Reporte del Estado del Medio Ambiente, publicado por el Ministerio del Medio Ambiente el año 2018, se señala que en el país al año 2016 se generaron 21,2 millones de toneladas de residuos, de las cuales 20,5 millones corresponden a residuos no peligrosos. De estos, un 36,4% corresponde a residuos sólidos urbanos, lo que equivale a 7.487.559 toneladas.

En Chile, la mayor parte de los residuos sólidos urbanos son dispuestos en sitios de disposición final, que pueden ser basurales, vertederos o rellenos sanitarios.

3.2. Relleno sanitario

El relleno sanitario es una instalación de eliminación de residuos sólidos en la cual se disponen residuos sólidos domiciliarios y asimilables, diseñada, construida y operada para minimizar molestias y riesgos para la salud y la seguridad de la población y daños para el medio ambiente, en el cual las basuras son compactadas en capas al mínimo volumen practicable y son cubiertas diariamente, cumpliendo con las disposiciones del presente reglamento (DS N° 189, 2008).

Un relleno sanitario puede realizar su construcción y operación manualmente en casos que se traten de territorios insulares o localidades aisladas con poblaciones inferior a 20.000 habitantes, distantes a más de 50 kilómetros de cualquier localidad que cuenten con relleno (DS N° 189, 2008, art. 59).

Un relleno sanitario corresponde básicamente a un reactor bioquímico, cuyas entradas principales son residuos y agua, mientras que sus salidas corresponden a biogás y lixiviados.

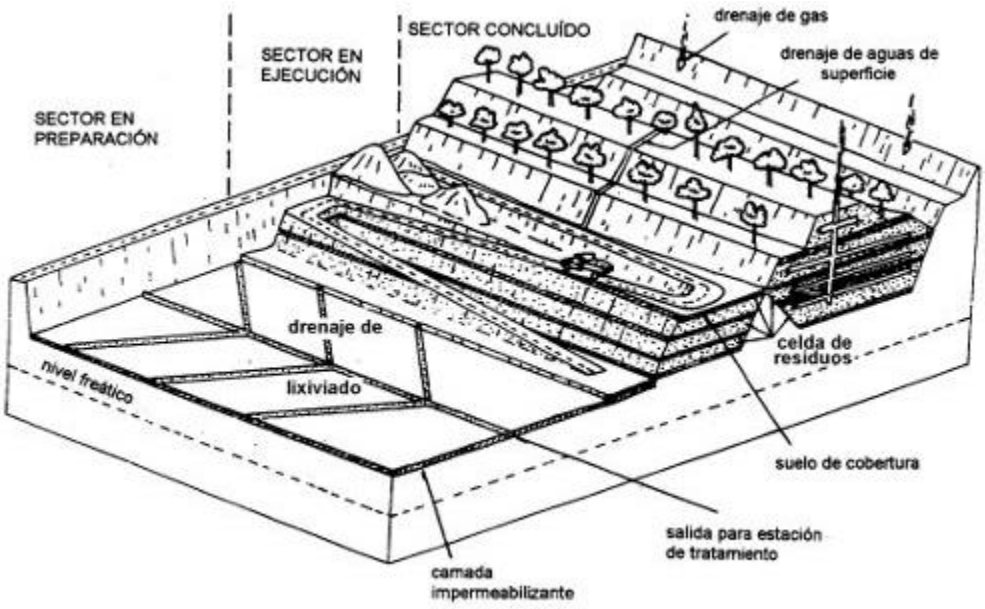


Figura 1 Esquema de relleno sanitario.

Fuente: CEMPRE Uruguay. (1998). Manual de gestión integral de residuos sólidos urbanos.

A diferencia de la instalación observada en la Figura 1, un basural es un lugar en el que se disponen residuos de forma espontánea, sin ningún tipo de control sanitario ni protección ambiental. Mientras que el vertedero es un sitio planificado pero que no cuenta con las medidas sanitarias mínimas establecidas en el decreto supremo 189 /08 del MINSAL.

3.3. Biogás de relleno sanitario

El biogás es un gas combustible producto de la descomposición de la materia orgánica en condiciones de ausencia de oxígeno. Este proceso se conoce como digestión anaeróbica y es realizado por distintos tipos de bacterias. El biogás producido por la degradación de la biomasa está compuesto fundamentalmente por metano (CH4) y dióxido de carbono (CO2). También contiene otra serie de compuestos que se comportan como impurezas y que hacen necesario su retiro dependiendo de su uso final (MINENERGIA/GIZ, 2012).

En un relleno sanitario, los variados componentes de los residuos sólidos se degradan anaeróbicamente a diferentes tasas. Por lo cual, la cantidad total de biogás que es producido por los desechos depende de su composición y la proporción de materia orgánica degradable.

3.3.1. Propiedades del biogás de relleno sanitario

El valor energético del biogás de relleno sanitario depende directamente de su contenido de metano, siendo el poder calorífico de este 9,96 kWh/m^3. En la Tabla 1 pueden observarse los principales componentes del biogás y los rangos en que varían sus concentraciones.

Tabla 1 Composición de los principales gases y trazas en biogás de relleno sanitario.

Componente de Gas	Nombre químico	Rango	Promedio
Metano	CH_4	40-60%	50%
Dióxido de carbono	CO_2	25-50%	42%
Nitrógeno	N_2	3-15%	7%
Oxigeno	O_2	0-4%	1%
Hidrogeno	H_2	0-1%	0.5%
Argón	Ar	0-0.4%	0.1%
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	0-200 ppm	30 ppm
Cloro total	Cl	0-200 ppm	20 ppm
Flúor total	F	0-100 ppm	20 ppm

Fuente: Terraza, H., & Willumsen, H. (2010). *Guidance Note on Landfill Gas Capture and Utilization*.

En los rellenos sanitarios, la mayor parte de los desechos generan un gas con aproximadamente 50 por ciento de CH4. Solo los materiales que incluyen cantidades sustanciales de grasa o aceite pueden generar gas con mayor composición de metano.

3.3.2. Fases de la generación del biogás

En general, la biodegradación de los residuos sólidos sigue un patrón de cinco etapas.

Fase I. Descomposición aeróbica: Esta fase sucede inmediatamente después de que los desechos son depositados mientras hay presencia de oxígeno en el relleno sanitario. Las sustancias de fácil biodegradación se comienzan a degradar a partir del contacto con el aire. La descomposición aeróbica produce dióxido de carbono, agua y calor.

Fase II, Descomposición anóxica no metanogénica: En esta fase se originan compuestos ácidos y gas hidrógeno, además de sostenerse la producción de dióxido de carbono. También se destruyen grandes moléculas, que forman pequeñas cadenas en las que se incluye amoniaco, dióxido de carbono, hidrogeno y agua. Estas reacciones consumen el oxígeno y nitrógeno residual presenten el relleno sanitario. (LÓPEZ, 2012, p.9)

Fase III, Anaeróbica metanogénica inestable: Aquí la creación de dióxido de carbono decrece, porque la descomposición comienza la transición desde una fase aeróbica a una anaeróbica. La descomposición anaeróbica produce calor, agua y metano. Las bacterias metanogénicas se activan durante este periodo, usando subproductos de la etapa anterior. (LÓPEZ, 2012, p.9)

Fase IV, Anaeróbica metanogénica estable: En esta fase el gas metano se produce en concentraciones entre 40% y 60% del volumen total y generalmente en forma estable. Es usual que la mayoría de los rellenos sanitarios alcancen la fase metanogénica estable dos años después de posicionados los residuos. (LÓPEZ, 2012, p.10)

Fase V, Anaeróbica metanogénica en disminución: Después de convertirse gran parte del material biodegradable en metano y dióxido de carbono durante la fase IV, la humedad sigue migrando a través de los desperdicios y convierte el material orgánica que antes no estaba disponible. Sin embargo, la creación de biogás baja significativamente debido a la escasez de nutrientes y por sustratos disponibles que son de degradación lenta. (LÓPEZ, 2012, p.10)

En la Figura 2 se observa la evolución de la composición del biogás.

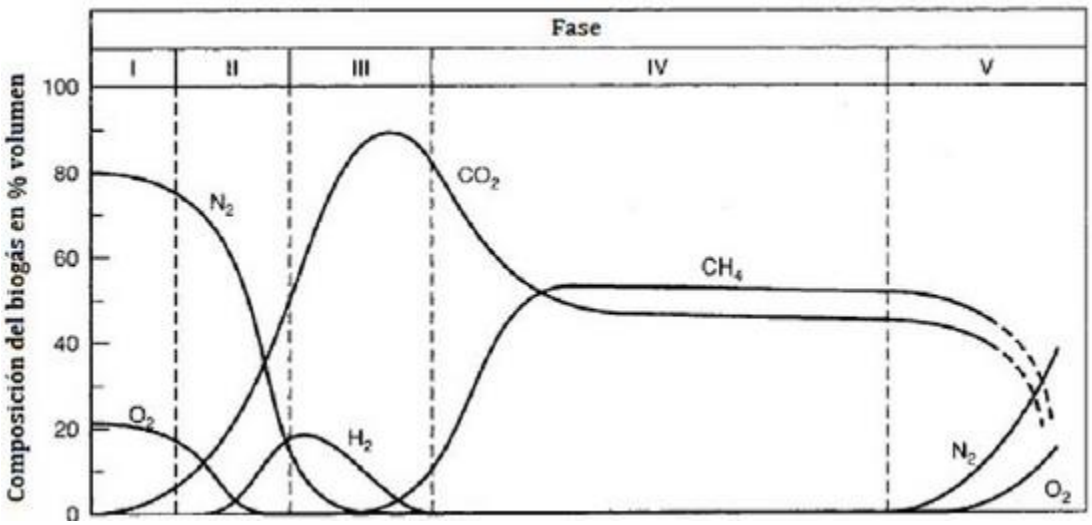


Figura 2 Evolución de la composición del biogás de relleno sanitario.

Fuente: O'leary, P. R., Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). Handbook of solid waste management.

3.3.3. Factores que influyen en la producción

El periodo de tiempo que se requiere para que los residuos sólidos domiciliarios y asimilables se degraden y se produzca biogás depende de varios factores, entre ellos la temperatura, humedad, cobertura, composición, edad y compactación de los residuos.

Temperatura: Las bacterias metanogénicas encuentran condiciones óptimas a 35°C. Esta temperatura se encuentra en rellenos sanitarios profundos. En sitios poco profundos (bajo 10 metros de profundidad), la temperatura es normalmente tan baja como 20°C. En general, el aumento de la temperatura acelera la actividad microbiológica hasta ese nivel óptimo. (Terraza y Willumsen, 2010, p.4)

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. De ahí que en los rellenos se recomienda recircular los líquidos percolados para adicionar humedad a la basura. Pero al contrario, un aumento de la cantidad de agua no influye significativamente sobre la producción de biogás y dificulta la captación del gas inundando las chimeneas. (Colmenares y Santos, 2007, p.5)

Composición de los residuos: La composición de los residuos varía a lo largo del país. Ésta afecta la tasa de descomposición; mientras más rápido se descompone la materia orgánica, mayor es la tasa de producción de biogás de relleno sanitario.

Edad de los residuos: La generación de biogás de relleno sanitario alcanza su máxima capacidad después de 3 a 8 años, y normalmente decrece después de 15 a 30 años, cuando ya no es rentable extraer el gas con fines energéticos. (Terraza y Willumsen, 2010, p.5)

Compactación: Una buena compactación o una reducción del tamaño de los desechos mejora 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.

Cobertura: El recubrimiento diario evita el contacto de los desechos con el oxígeno, permitiendo que se consigan condiciones anaeróbicas. Además, reduce la penetración de aguas lluvias para mantener una adecuada humedad en los residuos. (Colmenares y Santos, 2007, p.6)

3.4. Sistema de extracción del biogás

Para efectos de aprovechamiento energético la extracción del biogás generado en los rellenos sanitarios más eficiente se lleva a cabo por el método del drenaje activo. Este método de extracción consiste en utilizar un soplador de aire, que por medio de tuberías está conectado a un sistema de pozos de captación de biogás. El sistema de captación se instala dentro del relleno sanitario y la función del soplados es generar vacío dentro de los pozos de captación forzando la salida del biogás.

El sistema de drenaje activo se compone de los siguientes elementos (LÓPEZ, 2012, p.12).

Pozos de extracción: Es una columna perforada o ranurada permeable que se instala en todo el relleno sanitario a profundidades que van del 50% al 90% del espesor de los residuos. Existen pozos con tuberías verticales, horizontales y mixtas, estos pueden construirse juntos con el relleno sanitario o realizar excavaciones posteriores. La distancia común entre los pozos es de 30 a 40 metros y el tubo perforado dentro del relleno mide entre 10 y 20 cm de diámetro.

Cabezal de pozo: Situado en la parte superior de los pozos de extracción. Permite controlar la extracción de gas. Cumplen funciones como medir el caudal de biogás de cada pozo, regular el flujo y eliminar la condensación de agua. El material más utilizado es polietileno.

Tuberías colectoras: Transportan el biogás de los pozos de extracción a la estación de aprovechamiento o incineración. Las tuberías por lo general están hechas de polietileno de media o alta densidad, ya que presenta propiedades óptimas de resistencia mecánica y química. Además, el sistema debe contar con puntos de drenaje de agua y poseer un número suficiente de válvulas de regulación para aislar secciones.

Bombeo de extracción: Con frecuencia se usan compresores o sopladores centrífugos para la extracción del biogás. Deben asegurar la aspiración del gas y la regulación de la presión y del caudal. Además, deben considerarse supresores de llama en caso de auto combustión, con el fin de minimizar el riesgo de una explosión.

Los rellenos sanitarios que tengan una altura total inferior a 6 metros no estarán obligados a contemplar un sistema de manejo de biogás (DS N° 189, 2008, art. 16).

3.5. Sistema de tratamiento del biogás

Para utilizar el biogás de relleno sanitario en un sistema de recuperación de energía generalmente requiere algún tratamiento para eliminar el exceso de humedad, partículas y otras impurezas. El sulfuro de hidrógeno en contacto del vapor de agua genera ácido sulfhídrico, que tiene efectos corrosivos en los metales. Además, la presencia de vapor de agua disminuye el poder calorífico y puede interferir con la operación de la combustión (U.S. EPA, 2017, p.1-4).

El tipo y la extensión del tratamiento dependen de las características específicas del biogás en el relleno sanitario y del tipo de uso empleado. Las calderas y la mayoría de los motores requieren un tratamiento mínimo, generalmente deshumidificación, filtración de partículas y compresión. Algunos motores de combustión interna y turbinas de gas también requieren la eliminación del siloxano y sulfuro de hidrógeno utilizando lechos de adsorción, depuradores biológicos y otras tecnologías disponibles después del paso de deshumidificación.

La Figura 3 muestra los tratamientos necesarios según el destino del biogás.

Uso final	Eliminación de agua	Eliminación de CO_2	Eliminación de H_2S (desulfurización)
Producción térmica en calderas	1	0	0-1-2
Producción de electricidad en motores estacionarios	1 o 2	0-1-2	1 o 2
Combustible para vehículos o para turbinas	2	2	2
Sustituto del gas natural	2	2	2
Celdas de combustible	2	2	2

0 = no tratamiento, 1 = tratamiento parcial, 2 = tratamiento elevado

Figura 3 Tratamiento del biogás según utilización.

Fuente: MINENERGIA/GIZ. (2012). Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile.

En algunas situaciones puede ser necesaria la utilización de un pequeño intercambiador de calor para el enfriamiento de los gases, el que reduce la temperatura del biogás, separando el vapor de agua. En estos casos se alcanza una mejor calidad del biogás, lo que redunda en una mejor operación y menor necesidad de mantenimiento del motor. (MINENERGIA/GIZ, 2012, p.62)

3.6. Modelos de estimación de producción de biogás

Se han desarrollado varios modelos matemáticos basados en la ecuación diferencial de decaimiento, con el fin de estimar la generación de biogás en sitios de disposición final, principalmente para conocer su potencial como fuente ERNC y mitigar las emisiones de GEI.

3.6.1. Modelo LandGEM

El modelo de emisión de gases de relleno sanitario (LandGEM por sus siglas en inglés) desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), es una herramienta automatizada basada en Microsoft Excel que se puede usar para estimar las tasas de emisión del biogás, metano, dióxido de carbono, entre otros compuestos.

El Modelo LandGEM utiliza la siguiente ecuación (3) de decaimiento de primer orden para estimar las emisiones anuales durante un periodo tiempo especificado:

$$Q_{CH4} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} \qquad (3)$$

En donde:

Q_{CH4}: Generación anual de metano en el año n calculado [m3/año].

i: Incremento de tiempo de 1 año.

n: Diferencia entre año del cálculo y año que empieza a recibir residuos.

j: Incremento de tiempo de 0.1 año.

k: Tasa de generación de metano [1/año].

L_0: Potencial de generación de metano [m3 CH4/ton RSD]

M_i: Cantidad de residuos recibidos en el año i [ton].

t_{ij}: Año de la "j" sección de los residuos acumulados en el año "i".

El modelo ha sido diseñado con valores de entrada estándar para k y L_0 en función de la composición típica de los RSD en Estados Unidos, por lo que este modelo no puede ser utilizado mundialmente al menos que se adapten estos parámetros con datos propios del sitio.

3.6.2. Modelo Mexicano

El modelo mexicano estima el índice de generación de biogás para cada año usando la ecuación de degradación de primer grado, la cual fue modificada por la EPA en el modelo LandGEM en el año 2005. A diferencia de este último, el modelo incluye un factor de corrección de metano y un factor de ajuste por incendios. Además, asume automáticamente que la composición del biogás es de 50% metano al incluir una constante de 2.

El modelo utiliza la siguiente ecuación (4) para estimar la generación de biogás.

$$Q_{Biogás} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} 2kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} (MCF)(F) \quad (4)$$

En donde, los parámetros son los mismos que en el modelo LandGEM a diferencia de:

MCF: Factor de corrección de metano, fracción. Ajuste de la estimación para incluir el efecto de la profundidad de los residuos y la gestión del relleno en el grado de degradación.

F: Factor de ajuste por incendios, fracción. Es un descuento por porcentaje de área afectado por incendios.

3.6.3. Modelo IPCC

Este modelo también se basa en una ecuación cinética de descomposición de primer orden, pero a diferencia de los otros modelos está diseñado para estimar las emisiones de metano. Para esto considera que una parte del CH4 generado se oxida en la cubierta de los rellenos sanitarios o puede recuperarse para ser quemado en antorcha u obtener energía.

La siguiente ecuación (5) estima el metano realmente emitido al ambiente.

$$Emisiones\ de\ CH4 = \left[\sum_{x} CH_4 generado_{x,T} - R_T\right] \cdot (1 - OX_T) \quad (5)$$

En donde,

$Emisiones\ de\ CH4$: Metano emitido durante el año T, Gg.

T: Año del inventario.

x: Categoría o tipo de desecho y/o material.

R_T: Metano recuperado durante el año T, Gg.

OX_T: Factor de oxidación durante el año T, fracción.

En esta ecuación, el metano recuperado debe restarse de la cantidad de CH4 generada. Sólo la fracción de metano que no se recupera está sujeta a la oxidación en la capa de la cubierta del relleno sanitario.

En donde la generación de metano queda determinada por la siguiente ecuación (6).

$$CH_4 generado_{x,T} = \emptyset \cdot k_x \cdot W_{x,T} \cdot DOC_x \cdot DOC_F \cdot MCF \cdot F \cdot \frac{16}{12} \cdot e^{-k(T-t)} \quad (6)$$

En donde,

$CH_4 generado_{x,T}$: Metano generado por el tipo de desecho en el año *T*, Gg/año.

T: Año en transcurso.

t: Año de entrada de los residuos.

$\emptyset$: Factor de normalización para la corrección de la sumatoria, fracción.

k_x: Índice de generación de metano para el tipo *x* de residuo, 1/año.

$W_{x,T}$: Total de residuos dispuestos del tipo *x* en el año *T*, Gg/año.

DOC_x: Carbono orgánico degradable del tipo de residuo, fracción, Gg de C/Gg de residuos.

DOC_F: Fracción efectiva del DOC que puede descomponerse, fracción.

16/12: Cociente de pesos moleculares CH4/C, cociente.

La ecuación no usa directamente el potencial de generación de metano, pero queda determinado por el carbono orgánico degradable, el factor de corrección de metano, la fracción de metano en el biogás y el cociente de pesos moleculares.

3.7. Parámetros

El rendimiento total y caudal del biogás pueden variar un poco de acuerdo con los diferentes modelos, pero el parámetro clave de entrada para todos los modelos es la cantidad de materia orgánica a considerar en los residuos.

La calidad de los datos de salida del modelo depende de la data de entrada, la cual requiere ciertas suposiciones con el fin de estimar la cantidad y composición de los residuos. Un modelo simple requiere unos pocos parámetros que pueden ser fácilmente asignados dependiendo de las condiciones del sitio. La precisión del proyecto dependerá del grado de precisión requerido, la confiabilidad de la data ingresada y el grado de similitud entre el sitio a modelar con otros ya modelados y estudiados.

A continuación, se presentan los dos principales parámetros de entrada de los modelos que dependen directamente de la cantidad de materia orgánica degradable presente en los residuos, junto a las condiciones climáticas y de gestión del sitio.

3.7.1. Tasa de generación de metano

La tasa de generación de metano (k) determina la generación de metano producida por la degradación de los desechos en el relleno sanitario. El valor de k está relacionado con el periodo de vida de los residuos, de acuerdo con la ecuación de la vida media $t_{1/2} = \ln(2)\,/k$. Conforme el valor de k incremente, la generación de metano en el relleno también lo hace.

El valor de k depende de algunos factores, como lo es el contenido de humedad dentro del relleno sanitario, que se estima en base a los promedios de las precipitaciones anuales. La disponibilidad de nutrientes para las bacterias metanogénicas, que depende de la cantidad de residuos y la caracterización de estos. Al existir dentro del relleno distintos tipos de residuos, las velocidades de degradación son distintas y la descomposición de cada uno se asume independiente de la de los otros, por lo que se debe calcular un valor ponderado de k.

El valor de k ha sido calculado para cada país con modelo de biogás. Al no existir uno chileno, se debe calcular siguiendo los lineamientos marcados en las directrices del IPCC 2006. Si se conoce la composición de los residuos en el relleno se puede calcular k con la ecuación (7).

$$k_{pond} = \sum_{i=1}^{n} \%r_i \cdot k_i \quad (7)$$

En donde,

$\%r_i$: Fracción del tipo de residuo, porcentaje [%]

k_i: Tasa de generación para cada uno de los *n* tipos de residuos degradables, constante [1/año]

3.7.2. Potencial de generación de metano

El potencial de generación de metano (L_0) describe la cantidad total de gas metano potencialmente producido por una tonelada de residuos degradados, y depende exclusivamente de la composición de los residuos del relleno sanitario.

Siguiendo los lineamientos marcados en las directrices del IPCC 2006, si se cuenta con información del sitio se puede calcular L_0 con la ecuación (8), la cual fue modificada para obtener valores que sean utilizables en el modelo LandGEM.

$$L_0 = F \cdot \frac{16}{12} \cdot 1000 \cdot \frac{1}{d} \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot MCF \quad (8)$$

En donde,

L_0: Potencial de generación de metano, $[\frac{m^3\ CH_4}{Ton\ RSD}]$.

1000: Constante para obtener kg de CH4, constante.

d: Densidad del metano, $0{,}66715\ [\frac{kg\ CH_4}{m^3\ CH_4}]$

Los valores de los parámetros F, DOC, DOCf y MCF se obtienen utilizando las metodologías propuestas en las directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de GEI.

3.8. Tecnologías de generación de energía eléctrica

El biogás de relleno sanitario puede ser usado como combustible en motores de combustión interna o turbinas de combustión que conducen un generador eléctrico. La electricidad generada se puede usar para satisfacer las necesidades en el lugar, como los sopladores para el sistema de recolección o el sistema de tratamiento del biogás, o más típicamente para venderse a la red eléctrica local. La generación de electricidad a partir de este tipo de biogás representa la mayoría de los proyectos a nivel mundial (U.S. EPA, 2012, p.38).

En caso de que se utilicen equipos de generación eléctrica integrados a la planta de biogás, su tamaño será función de la producción horarios de biogás que pueda generar el relleno sanitario. Una vez determinado el caudal y sus propiedad puede determinarse la cantidad de metano que se generará cada hora y que será consumida por el grupo electrógeno. A partir del poder calorífico del metano se puede determinar la potencia nominal disponible en el biogás con la siguiente ecuación (9) (MINENERGIA/GIZ, 2012, p.69).

$$P_{nom} = Q_{biogás} \cdot m \cdot 9{,}96 \quad (9)$$

En donde,

P_{nom}: Potencia nominal disponible asumiendo generación constante de energía, kW.

$Q_{biogás}$: Caudal por hora de biogás, m^3/hr.

m: Fracción de metano en el biogás, 50% en rellenos sanitarios.

$9{,}96$: Poder calorífico del metano, kWh/m^3.

Para determinar el rango de potencia eléctrica, se debe multiplicar la ecuación (9) por la eficiencia eléctrica del grupo eléctrico, como se muestra a continuación en la ecuación (10).

$$P_e = P_{nom} \cdot \eta_e \quad (10)$$

En donde,

P_e: Potencia eléctrica, kW.

η_e: Eficiencia eléctrica del grupo electrógeno, porcentaje [%].

3.8.1. Motor de combustión interna

El motor de combustión interna, ciclo Otto o Diesel, es la tecnología de conversión más utilizada en aplicaciones de biogás de relleno sanitario debido a su costo relativamente bajo, alta eficiencia y tamaños de motor que complementan el caudal de biogás de muchos rellenos sanitarios. Los equipos de combustión interna generalmente se han utilizado en rellenos donde la cantidad de gas es capaz de producir 800 kW a 3 MW. Se pueden combinar múltiples motores para proyectos de más de 3 MW.

Los motores de combustión interna son eficientes en la conversión de biogás en electricidad, logrando eficiencias eléctricas en el rango de 30 a 45%. Se requieren entre 500 y 540 m^3/hr de biogás a 50% de metano para generar 1 MW de electricidad (U.S. EPA, 2017, p.3-4).

3.8.2. Turbinas a Gas

La turbina de gas permite la conversión de la energía almacenada en el combustible en energía mecánica útil en forma de energía rotacional. Se usan normalmente en proyectos de energía a partir de biogás de relleno más grandes, en donde los flujos de gas superan un mínimo de 2.200 m^3/hr y son suficientes para generar un mínimo de 3 MW. Los sistemas de turbinas se usan en proyecto más grandes porque tienen importantes economías de escalas, por lo que el costo por kW de capacidad disminuye a medida que aumenta el tamaño de la turbina de gas.

Las turbinas de gas de ciclo simple aplicables a proyectos de energía a partir de biogás de relleno sanitario generalmente alcanzan eficiencias de 20 a 28% a plena carga, sin embargo, estas eficiencias caen sustancialmente cuando la unidad está funcionando con carga parcial.

Las ventajas de las turbinas de gas son que son más resistentes a los daños por corrosión que los motores de combustión interna y tienen tasas de emisión de nitrógeno más bajas. Además, tienen bajos costos de operación y mantenimiento en comparación con los motores. Sin embargo, el tratamiento del biogás para eliminar siloxanos puede ser requerido para cumplir con las especificaciones del fabricante. Además, necesitan una alta compresión que como resultado requiere más potencia de la planta para ejecutar el sistema de compresión, lo que provoca altas pérdidas por cargas parasitas (U.S. EPA, 2017, p.3-5).

3.9. ERNC en el mercado eléctrico chileno

Los proyectos de energía a partir de biogás de relleno sanitario de acuerdo con la LGSE se consideran como medios de generación renovable no convencional, al ser su fuente de energía la fracción biodegradable de los residuos sólidos domiciliarios y asimilables.

Además, se pueden agrupar en subclasificaciones a las que se le han conferido derechos y obligaciones particulares. Una de las clasificaciones corresponde a los pequeños medios de generación distribuida (PMGD), cuyos excedentes de potencia sean menores o iguales a 9.000 kW, conectados a instalaciones de una empresa concesionaria de distribución o a instalaciones de una empresa que posea líneas de distribución de energía eléctrica que utilicen bienes nacionales de uso público. Para efectos de esta tesis, todos los proyectos de energía se consideran PMGD (Palma et al., 2009).

3.9.1. Operación comercial en el mercado

La operación en el mercado de un proyecto ERNC se rige por las condiciones generales aplicables a cualquier medio de generación. De las diferentes alternativas sobresalen tres básicas: fuera de mercado, mercado spot y mercado de contratos.

La Figura 4 muestra las diferentes alternativas de interacción comercial que posee un ERNC. De igual manera, se muestra el tipo de acuerdo que se logra, por ejemplo, con clientes libres se establecen contratos acordados entre las partes (PPA) mientras que en el caso del mercado spot, las transacciones se realizan a costo marginal o precio estabilizado. (Palma et al., 2009)

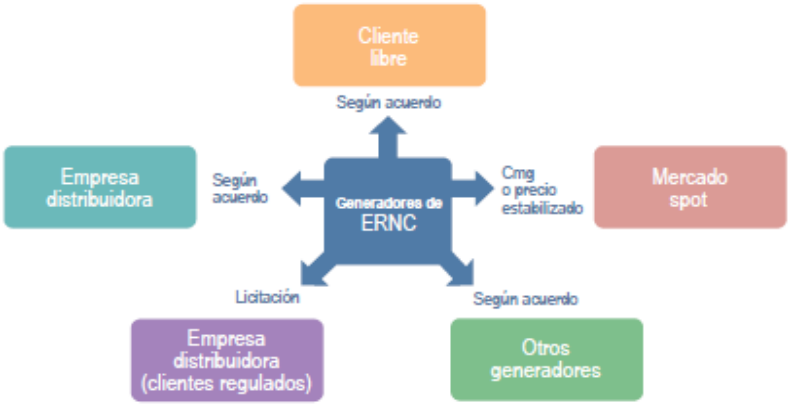


Figura 4 Alternativas de interacción comercial de un ERNC.

Fuente: Palma et al. (2009). Las ERNC en el mercado chileno.

Es importante mencionar que todos aquellos medios de generación con potencia inferior a 9 MW (PMGD) pueden optar por un régimen estabilizado. Esto hace referencia a que, en vez de cuantificar sus inyecciones a costo marginal, el coordinador las valora a un precio que presente menor variación, en este caso el precio estabilizado corresponde al precio nudo de corto plazo de las inyecciones de la energía. El precio estabilizado, así como las ventas a costo marginal, tienen un tiempo de permanencia mínima que corresponde a 4 años. Si se desea cambiar de régimen, se debe avisar al coordinador con una antelación de 12 meses.

3.9.2. ERNC en el Sistema eléctrico nacional

Al mes de marzo 2019, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) posee una potencia instalada de generación de 24.854,1 MW, los que corresponden a más del 99% de la capacidad instalada nacional (sistemas medianos como Aysén y Magallanes son menos del 1%) (Generadoras de Chile, 2019, p.7).

Del total de capacidad instalada en el SEN, el 46,9% corresponde a tecnologías de generación en base a recursos renovables (hidroeléctrica, solar FV, eólica, biomasa y geotermia). La biomasa, que considera centrales a partir de biogás de relleno sanitario, cuenta con una capacidad instalada de 446 MW. La Figura 5 muestra la capacidad total del SEN.

RENOVABLE	**11.663,1**
HIDRO EMBALSE	3.383,3
HIDRO PASADA	3.380,4
BIOMASA	446,0
EÓLICO	1.919,7
SOLAR	2.488,8
GEOTÉRMICA	44,9
NO RENOVABLE	**13.191,0**
GAS NATURAL	4.875,6
CARBÓN	5.544,6
DERIV. DEL PETRÓLEO	2.770,8
TOTAL	**24.854,1**

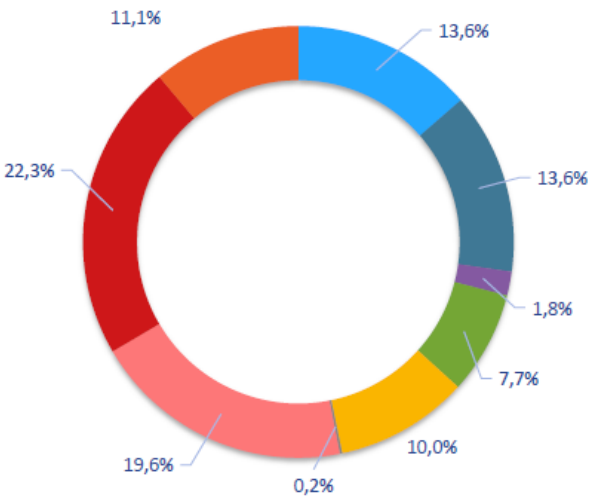


Figura 5 Capacidad total del SEN, MW.

Fuente: Generadoras de Chile, 2019, p.7.

4. Catastro de rellenos sanitarios en Chile 2018

Para realizar un catastro al año 2018 se disponen fuentes de información actualizadas hasta el año 2017, siendo la principal el estudio desarrollado por SGS SIGA para la SUBDERE.

Como contexto país, al año 2017 según datos del Censo la población total nacional es de 17.573.865 habitantes, de los cuales un 96%[1] tiene cobertura de servicios de aseo en conjunto con la población flotante del país, que en base a estimaciones del SERNATUR[2] da un promedio de 3.194.008 personas. La Tabla 2 muestra la realidad del país al año 2017.

Tabla 2 Generación de RSDyA a nivel nacional.

Población Nacional Atendida [hab]	Población Nacional Total Atendida [hab]	RSDyA Recibidos 2017 [ton/año]	PPC Nacional [kg/hab/día]	PPC Corregida [kg/hab/día]
16.879.007	20.073.015	7.487.559	1,22	1,02

Fuente: SUBDERE. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSDyA.

En cuanto a las 7.487.559 toneladas generadas en las 16 regiones del país, estas son distribuidas en sitios de disposición final de acuerdo con lo registrado en la Figura 6.

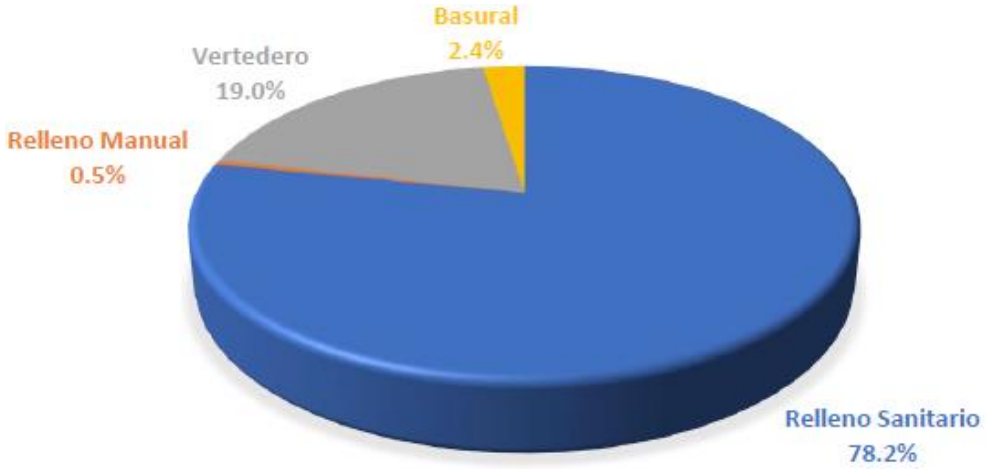


Figura 6 Residuos recibidos por tipo de instalación.

Fuente: SUBDERE. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSDyA.

[1] SUBDERE, 2018, Capítulo 4 p.5.
[2] SUBDERE, 2018, Capítulo 4 p.6.

Es esencial conocer la cantidad y las características de los rellenos sanitarios que componen este 78,2%, y determinar si en el corto plazo es posible que otros sitios entren en operación.

A partir de la información publicada en los estudios del gobierno y en evaluaciones de impacto ambiental (DIA o EIA) se elabora un catastro con los rellenos sanitarios que se encuentran activos al año 2018 o próximos a iniciar operaciones.

Se asume que aquellos rellenos que se encuentren en construcción, construidos o por iniciar operaciones podrán estar operativos para el año 2020, con el fin de ser incluidos en el cálculo del potencial de generación de energía eléctrica a partir de ese año.

Además, este catastro se reduce a aquellos rellenos sanitarios en donde no existe una valorización del biogás y que tengan un tamaño suficiente para producir un caudal de biogás aprovechable. Se filtra en primera instancia todos los rellenos que ya cuentan con centrales eléctricas operativas inyectando energía al SEN, junto con los sitios que atienden a una población menor a 20.000 habitantes (rellenos sanitarios manuales).

Además, se excluyen instalaciones del tipo Waste-To-Energy (WTE) que valorizan los residuos orgánicos transformándolos en Materia orgánica térmica y biológicamente estabilizada (MOTBE).

Por último, los proyectos que se encuentren en espera de una calificación favorable o en etapa de diseño no serán considerados para iniciar operaciones al año 2020.

Como consecuencia, en la Tabla 3 se presentan los sitios de disposición final que fueron excluidos de la elaboración del Catastro 2018 y sus respectivos motivos.

Tabla 3 Sitios de disposición final excluidos del Catastro 2018.

Nombre	Región	Motivo	Población Total Atendida 2017 [hab]
Relleno Sanitario Camarones	XV	Tamaño insuficiente	1.044
Relleno Sanitario Sierra Gorda	II	Tamaño insuficiente	*10.186*
Relleno Sanitario Diego de Almagro	III	Tamaño insuficiente	*16.825*
Relleno Sanitario El Molle	V	Inyecta energía al SEN	1.414.830
Relleno Sanitario Loma Los Colorados	RM	Inyecta energía al SEN	4.227.237
Relleno Sanitario Santa Marta	RM	Inyecta energía al SEN	2.145.830
Centro de Manejo Ambiental Ñuble Sustentable	XVI	En Calificación	*261.536*
Relleno Sanitario Cemarc	VIII	Inyecta energía al SEN	754.453
Planta WTE Araucanía	IX	Producción de MOTBE	*326.083*
CTI de RSD Futaleufú	X	Tamaño insuficiente	2.241
Relleno Sanitario Puerto Ibáñez	XI	Tamaño insuficiente	3.724
Relleno Sanitario Villa O'Higgins	XI	Tamaño insuficiente	625
Centro de Gestión Residuos Sólidos Cochrane-Tortel	XI	En Calificación y tamaño insuficiente	*12.197*
Centro de Manejo de Residuos Sólidos de Magallanes	XII	En Diseño	*136.936*
Centro de Manejo de Residuos Sólidos de Porvenir	XII	En Diseño y tamaño insuficiente	*16.408*

Fuente: Elaboración propia a partir de SUBDERE. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSDyA.

De la Tabla 3 se puede observar en primera instancia que los residuos generados por un total de 9.068.619 habitantes no serán de aporte al potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás de rellenos sanitarios, lo cual representa un 45,2% de la población total atendida en el país al año 2017 por servicios de aseo.

Por otra parte, al no considerar los sitios de la Tabla 3, el catastro de rellenos sanitarios se reduce a 13 regiones de acuerdo con lo registrado en la siguiente tabla.

Tabla 4 RSD recibidos en regiones pertenecientes al catastro.

Región	Total RSD recibidos en sitios 2017 [Ton]	Cantidad RRSS catastro	RSD recibidos en RRSS catastro 2017 [Ton]
Antofagasta	301.299	5	290.689
Atacama	108.439	3	97.680
Coquimbo	341.700	1	190.045
Valparaíso	815.764	2	250.874
Metropolitana	3.176.763	1	386.670
Libertador Bernardo O'Higgins	278.663	2	278.663
Maule	428.980	4	407.275
Ñuble	157.085	1	157.085
Biobío	736.554	3	369.573
La Araucanía	170.207	1	27.568
Los Lagos	333.079	2	238.941
Aysén	51.587	2	40.700
Magallanes y la Antártica Chilena	99.210	1	44.608

Fuente: Elaboración propia a partir de SUBDERE. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSDyA.

De la Tabla 4 se observa que un total de 28 instalaciones pueden ser consideradas para formar parte del catastro. Las 13 regiones pertenecientes al catastro disponen un total aproximado de 7.000.000 de toneladas de residuos, las cuales se distribuyen de la siguiente forma.

Tabla 5 Residuos recibidos por tipo de instalación en regiones pertenecientes al catastro.

	RSD Recibidos [Ton]	Potencia Neta [MW]
Total 13 Regiones	7.000.000	-
4 RRSS (Inyectan al SEN)	3.480.000	45
28 RRSS (Catastro)	2.780.000	-
Vertederos + Basurales	740.000	-

Fuente: Elaboración propia a partir de SUBDERE. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSDyA.

De la Tabla 5 se observa que los 28 sitios pertenecientes al catastro reciben aproximadamente 2.780.000 toneladas de residuos, lo cual representa un 44% de los RSD dispuestos en rellenos sanitarios. Mientras que los otros 4 RRSS (El Molle, Loma Los Colorados, Santa Marta y

Cemarc) reciben un 56% de los RSD dispuestos en rellenos sanitarios, con un aprovechamiento de 45 MW. Los RSD restantes van a parar a vertederos y basurales.

Para realizar una estimación lo más certera posible del potencial teórico de generación de biogás, es necesario conocer algunas características de los sitios de disposición final, como lo son su vida útil, la capacidad de recepción de residuos, la proyección de residuos a disponer, la densidad de compactación y la composición de los residuos que se reciben.

Tabla 6 Composición de los residuos recibidos por sitios catastrados.

Relleno Sanitario	Región	M. Orgánica	Papel y cartón	Plástico	Otros
Cerro Colorado	II	49%	11%	17%	23%
Quebrada Ancha	II	47%	3%	11%	39%
CTI Chaqueta Blanca	II	37%	7%	9%	47%
SPA	II	43%	2%	12%	43%
De Mejillones	II	43%	2%	12%	43%
El Chulo	III	45%	14%	17%	24%
Provincial del Huasco	III	52%	13%	10%	25%
Cerro Montevideo	III	50%	0%	2%	48%
El Panul	IV	50%	11%	14%	25%
CTI La Hormiga	V	71%	7%	9%	13%
San Pedro	V	68%	8%	10%	14%
Santiago Poniente	RM	57%	12%	10%	21%
Las Quilas	VI	48%	14%	13%	25%
Colihues La Yesca	VI	49%	14%	14%	23%
El Retamo	VII	58%	20%	14%	8%
Parque El Guanaco	VII	47%	17%	13%	23%
CTI Eco Maule	VII	48%	17%	15%	20%
San Roque	VII	55%	23%	14%	8%
Fundo Las Cruces	XVI	59%	7%	9%	25%
Los Ángeles	VIII	66%	5%	8%	21%
Copiulemu	VIII	52%	14%	12%	22%
Arauco - Curanilahue	VIII	60%	9%	9%	22%
De Villarrica	IX	63%	6%	8%	23%
La Laja	X	55%	8%	11%	26%
De Osorno	X	55%	8%	11%	26%
Centro de manejo Coyhaique	XI	52%	7%	15%	26%
Centro de manejo Las Huichas	XI	52%	7%	15%	26%
Centro de manejo de Natales	XII	35%	20%	15%	30%

Fuente: Elaboración propia a partir de SUBDERE. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSDyA.

Los residuos sólidos domiciliarios se encuentran agrupados por componentes, como las categorías observadas en la Tabla 6: residuos orgánicos, papel y cartón, plástico y por último otros residuos, los que incluyen vidrio, metal, madera, textiles, gomas e higiénicos.

Para determinar la vida útil, densidad de compactación, capacidad de recepción de residuos, y la proyección de residuos a disponer, se recoge información de las DIA o EIA de los rellenos sanitarios disponibles en el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).

De esta manera, eligiendo como ejemplo el relleno sanitario El Panul que se encuentra localizado en la comuna de Coquimbo, se obtienen los siguientes datos de diseño de su EIA.

Tabla 7 Datos de diseño, Relleno Sanitario El Panul.

Año de Inicio de Operaciones	2004 [Año]
Año de Cierre	2018 [Año]
Vida Útil	14 [Años]
Densidad de Compactación	1,2 [ton/m^3]
Capacidad en toneladas	2.885.269 [ton]
Capacidad en volumen	2.630.404 [m^3]
Material de Cobertura	9,4 [%]

Fuente: Elaboración propia a partir de TASUI ltda. (2003). E.I.A. Proyecto Ampliación de la Operación Relleno Sanitario El Panul.

Además, la proyección de residuos elaborada en el EIA utiliza una tasa anual de crecimiento de RSD (ecuación 2) que va desde 4,1% en el año 2004 hasta 2,6% en el año 2020, variando en un 0,1% con el transcurso de cada año. Al año 2017 se proyectan 243.144 toneladas.

Para determinar la cantidad real de RSD recibidos en cada sitio para el año 2017, la principal fuente de obtención de datos fue el documento “Diagnóstico y Catastro Nacional de Sitios de Disposición Final e Instalaciones para la Gestión de Residuos Sólidos Año 2017” de la SUBDERE. Para efectos de esta tesis, los datos entregados por esta fuente serán considerados confiables debido a la metodología utilizada y por ser un informe de gobierno.

Como segunda fuente de información, se utilizan los datos de disposición de RSD declarados por cada municipio en el Sistema Nacional de declaración de Residuos (SINADER), de acuerdo con las obligaciones que impone el reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC[3]), durante el periodo 2014-2017.

Sin embargo, los datos del RETC no son del todo confiable al presentar en variadas oportunidades grandes diferencias en la declaración de RSD de un año para otro, reflejando una falta de consistencia en los datos que entregan los municipios a este registro; o simplemente hay municipalidades que no declaran en este sistema.

En los casos en que los datos RETC coincidan con los del catastro de la SUBDERE o difieran en no más de un 5% la información será utilizada para comprobar la tendencia real con la proyección de ingreso de RSD propuesta en la evaluación de impacto ambiental.

En el relleno sanitario El Panul según datos de la SUBDERE, para el año 2017 se recibieron un total de 190.045 toneladas, mientras que para el periodo 2014-2017 el RETC registró la información de la Tabla 8.

Tabla 8 RSD declarados en RETC, Relleno Sanitario El Panul.

Año	RSD Recibidos [Ton]
2014	172.060
2015	205.405
2016	187.142
2017	190.175

Fuente: Elaboración propia a partir de RETC, 2019.

Ambos valores registrados por la SUBDERE y el RETC para el año 2017 difieren en más de 50.000 toneladas. Sin embargo, se observan similitudes entre la información entregada por la SUBDERE y los datos aportados por el RETC, con una diferencia de sólo 0,07% para el año 2017. Esto nos da indicios que los datos registrados por las comunas en el RETC son los más confiables. Aunque se observa una falta de consistencia en el valor registrado durante el año 2015, por lo que no se considera para el análisis.

[3] RETC. Residuos (Disposición fuera de sitio) [en línea] <https://datosretc.mma.gob.cl/group/residuos> [consulta: 9 abril 2019]

Con la información obtenida se corrige la proyección de RSD ingresados en el relleno sanitario El Panul. Para esto, se calcula un factor de corrección que actualiza el valor proyectado al año 2017 al registrado por la SUBDERE. Además, se consideran los valores del RETC para los años 2014 y 2016.

Manteniendo la tasa de crecimiento de RSD propuesta en el EIA se corrige la proyección de residuos como puede observarse en la Figura 7.

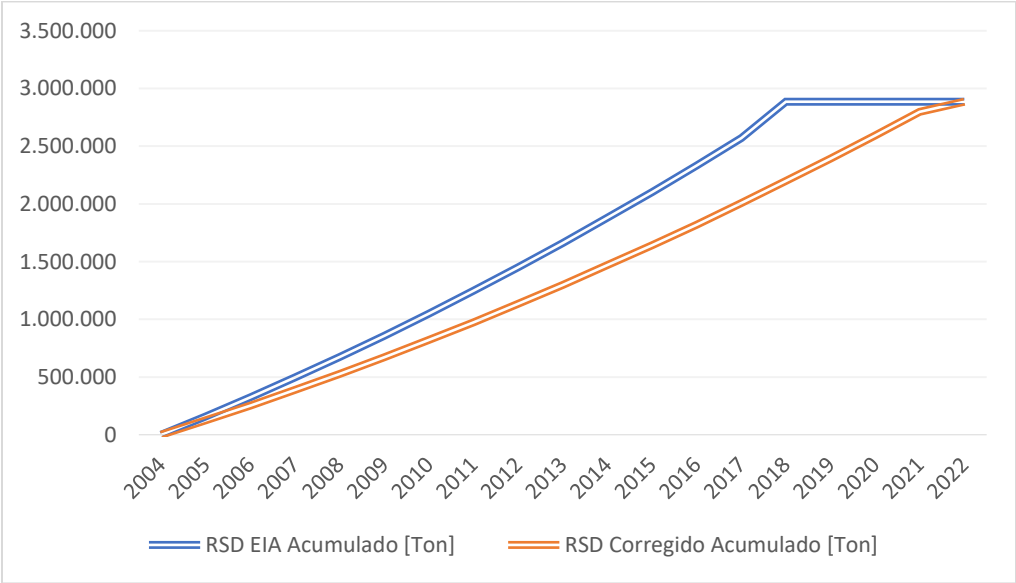


Figura 7 Proyección corregida de ingreso de residuos en relleno sanitario El Panul.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos SUBDERE, 2018 y RETC, 2019.

Al realizar la corrección se comprueba que la proyección inicial de residuos del EIA fue sobrestimada, lo cual permite extender la vida útil del sitio hasta el año 2022. De esta forma al año 2021 se recibirán 87.055 toneladas para copar la capacidad de 2.885.269 toneladas.

Puede darse el caso en que la proyección de ingreso de residuos al relleno sanitario haya sido, por el contrario, subestimada. Para representar este escenario se utiliza como ejemplo el relleno sanitario El Retamo, ubicado en la comuna de Talca.

Su proyección corregida de ingreso de RSD se muestra a continuación en la Figura 8.

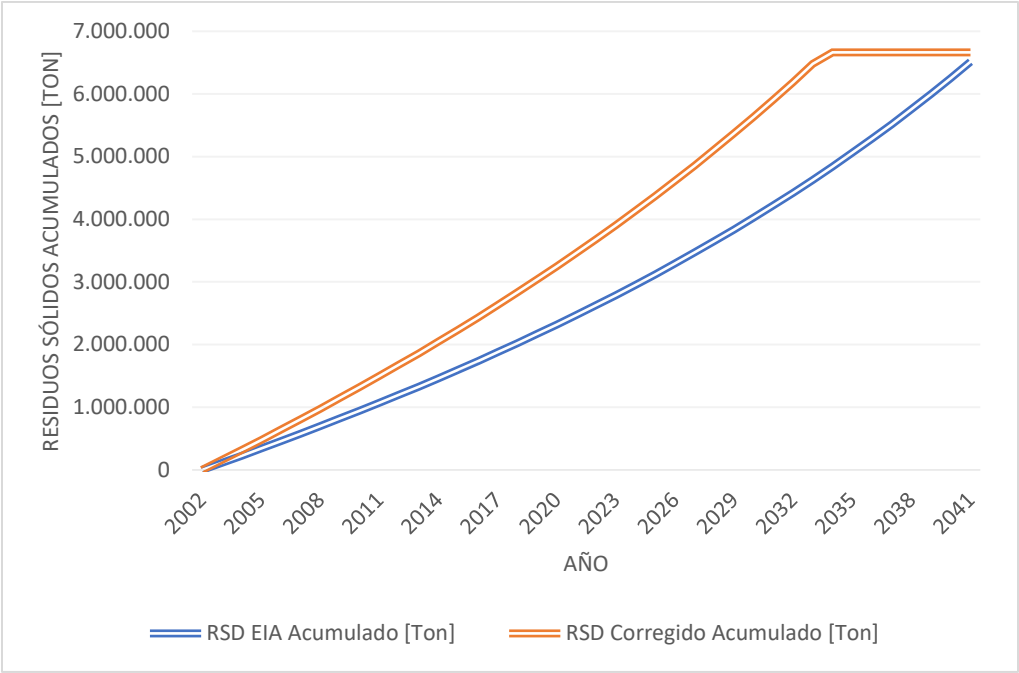


Figura 8 Proyección corregida de ingreso de residuos en relleno sanitario El Retamo.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos SUBDERE, 2018 y RETC, 2019.

La fecha de cierre inicial para este sitio era el año 2041. Al realizar la corrección se comprueba que la proyección inicial de residuos del EIA fue subestimada. Como consecuencia se reduce la vida útil del sitio hasta el año 2034. De esta forma al año 2033 se recibirán las últimas 185.032 toneladas para completar la capacidad del sitio.

Este procedimiento se realiza para los 28 rellenos sanitarios pertenecientes al catastro. Los resultados de las proyecciones corregidas se encuentran en el **Anexo A**.

Finalmente, de un total inicial de 43 sitios de disposición final en operación o en proceso para iniciar operaciones, 28 instalaciones son consideradas para formar parte del catastro de rellenos sanitarios en Chile al año 2018. La Tabla 9 resume toda la información recogida para cada uno de los sitios.

Tabla 9 Catastro de rellenos sanitarios potenciales.

Relleno Sanitario	Región	Inicio de Operaciones	Año de cierre Corregido	Población Total Atendida 2017 [hab]	Capacidad Total [m3]	Densidad compac-tación [ton/m3]	Capacidad RSD [ton]
Santiago Poniente	RM	2002	2040	1.070.297	22.007.627	0,900	18.082.526
Colihues La Yesca	VI	1999	2019	717.868	2.923.000	0,800	2.340.000
Los Ángeles	VIII	2002	2024	686.310	3.669.857	0,800	2.668.987
El Retamo	VII	2002	2034	579.953	9.577.900	0,800	6.662.887
El Panul	IV	2004	2022	539.496	2.630.404	1,200	2.885.269
Fundo Las Cruces	XVI	2002	2032	480.581	6.577.053	0,800	4.384.702
CTI Chaqueta Blanca	II	2020	2040	446.315	8.300.000	1,100	8.151.786
San Pedro	V	2017	2037	423.449	3.060.227	0,900	4.836.697
Copiulemu	VIII	2002	2019	396.875	2.358.306	0,750	1.768.730
La Laja	X	2016	2036	387.314	3.951.799	0,840	2.766.259
Parque El Guanaco	VII	2002	2047	378.923	8.293.217	0,800	5.769.194
De Osorno	X	2020	2033	316.903	2.690.809	0,840	1.883.566
CTI La Hormiga	V	2014	2034	237.155	3.603.208	0,800	2.642.353
Cerro Colorado	II	2017	2029	205.654	1.270.320	0,657	642.000
CTI Eco Maule	VII	2005	2032	191.831	2.462.259	0,900	1.846.694
El Chulo	III	2008	2037	176.324	3.947.500	0,600	2.244.464
De Villarrica	IX	2000	2021	114.277	474.918	1,000	474.918
Las Quilas	VI	2004	2022	101.985	592.607	0,800	474.086
San Roque	VII	2012	2042	100.441	5.163.337	0,410	1.628.437
Centro de Manejo RSD de Natales	XII	2020	2026	99.535	469.064	0,660	269.202
SPA	II	2020	2024	88.384	378.614	0,550	173.531
Provincial del Huasco	III	2014	2034	75.162	969.103	0,600	484.552
Intercomunal Arauco-Curanilahue	VIII	2015	2032	74.200	750.000	1,000	660.000
Centro de Manejo RSD Coyhaique	XI	2010	2033	71.886	815.000	0,800	592.727
Quebrada Ancha	II	2015	2040	38.037	774.428	0,900	606.074
Cerro Montevideo	III	2015	2035	36.561	648.000	0,700	386.043
De Mejillones	II	2020	2044	28.399	465.508	0,900	364.311
Centro de Manejo RSD Islas Las Huichas	XI	2020	2039	23.594	590.302	0,700	359.314

Nota. En rojo rellenos sanitarios que podrían entrar en operación al año 2020. Se asume que al año 2017 podrían recibir los residuos de las comunas a las que van a prestar servicios. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información recogida en el catastro se determina el potencial teórico de generación de biogás.

5. Potencial de Generación de Biogás

De los modelos estudiados, el modelo LandGEM de la EPA es el que permite mayor flexibilidad al ingresar los parámetros, ya que estos pueden ser calculados y aportados por el usuario. Además, a diferencia de otros no requiere ingresar la eficiencia de captación, lo cual simplifica la obtención del potencial de generación de biogás ideal.

Otro dato que debe ser aportado al modelo es la proyección de residuos recibidos por el relleno sanitario, los cuales se demoran 1 año en generar biogás después de ser dispuestos.

5.1. Determinación de los parámetros

Cada uno de los modelos es desarrollado para un país o zona específica, por lo cual los parámetros por defecto representan composiciones de RSD, características y climas propios. Para el caso de Chile no existe un modelo para la estimación de biogás, por lo cual se hace necesario calcular para cada uno de los 28 rellenos sanitarios el potencial de generación de metano (Lo) y la tasa de generación de metano (k).

Para estos cálculos se utiliza la siguiente metodología propuesta por el modelo IPCC 2006:

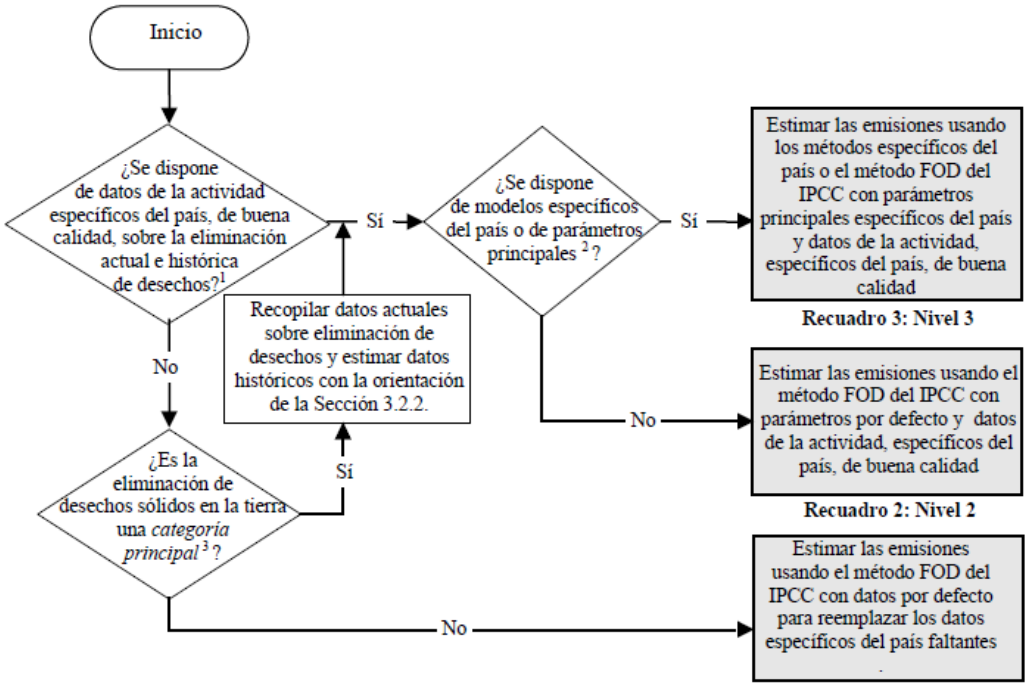


Figura 9 Árbol de decisión para las emisiones de CH4.

Fuente: Eggleston et al. (2006). Directrices del IPCC de 2006, p. 3.8.

De acuerdo con la Figura 9 se debe trabajar en el nivel 2 correspondiente al recuadro 2, el cual indica que se deben estimar las emisiones usando parámetros por defecto del IPCC combinados con datos de la actividad específicos del país, estos corresponden a la composición de los residuos, datos que se tienen con aceptable precisión.

5.1.1. Tasa de generación de metano

En el caso de la tasa de generación de metano, los valores por defecto del IPCC están en función de la composición de los desechos, la precipitación media anual MAP, la evapotranspiración PET y la temperatura media anual MAT.

Tipo de desechos		Zona climática*							
		Boreal y templada (MAT ≤ 20°C)				Tropical[1] (MAT > 20°C)			
		Seco (MAP/PET < 1)		Húmedo (MAP/PET > 1)		Seco (MAP < 1000 mm)		Húmedo y seco (MAP ≥ 1000 mm)	
		Por defecto	Rango[2]	Por defecto	Rango[2]	Por defecto	Rango[2]	Por defecto	Rango[2]
Desechos de degradación lenta	Desechos de papel/textiles	0,04	0,03[3,5] – 0,05[3,4]	0,06	0,05 – 0,07[3,5]	0,045	0,04 – 0,06	0,07	0,06 – 0,085
	Desechos de madera/paja	0,02	0,01[3,4] – 0,03[6,7]	0,03	0,02 – 0,04	0,025	0,02 – 0,04	0,035	0,03 – 0,05
Desechos de degradación moderada	Otros putrescibles orgánicos (no alimenticios)/ desechos de jardín y parques	0,05	0,04 – 0,06	0,1	0,06 – 0,1[8]	0,065	0,05 – 0,08	0,17	0,15 – 0,2
Desechos de degradación rápida	Desechos alimenticios/ lodo de aguas servidas	0,06	0,05 – 0,08	0,185[4]	0,1[3,4] – 0,2[9]	0,085	0,07 – 0,1	0,4	0,17 – 0,7[10]
Desechos brutos		0,05	0,04 – 0,06	0,09	0,08[8] – 0,1	0,065	0,05 – 0,08	0,17	0,15[11] – 0,2

Figura 10 Valores del índice de generación de metano por defecto.

Fuente: Eggleston et al. (2006). Directrices del IPCC de 2006, p. 3.18.

Como se puede apreciar en la Figura 10, los tipos de desechos se clasifican según su velocidad de degradación lenta, moderada o rápida, y a su vez estos se diferencian por la zona climática en que se encuentran dispuestos y la humedad del sector, la cual es directamente proporcional al contenido de humedad en los residuos, que es un elemento esencial para la descomposición anaeróbica y la generación de metano.

Como se mencionó en el capítulo 4, los residuos dispuestos en los rellenos sanitarios se agrupan en cuatro categorías: residuos orgánicos, papel y cartón, plástico y otros residuos.

Sin embargo, se quiere información sobre los desechos de madera, textiles, pañales y la cantidad de materia orgánica que corresponde a alimentos o jardín. Para calcular estos porcentajes, se asume que el país mantiene la tendencia presentada en el estudio de la CONAMA (2006), siendo este el más completo disponible en caracterización de residuos.

En este, los desechos alimenticios representan un 76% de la materia orgánica, en tanto que la poda de jardín un 24%. Para las demás categorías se obtienen los siguientes porcentajes:

Tabla 10 Composición porcentual otros residuos degradables.

Textiles	Madera	Pañales
2,02 %	0,16 %	6,60 %

Fuente: CONAMA. (2006). Estudio Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Región Metropolitana.

Los porcentajes obtenidos en la Tabla 10 son restados de la categoría *otros residuos* para cada uno de los rellenos sanitarios con el fin de obtener una composición más detallada.

Para recaudar información climatológica se recurre al portal web[4] del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en el cual se obtienen valores históricos de precipitación acumulada [mm], temperatura del aire [°C] y evapotranspiración acumulada [mm] para cada una de las estaciones meteorológicas más cercanas a cada relleno sanitario.

Para calcular la tasa de generación de metano *k* del sitio se asume que la degradación de cada tipo de residuo es independiente de la de los demás. En otras palabras, se calcula a partir del promedio ponderado de *k* de cada tipo de residuos, según la ecuación (8).

$$k_{pond} = \sum_{i=1}^{6} \%r_i \cdot k_i$$

En donde, $\%r_i$ corresponde al porcentaje del tipo de residuo y k_i a su tasa de generación por defecto para cada uno de los 6 tipos de residuos degradables.

[4] Agromet. Red Agrometeorológica de INIA [en línea] <http://agromet.inia.cl/estaciones.php> [consulta: 28 abril 2019].

La constante k_i varía en un rango que tiene como valor medio el *por defecto*. El valor a considerar para cada sitio dependerá del número calculado en la relación MAP/PET.

Tabla 11 Valores de k para cada rango de MAP/PET.

MAP/PET	Menor a 0,2	Entre 0,2 y 0,8	Entre 0,8 y 1,0[1]	Mayor a 2,0
k_i	Valor inferior	Por Defecto	Valor Mayor	Por Defecto

Nota. [1]El valor 1,0 considera al valor mayor de la zona seca o al menor de la zona húmeda. Elaboración propia.

Para hacer distinción entre zonas de baja, media y alta humedad o sequedad, se proponen los límites establecidos en la Tabla 11.

El siguiente gráfico muestra las estaciones meteorológicas más representativas para cada región del país junto a sus datos climáticos utilizados.

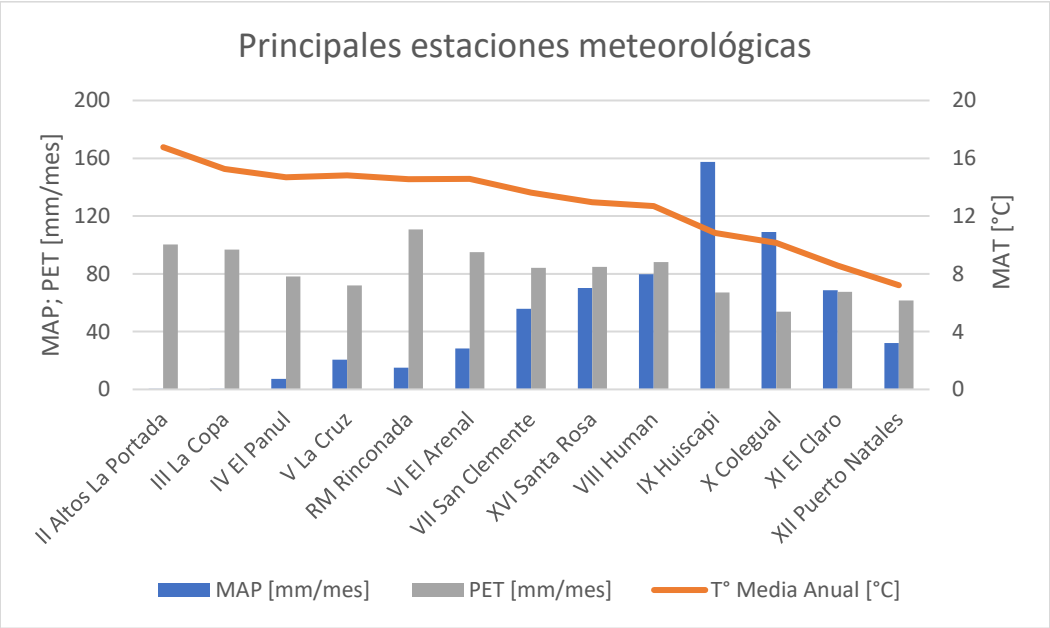


Figura 11 Principales estaciones meteorológicas utilizadas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Agromet, 2019.

De la Figura 11 se observa que no es posible utilizar sólo un valor por defecto de la tasa de generación de metano, ya que Chile presenta condiciones climáticas muy cambiantes a lo largo de su geografía, por lo que se debe calcular para cada relleno sanitario una constante.

Utilizando la relación MAP/PET calculada para la estación más cercana a cada sitio, los índices de generación de metano de la Figura 10 para cada tipo de desecho y la composición de los residuos recibidos en sitio, se calcula para cada relleno sanitario una tasa de generación de metano ponderada k_{pond}.

Tabla 12 Tasa de generación de metano para los rellenos sanitarios potencial de Chile.

Relleno Sanitario	MAP/PET [-]	k_{pond} [año^{-1}]
CTI Chaqueta Blanca	0,004	0,023
Cerro Colorado	0,004	0,030
SPA	0,024	0,024
Quebrada Ancha	0,004	0,026
De Mejillones	0,004	0,024
El Chulo	0,004	0,029
Provincial del Huasco	0,045	0,032
Cerro Montevideo	0,004	0,027
El Panul	0,095	0,030
San Pedro	0,287	0,046
CTI La Hormiga	0,287	0,048
Santiago Poniente	0,136	0,034
Colihues La Yesca	0,299	0,038
Las Quilas	0,331	0,037
El Retamo	0,662	0,045
Parque El Guanaco	0,765	0,038
CTI Eco Maule	0,765	0,038
San Roque	0,662	0,045
Fundo Las Cruces	0,827	0,053
Los Ángeles	0,904	0,057
Copiulemu	1,066	0,051
Arauco-Curanilahue	1,928	0,054
De Villarrica	2,348	0,114
La Laja	2,022	0,102
De Osorno	1,521	0,050
Centro de Manejo Coyhaique	1,016	0,047
Centro de Manejo Islas Las Huichas	1,016	0,047
Centro de Manejo De Natales	0,521	0,032

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 12 se puede observar que no existe una tendencia clara para determinar solo un valor por defecto de k como lo hacen los modelos de estimación existentes. Como se mencionó, esto se debe a la alta variedad de condiciones climáticas presentes en el país, junto con las distintas costumbres de consumo y generación de residuos por regiones.

Estos valores serán ingresados al modelo LandGEM para determinar la velocidad de degradación de los residuos. Un mayor valor de k permite una degradación más rápida de los desechos, mientras que valores pequeños retrasan la degradación del componente orgánico.

5.1.2. Potencial de generación de metano

Para calcular el potencial de generación de metano se debe utilizar la ecuación (8), para la cual se necesita determinar el carbono orgánico degradable DOC de los desechos, la fracción del carbono que se descompone DOC_F, la fracción de metano F contenida en el biogás y el factor de corrección del metano MCF.

El DOC se estima sobre la base de la composición de los desechos y se calcula a partir del promedio ponderado del DOC de los diversos tipos de residuos. La siguiente ecuación (11) calcula el carbono orgánico degradable con los valores por defecto del IPCC:

$$DOC = \sum_{i=1}^{6} DOC_i \cdot \%r_i \quad (11)$$

En donde, $\%r_i$ corresponde al porcentaje del tipo de residuo y DOC_i el valor del carbono degradable en el tipo de residuo i. Los valores por defecto están dados por el IPCC y se pueden observar a continuación.

CUADRO 2.4 VALORES POR DEFECTO PARA CONTENIDOS DE MATERIA SECA, DOC, TOTAL DE CARBONO Y FRACCIÓN DE CARBONO FÓSIL EN VARIOS COMPONENTES DE DSM									
Componente de DSM	**Contenido de materia seca en % del peso húmedo [1]**	**Contenido de DOC en % de desechos húmedos**		**Contenido de DOC en % de desechos secos**		**Contenido total en % del peso en seco**		**Fracción de carbono fósil en % del total de carbono**	
	Por defecto	**Por defecto**	**Rango**	**Por defecto**	**Rango [2]**	**Por defecto**	**Rango**	**Por defecto**	**Rango**
Papel/cartón	90	40	36 - 45	44	40 - 50	46	42 - 50	1	0 - 5
Textiles [3]	80	24	20 - 40	30	25 - 50	50	25 - 50	20	0 - 50
Desechos de alimentos	40	15	8 - 20	38	20 - 50	38	20 - 50	-	-
Madera	85 [4]	43	39 - 46	50	46 - 54	50	46 - 54	-	-
Desechos de jardines y parques	40	20	18 - 22	49	45 - 55	49	45 - 55	0	0
Pañales	40	24	18 - 32	60	44 - 80	70	54 - 90	10	10
Caucho y cuero	84	(39) [5]	(39) [5]	(47) [5]	(47) [5]	67	67	20	20
Plásticos	100	-	-	-	-	75	67 - 85	100	95 - 100
Metal [6]	100	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND
Vidrio [6]	100	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND
Otros, desechos inertes	90	-	-	-	-	3	0 - 5	100	50 - 100

Figura 12 Valores por defecto para contenido de carbono orgánico degradable.

Fuente: Eggleston et al. (2006). Directrices del IPCC de 2006, p. 3.18.

De la Figura 12.se consideran los valores por defecto para los desechos húmedos, y al igual que en la tasa de generación, se consideran 6 clasificaciones de residuos degradables.

La fracción degradable DOCf se puede calcular con la siguiente ecuación[5] (12).

$$DOC_F = 0{,}014 \cdot T + 0{,}28 \quad (12)$$

En donde, T corresponde a la temperatura al interior del relleno sanitario medida en °C. Al no existir datos sobre estas mediciones a nivel nacional, este valor se puede asumir en 0,77[6] o en 0,50[7]. Como el clima de Chile es templado se asume $T = 20°C$ para estimar el valor de DOC_F, dando como resultado un valor de 0,56 que está dentro de los límites propuestos.

[5] Des Participants, L. (2001). Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. *Order*. P.421.
[6] Des Participants, L. (2001). Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. *Order*. P. 421.
[7] Eggleston et al. (2006). Directrices del IPCC de 2006, p. 3.15.

En los rellenos sanitarios, la mayor parte de los desechos generan un gas con aproximadamente 50%[8] de metano. Por lo tanto, se emplea el valor por defecto del IPCC para la fracción de metano F en el biogás generado de 0,5.

Para calcular el MCF se utilizan los valores por defecto del IPCC en la Figura 13.

CUADRO 3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SEDS Y FACTORES DE CORRECCIÓN DE METANO (MCF)	
Tipo de sitio	**Valores por defecto del Factor de corrección de metano (MCF, del inglés, *Methane Correction Factor*)**
Gestionado – anaeróbico [1]	1,0
Gestionado – semi-aeróbico [2]	0,5
No gestionado [3] – profundo (>5 m desechos) y/o capa freática elevada.	0,8
No gestionado [4] – poco profundo (<5m de desechos)	0,4
SEDS no categorizado [5]	0,6

Figura 13 Factores de corrección de metano para distintos tipos de sitio.

Fuente: Eggleston et al. (2006). Directrices del IPCC de 2006, p. 3.16.

Se asume que todos los rellenos sanitarios son gestionados y anaeróbicos al cumplir con el DS 189, ya que poseen por lo menos compactación mecánica y protección de la cubierta. Además, para los sitios gestionados anaeróbicos con profundidades menores a 5 metros se adapta este factor a 0,8 según metodología del modelo Mexicano[9].

Utilizando el DOC ponderado de cada sitio, junto con los valores estimados para DOC_F, F y MCF, se calcula en la Tabla 13 para cada relleno sanitario el potencial de generación de metano.

[8] Eggleston et al. (2006). Directrices del IPCC de 2006. P. 3.16.
[9] Stege, G. A., & Davila, J. L. (2009). Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0. Washington DC. P. 9.

Tabla 13 Potencial de generación de metano para los rellenos sanitarios potenciales de Chile.

Relleno Sanitario	DOC [-]	Altura [m]	MCF [-]	L_o[m^3/Ton_{RSD}]
CTI Chaqueta Blanca	0,109	25	1,0	61,2
Cerro Colorado	0,145	15	1,0	81,0
SPA	0,099	4	0,8	44,3
Quebrada Ancha	0,109	8	1,0	61,3
De Mejillones	0,099	8	1,0	55,4
El Chulo	0,150	15	1,0	84,1
Provincial del Huasco	0,158	4	0,8	70,6
Cerro Montevideo	0,102	4	0,8	45,8
El Panul	0,146	46	1,0	81,9
San Pedro	0,164	22	1,0	91,5
CTI La Hormiga	0,164	22	1,0	92,0
Santiago Poniente	0,162	59	1,0	90,5
Colihues La Yesca	0,157	30	1,0	87,7
Las Quilas	0,155	8	1,0	86,8
El Retamo	0,194	148	1,0	108,4
Parque El Guanaco	0,165	24	1,0	92,6
CTI Eco Maule	0,167	10	1,0	93,5
San Roque	0,202	20	1,0	113,3
Fundo Las Cruces	0,145	9	1,0	81,1
Los Ángeles	0,148	30	1,0	83,0
Copiulemu	0,162	30	1,0	90,4
Arauco-Curanilahue	0,155	25	1,0	86,5
De Villarrica	0,147	8	1,0	82,5
La Laja	0,142	48	1,0	79,7
De Osorno	0,142	48	1,0	79,7
Centro de Manejo Coyhaique	0,134	17	1,0	74,8
Centro de Manejo Islas Las Huichas	0,134	15	1,0	74,8
Centro de Manejo De Natales	0,158	19	1,0	88,4

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Estimación de biogás

Como se mencionó, el modelo LandGEM estima la generación de biogás para cada año usando una modificación de la ecuación de degradación de primer orden, para la cual se debe ingresar el potencial de generación de metano, la tasa de generación de metano y la cantidad de residuos recibidos por el sitio.

Con los parámetros calculados en la Tabla 12 y Tabla 13, junto con las proyecciones de ingreso de RSD obtenidas en el catastro y los años de apertura - clausura de cada uno de los rellenos sanitarios, se estiman las curvas de generación de biogás como en la Figura 14.

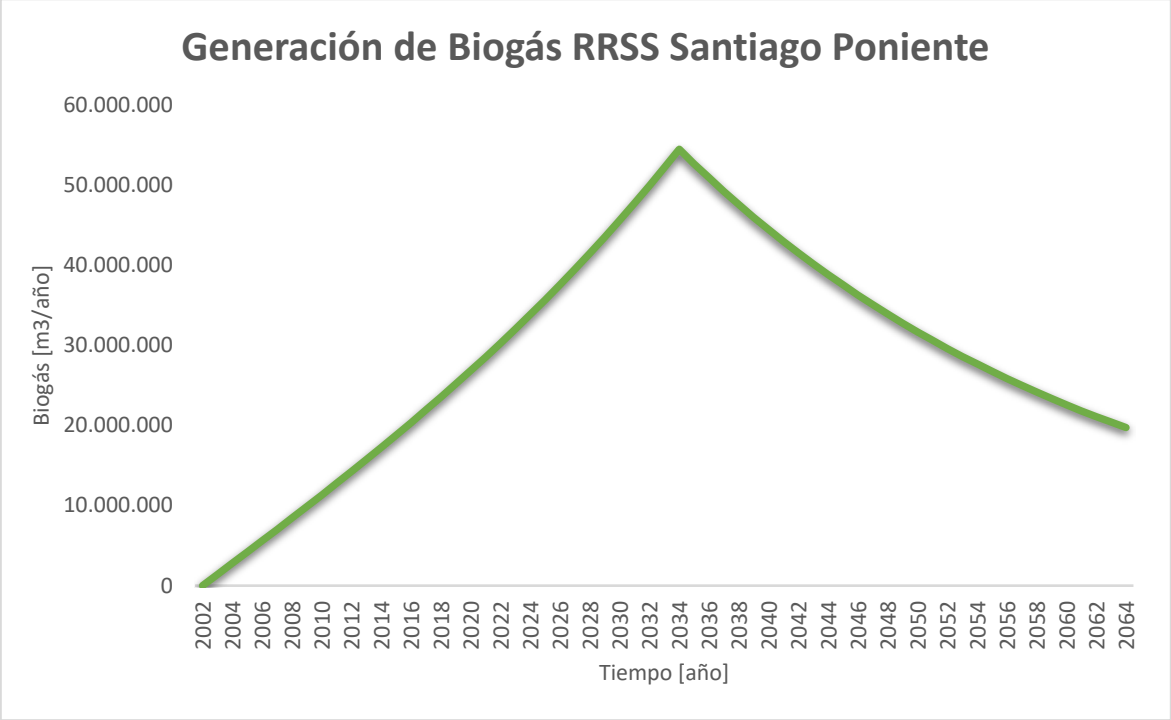


Figura 14 Curva de generación de biogás relleno sanitario Santiago Poniente.

Fuente: Elaboración propia a partir de herramienta LandGEM v3.02.

En la Figura 14 se muestra la estimación de biogás en el relleno sanitario con mayor potencial del estudio. De esta se puede observar que alcanza su máxima generación de biogás en el año de cierre, y que a 30 años de su última disposición los residuos siguen generando gas.

Este análisis se realizó para cada uno de los 28 rellenos sanitarios del catastro. Los resultados de esta simulación se muestran en la Tabla 14 correspondiente a la parte I y la parte II en la Tabla 15.

Como supuesto de la tesis se asume que al mediano plazo hasta el año 2033 los hábitos de generación de residuos de los chilenos no variarán en forma significativa, y el modelo LandGEM asume que la disposición de desechos del año 2033 producirá biogás en el año 2034.

Si se asume como tiempo de construcción de una planta de biogás de relleno sanitario 1 año[10], el biogás estará disponible para su aprovechamiento a partir del año 2020. De todas las curvas de generación de biogás simuladas se extrae este periodo de evaluación, que coincide con la cantidad de años (15) que se evaluarán los proyectos de generación de energía[11].

Para presentar los resultados se muestran los primeros 8 años en la parte I, seguido de los próximos 7 años en la parte II. Para cada uno de los años se muestra el caudal de biogás en unidades de [m_3/hr]. Los valores que se encuentran en negrita corresponden a la máxima cantidad alcanzada correspondiente al año de cierre del sitio.

La herramienta Excel LandGEM V3.02 entrega el caudal de biogás anual, por lo que se debe dividir por el total de horas en un año para calcular el caudal por hora, ya que con este dato se debe comprobar más adelante la viabilidad de utilizar el biogás en grupos electrógenos.

[10] Roos, C. J. (2010). *RELCOST Financial User's Manual*. Washington State University Extension Energy Program. P. 11.
[11] U.S. EPA. (2012). International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects. P. 4-5.

Tabla 14 Potencial teórico de generación de biogás en los rellenos sanitarios de Chile en el mediano plazo, parte I.

Relleno Sanitario	2020[1]	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
CTI Chaqueta Blanca	0	62	126	190	256	322	390	459
Cerro Colorado	91	120	148	175	201	227	251	275
SPA	0	10	21	33	41	40	39	38
Quebrada Ancha	23	27	31	35	38	41	45	48
De Mejillones	0	3	6	9	12	15	18	21
El Chulo	310	339	370	401	433	466	500	535
Provincial del Huasco	65	75	85	95	105	114	124	133
Cerro Montevideo	16	19	22	25	28	31	35	38
El Panul	1.188	1.267	**1.278**	1.240	1.203	1.167	1.132	1.099
San Pedro	485	642	798	952	1.104	1.256	1.407	1.557
CTI La Hormiga	406	468	529	589	647	705	762	818
Santiago Poniente	3.060	3.254	3.451	3.653	3.859	4.069	4.285	4.505
Colihues La Yesca	1.624	1.564	1.506	1.450	1.396	1.344	1.294	1.246
Las Quilas	234	262	**276**	266	256	247	238	229
El Retamo	2.530	2.652	2.774	2.896	3.019	3.142	3.267	3.393
Parque El Guanaco	1.084	1.135	1.185	1.236	1.286	1.337	1.388	1.438
CTI Eco Maule	542	581	619	658	698	737	778	819
San Roque	206	234	262	291	321	352	383	415
Fundo Las Cruces	1.577	1.653	1.727	1.799	1.871	1.941	2.010	2.076
Los Ángeles	1.372	1.546	1.717	1.885	**1.940**	1.833	1.731	1.636
Copiulemu	1.202	1.142	1.086	1.032	981	932	886	842
Arauco-Curanilahue	105	130	155	182	210	241	273	307
De Villarrica	432	**399**	356	317	283	253	225	201
La Laja	693	837	971	1.096	1.214	1.325	1.429	1.528
De Osorno	0	120	236	349	459	566	671	773
Centro de Manejo Coyhaique	140	156	171	186	201	215	229	242
Centro de Manejo Islas Las Huichas	0	12	23	35	46	57	68	78
Centro de Manejo De Natales	0	29	58	85	112	139	**159**	154

[1]Los años representan el potencial teórico de generación de biogás en unidades de [m^3/hr]. Elaboración propia a partir de herramienta LandGEM v3.02.

Tabla 15 Potencial teórico de generación de biogás en los rellenos sanitarios de Chile en el mediano plazo, parte II.

Relleno Sanitario	2028[1]	2029	2030	2031	2032	2033	2034
CTI Chaqueta Blanca	529	601	675	750	827	906	986
Cerro Colorado	299	**294**	285	277	269	261	253
SPA	37	36	35	34	33	33	32
Quebrada Ancha	51	54	56	59	62	64	67
De Mejillones	25	28	32	35	39	43	46
El Chulo	570	607	645	684	724	765	808
Provincial del Huasco	142	151	160	169	177	186	**184**
Cerro Montevideo	41	44	47	50	54	57	60
El Panul	1.066	1.034	1.003	973	944	916	889
San Pedro	1.707	1.857	2.007	2.157	2.307	2.458	2.610
CTI La Hormiga	873	927	981	1.034	1.087	1.139	**1.191**
Santiago Poniente	4.731	4.963	5.200	5.444	5.694	5.951	6.215
Colihues La Yesca	1.200	1.155	1.112	1.071	1.031	993	956
Las Quilas	221	213	205	197	190	183	177
El Retamo	3.519	3.648	3.777	3.909	4.041	4.178	**4.196**
Parque El Guanaco	1.489	1.541	1.592	1.644	1.696	1.748	1.800
CTI Eco Maule	860	902	945	988	**1.009**	971	934
San Roque	449	483	519	556	595	635	676
Fundo Las Cruces	2.140	2.201	2.260	2.317	**2.251**	2.136	2.026
Los Ángeles	1.545	1.460	1.379	1.303	1.231	1.163	1.098
Copiulemu	800	760	722	687	653	620	589
Arauco-Curanilahue	344	383	425	470	**510**	483	458
De Villarrica	179	160	143	127	114	114	114
La Laja	1.622	1.712	1.798	1.881	1.961	2.038	2.113
De Osorno	873	970	1.066	1.160	1.252	**1.266**	1.204
Centro de Manejo Coyhaique	255	268	280	293	305	**306**	292
Centro de Manejo Islas Las Huichas	89	100	110	121	132	142	153
Centro de Manejo De Natales	149	145	140	136	131	127	123

[1]Los años representan el potencial teórico de generación de biogás en unidades de [m^3/hr]. Elaboración propia a partir de herramienta LandGEM v3.02.

A partir de este potencial de biogás calculado para el mediano plazo se segmentarán en el próximo capítulo los rellenos sanitarios, en grupos con suficiente cantidad de biogás para un aprovechamiento viable o en su defecto insuficiente cantidad para ser factible de aprovechar.

Si se pudiese aprovechar todo el biogás calculado en las tablas Tabla 14 y Tabla 15, se tendría para cada año la siguiente cantidad de gas.

Tabla 16 Total de potencial de biogás a generar en el mediano plazo.

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Biogás [m^3/hr]	17.388	18.739	19.988	21.162	22.221	23.115	24.015	24.904
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m^3/hr]	25.806	26.697	27.602	28.525	29.318	29.880	30.250	**369.609**

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 16 se obtiene el techo (o máximo) del potencial de generación de biogás en Chile para los siguientes 15 años. En la práctica no se podrá aprovechar todo este biogás, ya que de partida se encuentra disperso a lo largo de todo el país. Además, se debe comprobar la factibilidad técnica de cada sitio, en los cuales no será posible captar un 100% del gas generado y lo recolectado será aprovechable en medida que la tecnología a usar lo permita.

A partir de la ecuación (9) se puede determinar la potencia nominal disponible en el total anual del biogás con una composición de 50% metano.

Tabla 17 Potencia nominal total a generar en el mediano plazo.

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
P_{nom} [MW]	87	93	100	105	111	115	120	124
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	
P_{nom} [MW]	129	133	137	142	146	149	151	

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar de las tablas Tabla 16 y Tabla 17 que la cantidad de biogás y en consecuencia la potencia nominal va incrementando con el pasar de los años. Esto se debe a que los rellenos sanitarios promedian como fecha de cierre el año 2033.

Si se asume una eficiencia eléctrica del 40%, se puede determinar con la ecuación (10) el techo de potencia eléctrica a instalar a partir del total de biogás generado por los rellenos sanitarios como se muestra en la Figura 15.

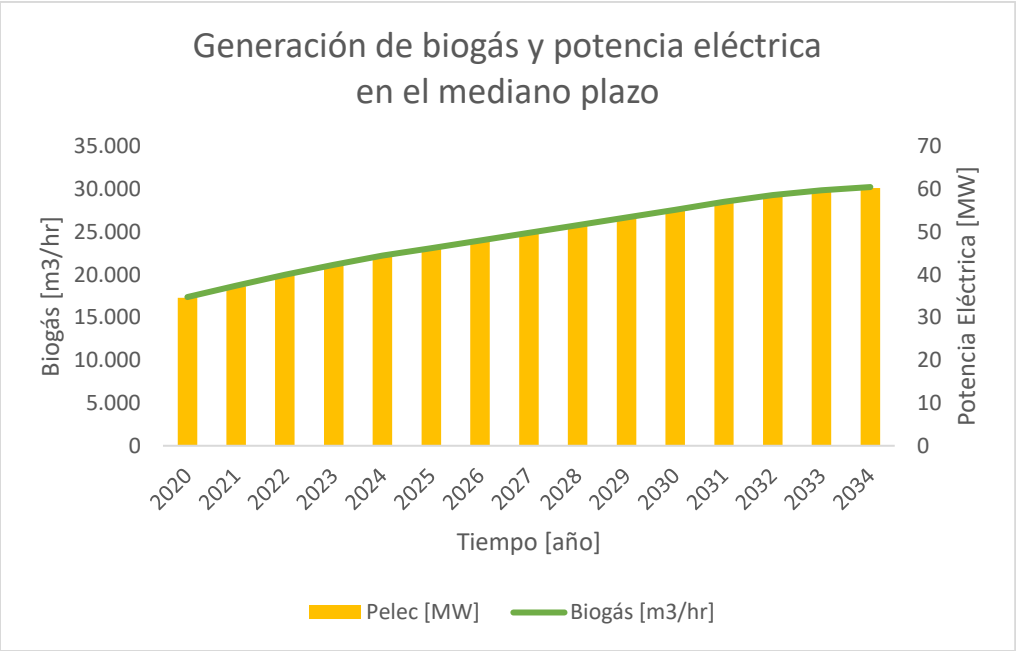


Figura 15 Potencial teórico total de generación de biogás y potencia eléctrica a instalar en el mediano plazo.

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 15 se puede observar que si se aprovechara todo el potencial de biogás disponible para el próximo año (2020) se podría instalar un total de 35 MW, correspondiente al 0,34% de la demanda máxima del SEN para abril del año 2019[12]. Lo que implicaría un aumento del 7,8% de la capacidad total instalada en el SEN en base a biomasa como recurso renovable, aumentando los 446 MW[13] instalados a 481 MW.

La máxima cantidad de potencial eléctrica a instalar se alcanza en el año 2033 con un valor de 60 MW. Cabe destacar que estos valores pueden variar al realizar la factibilidad técnica, ya que cada modelo de motor trabaja a distinta eficiencia eléctrica. Por lo general todos superan la eficiencia supuesta del 40%.

[12] Generadoras de Chile, 2019, P. 6.
[13] Generadoras de Chile, 2019, P. 7.

6. Segmentación de Rellenos Sanitarios

En base al potencial teórico de producción de biogás determinado, se deben separar los sitios en que puede ser factible el aprovechamiento energético del gas de los que no tienen un potencial suficiente durante los próximos 15 años.

Para que un relleno sanitario pueda categorizarse como potencialmente viable deberá tener la capacidad de mantener un caudal de biogás mínimo durante un cierto periodo de tiempo. Para conocer este periodo mínimo se utiliza el indicador del payback descontado, evaluando económicamente la cantidad de años que requiere cada tipo de tecnología de generación para lograr un retorno de la inversión, con el fin de realizar un primer descarte de sitios.

Las principales restricciones técnicas para realizar la prefactibilidad económica de las tecnologías se resumen a continuación.

Tabla 18 Resumen de costos para cada tipo de tecnología.

Tecnología	Biogás mínimo [m3/hr]	Inversión [US$/kW]	Inversión extra [US$/kW]	Overhaul [US$/kW]	Costo O&M [US$/MWh]
Motor < 800 kW	128	2.500	2.000	417	20,7
Motor > 800 kW	420	1.800	1.300	417	21,7
Motor > 1.500 kW	725	1.800	1.300	417	17,7
Motor > 3.300 kW	1.507	1.800	1.300	236	17,7
Turbina > 3.000 kW	2.200	1.500	1.015	305	8,9

Nota. La obtención de estos valores se encuentra detallada en el capítulo 7. Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 18, existen 4 distintos tramos para los motores de combustión interna. En el primero se encuentran los pequeños motores, con potencias bajo los 800 kW. En el segundo se encuentran motores de mediano tamaño, con potencias entre 800 y 1.500 kW. Lo siguen los motores sobre 1.500 kW, que a diferencia de los anteriores presentan economías de escala en la operación y mantenimiento, con una diferencia de 4 $[US\$/MWh]$. Finalmente se tienen grandes motores, con potencias mayores a 3.300 kW y que presentan un menor costo de Overhaul, con una diferencia de 181 $[US\$/kW]$.

Independiente del tramo, existe la posibilidad de que el biogás disponible sea suficiente para instalar más de un motor. De ocurrir se asume que los equipos serán iguales, con potencias de similar valor y del mismo fabricante, con el fin de evitar daños y pérdidas de potencia.

Además, para evaluar las 5 categorías (incluyendo la turbina a gas) se asumen los siguientes supuestos.

Tabla 19 Supuestos utilizados para calcular periodo de retorno de tecnologías.

Valor dólar[1]	$667,11
Factor de Planta	85%
Periodo de evaluación	15 años
Tasa de descuento	8%
Vida útil motor[2]	8 años
Vida útil turbina[3]	6 años

[1]Calculado como promedio hasta abril del año 2019.

[2]Cálculo basado en 60.000 horas de operación

[3]Cálculo basado en 48.000 horas de operación

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular los ingresos por energía y potencia se utiliza el precio nudo de corto plazo de la energía y la potencia del primer semestre del 2019[14]. Para cada relleno sanitario se busca el nudo más cercano a su localización con el fin de fijar sus precios. En cada tramo se calcula el promedio de sus precios nudo de corto plazo como se puede observar en la Tabla 20.

Tabla 20 Precios nudo de corto plazo promedio por tecnología.

Tecnología	Precio Nudo Energía [$/kWh]	Precio Nudo Energía [US$/MWh]	Precio Nudo Potencia [$/kW/mes]
Motor < 800 kW	43,420	65,087	5.306,09
Motor > 800 kW	43,778	65,623	5.339,44
Motor > 1.500 kW	43,402	65,060	5.347,45
Motor > 3.300 kW	43,388	65,038	5.349,97
Turbina > 3.000 kW	43,388	65,038	5.349,97

Fuente: Elaboración propia a partir de datos CNE. (2019). Informe Técnico Definitivo.

Por último, según lo indicado por el SII los activos se deprecian de manera lineal en 10 años y se asume un valor residual para los equipos que no completen su vida útil de operación. Cuando esto ocurra, se considera un valor residual correspondiente a una fracción del costo de inversión o del overhaul, en función de la vida útil restante del equipo.

[14] CNE (2019). Fijación de precios de nudo de corto plazo. Informe Técnico Definitivo (enero 2019).

6.1. Criterios de segmentación

Para categorizar los rellenos sanitarios dentro de los 5 tramos mencionados se deben establecer criterios de segmentación, los que dependerán principalmente del biogás mínimo y del tiempo necesario para que se cumpla un retorno de la inversión de la tecnología, se maximice el VAN y la TIR del proyecto.

En términos generales el procedimiento a realizar en cada tramo se ve ejemplificado a continuación para los motores con potencia eléctrica superior a 1.500 kW.

Tabla 21 Especificaciones técnicas motor Jenbacher J420.

Modelo	J420
Potencia	1.560
Biogás mínimo	725
Eficiencia eléctrica	43,2%

Fuente: Adaptado de INNIO. (2019). Jenbacher type 4.

Para calcular el periodo de retorno se asume un relleno sanitario de prueba capaz de generar durante 15 años un caudal de 725 [m^3/hr] para operar un motor como el de la Tabla 21. La inversión se realiza en el periodo 0 y el grupo electrógeno entra en funcionamiento desde el periodo 1 hasta el 15. Los principales indicadores económicos se muestran a continuación.

Tabla 22 Indicadores económicos para un motor sobre 1.500 kW.

Payback	9 años
VAN 1 [8%]	832 MM$
TIR 1	15%

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 22 el mínimo periodo de tiempo que debe estar funcionando el motor es 9 años para que exista un retorno de la inversión. De continuar operando durante los 15 años que dura el proyecto se alcanza un VAN máximo de 832 MM$ junto a una TIR del 15%.

Para instalar un motor extra, se asume que el relleno sanitario de prueba a partir del segundo año de operación dispondrá de la cantidad de biogás necesaria (1450 [m^3/hr]). De esta forma podrá ampliar su capacidad a 3.120 kW durante 14 años consecutivos.

Los costos que se incurren para instalar un motor extra se detallan en el capítulo 7. Los resultados de esta simulación se muestran a continuación.

Tabla 23 Indicadores económicos para dos motores sobre 1.500 kW.

Payback	8 años
VAN 2 [8%]	1.811 MM$
TIR 2	17%

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 23 se puede observar que al ingresar un motor de similares características desde el periodo 2, el tiempo de retorno de la inversión disminuye a 8 años al maximizar el uso de la vida útil de los equipos.

Para encontrar el mínimo tiempo que debe operar un motor extra se varía la cantidad de años que inyecta energía el segundo equipo, hasta que el VAN 1 de un solo motor sea superado.

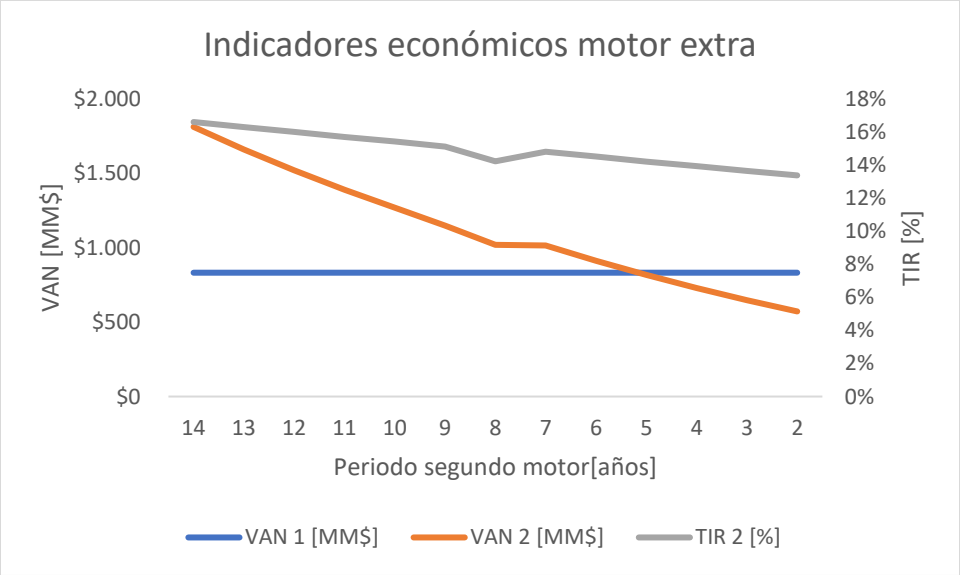


Figura 16 Variación de indicadores económicos al agregar motor extra sobre 1.500 kW.

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 16 se puede observar que el tiempo mínimo que necesita operar un segundo motor en paralelo es de 6 años, de esta manera aumentan los beneficios económicos que se obtendrían de operar sólo con un motor durante 15 años. De igual forma, al agregar un tercer motor se deberá operar por una cantidad mínima de 6 años.

Por otra parte, la manera de establecer los criterios de segmentación para las turbinas a gas es diferente debido a que se debe evaluar el costo de oportunidad de utilizar 2.200 [m^3/hr] para producir 3.000 kW a una eficiencia del 27,4%, en comparación con instalar 3 motores J420 para producir 4.680 kW utilizando 2.175 [m^3/hr] a una eficiencia del 43,2%.

Tabla 24 Comparación de tecnologías al utilizar 2.200 [m3/hr] de biogás.

Tecnología	Potencia [kW]	Biogás usado [m3/hr]	Payback [años]	VAN [MM$]	TIR [%]
Turbina a Gas	3.000	2.200	6	$2.790	22%
3 motores J420	4.680	2.175	7	$3.106	18%

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 24 se puede concluir que la turbinas a gas presenta un menor riesgo al tener una TIR mayor, pero los motores conceden un mayor VAN al proyecto. Se deberá comprobar bajo análisis de sensibilidad en qué condiciones conviene utilizar este tipo de tecnología.[15]

Finalmente, en la Tabla 25 se presenta de manera resumida los criterios de segmentación para cada una de las tecnologías y sus tramos de potencia eléctrica a instalar.

Tabla 25 Criterios de segmentación para cada tipo de tecnología.

Tecnología	Biogás Mínimo [m3/hr]	Periodo Mínimo [años]	VAN 1	TIR 1	Periodo Motor Extra [años]
Motor < 800 kW	128	15	> 0	> 8%	11; 10
Motor > 800 kW	420	10	> 0	> 8%	6; 8
Motor > 1.500 kW	725	9	> 0	> 8%	6; 6
Motor > 3.300 kW	1507	8	> 0	> 8%	6; 8
Turbina > 3.000 kW	2200	6	> 0	> 8%	-

Fuente: Elaboración propia.

[15] Santiago Poniente es el relleno que mayor cantidad de biogás puede generar durante 6 años consecutivos para instalar una turbina a gas, siendo el caudal mínimo aproximadamente de 5.000 [m^3/hr]. Evaluando con 4 motores J616 se logra instalar una capacidad de 10,7 MW con un payback de 6 años, igualando el de la turbina.

6.2. Categorías de segmentación

Utilizando la información de la Tabla 25 se aplica un formato condicional al potencial de generación de biogás para observar en que categoría se encuentra cada sitio.

Tabla 26 Criterios de segmentación aplicados a potencial de generación de biogás.*

Rellenos Sanitarios	2020[1]	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034
Santiago Poniente	3.060	3.451	3.859	4.285	4.731	5.200	5.694	6.215
El Retamo	2.530	2.774	3.019	3.267	3.519	3.777	4.041	4.196
Fundo Las Cruces	1.577	1.727	1.871	2.010	2.140	2.260	2.251	2.026
La Laja	693	971	1.214	1.429	1.622	1.798	1.961	2.113
Los Ángeles	1.372	1.717	1.940	1.731	1.545	1.379	1.231	1.098
Parque El Guanaco	1.084	1.185	1.286	1.388	1.489	1.592	1.696	1.800
Colihues La Yesca	1.624	1.506	1.396	1.294	1.200	1.112	1.031	956
El Panul	1.188	1.278	1.203	1.132	1.066	1.003	944	889
San Pedro	485	798	1.104	1.407	1.707	2.007	2.307	2.610
De Osorno	0	236	459	671	873	1.066	1.252	1.204
Copiulemu	1.202	1.086	981	886	800	722	653	589
CTI La Hormiga	406	529	647	762	873	981	1.087	1.191
CTI Eco Maule	542	619	698	778	860	945	1.009	934
El Chulo	310	370	433	500	570	645	724	808
San Roque	206	262	321	383	449	519	595	676
Centro de Manejo RSD Coyhaique	140	171	201	229	255	280	305	292
Las Quilas	234	276	256	238	221	205	190	177
CTI Chaqueta Blanca	0	126	256	390	529	675	827	986
Intercomunal Arauco-Curanilahue	105	155	210	273	344	425	510	458
De Villarrica	432	356	283	225	179	143	114	114
Cerro Colorado	91	148	201	251	299	285	269	253
Provincial del Huasco	65	85	105	124	142	160	177	184
Centro de Manejo RSD de Natales	0	58	112	159	149	140	131	123
Centro de Manejo RSD Islas Las Huichas	0	23	46	68	89	110	132	153
Quebrada Ancha	23	31	38	45	51	56	62	67
Cerro Montevideo	16	22	28	35	41	47	54	60
De Mejillones	0	6	12	18	25	32	39	46
SPA	0	21	41	39	37	35	33	32

[1]Los años representan el potencial de generación de biogás en unidades de [m^3/hr]. Elaboración propia.

*Con el fin de simplificar el tamaño se muestran sólo los años pares.

Al aplicar los criterios de segmentación, se puede observar como el potencial de generación de biogás calculado en los sitios catastrados se divide en, un potencial suficiente para 17 rellenos sanitarios capaces y en un potencial insuficiente para los otros 11 que son descartados.

En la Tabla 27 se muestra el biogás generado por los rellenos sanitarios capaces.

Tabla 27 Potencial de generación de biogás en rellenos sanitarios capaces.

Año	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**
Biogás [m^3/hr]	16.655	17.852	18.957	19.980	20.888	21.635	22.389	23.151
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m^3/hr]	23.921	24.701	25.493	26.297	26.971	27.465	27.774	**344.129**

Fuente: Elaboración propia.

El potencial de generación suficiente representa un 93% del total de biogás teórico a generar, y es capaz de producir hasta el año 2034 una potencia eléctrica media de 45,7 MW.

Por otra parte, la Tabla 28 muestra el biogás generado en los rellenos sanitarios descartados

Tabla 28 Potencial de generación de biogás en rellenos sanitarios descartados.

Año	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**
Biogás [m^3/hr]	733	887	1.031	1.181	1.333	1.480	1.626	1.753
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m^3/hr]	1.885	1.995	2.109	2.229	2.347	2.415	2.475	**25.480**

Fuente: Elaboración propia.

El potencial de generación insuficiente representa un 7% del total de biogás teórico a generar. Al no ser factible el aprovechamiento energético se considera quema del gas.

A partir de la información gráfica observada en la Tabla 26 se pueden diferenciar 6 tipos de categorías. Si se quisiera aprovechar en el corto plazo (desde año 2020) todo el biogás disponible, los rellenos sanitarios se segmentarían en las siguientes categorías.

6.2.1. Categoría 0

Corresponde a todos los rellenos sanitarios que su potencial de generación de biogás es inferior a 128 [m^3/hr] o no logran superar este caudal el tiempo mínimo requerido. Su color referencial es el rojo.

Tabla 29 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 0.

Categoría 0
CTI Chaqueta Blanca
Arauco-Curanilahue
De Villarrica
Cerro Colorado
Provincial del Huasco
Centro de Manejo de Natales
Centro de Manejo Islas Las Huichas
Quebrada Ancha
Cerro Montevideo
De Mejillones
SPA

Fuente: Elaboración propia.

De los sitios que aparecen en la Tabla 29, CTI Chaqueta Blanca es el único que presenta un potencial de biogás aprovechable en el futuro.

6.2.2. Categoría 1

Corresponde a todos los rellenos sanitarios que logran mantener un potencial de generación de biogás mínimo de 128 [m^3/hr] durante el tiempo mínimo requerido. Su TIR es del orden del 9% y no llegan a superar el 11%. Su color referencial es el rosa.

Tabla 30 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 1.

Categoría 1
San Roque
Centro de Manejo Coyhaique
Las Quilas

Fuente: Elaboración propia.

De los sitios que aparecen en la Tabla 30, San Roque es el único que presenta un potencial de biogás aprovechable en el futuro, capaz de superar los 450 [m^3/hr].

6.2.3. Categoría 2

Corresponde a todos los rellenos sanitarios que logran mantener un potencial de generación de biogás mínimo de 420 [m^3/hr] durante el tiempo mínimo requerido. Su TIR es del orden del 13% y no llegan a superar el 13%. Su color referencial es el naranja.

Tabla 31 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 2.

Categoría 2
De Osorno
Copiulemu
CTI La Hormiga
CTI Eco Maule
El Chulo

Fuente: Elaboración propia.

De los sitios que aparecen en la Tabla 31 , Osorno es el que presenta mayor potencial de biogás aprovechable en el futuro, capaz de superar los 725 [m^3/hr].

6.2.4. Categoría 3

Corresponde a todos los rellenos sanitarios que logran mantener un potencial de generación de biogás mínimo de 725 [m^3/hr] durante el tiempo mínimo requerido. Su TIR es del orden del 15% y no llegan a superar el 17%. Su color referencial es el amarillo.

Tabla 32 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 3.

Categoría 3
La Laja
Los Ángeles
Parque El Guanaco
Colihues La Yesca
El Panul
San Pedro

Fuente: Elaboración propia.

De los sitios que aparecen en la Tabla 32 San Pedro, Parque El Guanaco y La Laja son los que presentan mayor potencial de biogás aprovechable en el futuro, capaz de superar los 1.507 [m^3/hr], incluso San Pedro llega a superar los 2.200 [m^3/hr].

6.2.5. Categoría 4

Corresponde a todos los rellenos sanitarios que logran mantener un potencial de generación de biogás mínimo de 1.507 [m^3/hr] durante el tiempo mínimo requerido, accediendo a costos de Overhaul más baratos. Su TIR supera el orden del 15% y su color referencial es el verde claro. Sólo el sitio Fundo Las Cruces pertenece a esta categoría

6.2.6. Categoría 5

Corresponde a todos los rellenos sanitarios que logran mantener un potencial de generación de biogás mínimo de 2.200 [m^3/hr] durante el tiempo mínimo requerido para utilizar turbina a gas. La TIR depende de que opción de generación se utilice, siendo del orden del 22% para turbinas y desde 18% para los motores. Su color referencial es el verde oscuro.

Tabla 33 Rellenos sanitarios pertenecientes a la categoría 5.

Categoría 5
Santiago Poniente
El Retamo

Fuente: Elaboración propia.

La mayor cantidad de biogás a alcanzar por un periodo de 6 años se consigue en Santiago Poniente, con un valor de aproximadamente 5.000 [m^3/hr], correspondiente a una turbina a gas de 6,8 [MW] de potencia eléctrica.

7. Factibilidad Técnica

7.1. Factor de Planta

El factor de planta es la relación entre la energía producida por una planta y la energía que podría haberse producido en operación continua a plena potencia durante todo el año. Por los bajos costos de operación se asume un despacho continuo, por lo que este parámetro queda determinado por la disponibilidad de los equipos frente a mantenimiento y eventualidades.

Este factor normalmente se expresa como horas por año (hr/año) o como un porcentaje del tiempo de operación total que puede funcionar de manera continua. El rango típico para una planta a partir de biogás de relleno sanitario es de 75% a 90%[16].

Para todos los potenciales calculados se emplea un factor de planta promedio del 85% o 7.446 hr/año como el tiempo efectivo de operación de las plantas eléctricas. Este valor considera las pérdidas parásitas en los grupos electrógenos.

7.2. Costos

A continuación, se detallan los costos asociados a la implementación de plantas de energía eléctrica a partir de biogás de rellenos sanitarios.

7.2.1. Costos de Inversión

Estos costos incluyen los costos de capital y mano de obra para comprar e instalar todo el equipo necesario para tratar el gas y generar electricidad. Los componentes típicos incluyen:

- Compresión y tratamiento del biogás (Incluye equipos de deshidratación y filtración).
- Motor y generador recíprocos (Incluye controles del motor, aparellaje eléctrico, radiadores, silenciadores, cableado y cañerías), o turbina y generador.
- Equipo de interconexión eléctrica
- Mano de obra, obras civiles, servicios públicos, ingeniería de diseño e instalaciones y permisos.

[16] Roos, C. J. (2010). *RELCOST Financial User's Manual*. Washington State University Extension Energy Program. P. 11.

La Tabla 34 enumera los costos estimados típicos y tamaños de proyecto de energía aplicables para las tecnologías de generación de electricidad más comunes.

Tabla 34 Costos estimados de inversión en proyectos eléctricos a partir de biogás de relleno.

Tecnología	Tamaño óptimo del proyecto	Inversión [US$/kW]
Microturbina	1 MW o menos	3.000
Pequeño motor de combustión interna	799 kW o menos	2.500
Motor de combustión interna	800 kW o más	1.800
Turbina a Gas	3 MW o más	1.500

Fuente: Adaptación de U.S. EPA, 2017, p. 4-4.

Cuando ya se encuentran construidas las obras civiles junto con la interconexión eléctrica se considera un costo de 1.300 US$/kW[17] por capacidad extra instalada a partir de motores medianos (sobre 800 kW), lo cual es 500 US$/kW menor que el costo de la inversión inicial. Siguiendo esta lógica, se asume un costo de instalación extra de 2.000 US$/kW para motores pequeños (bajo 800 kW). Para las turbinas se considera un costo extra de 1.015 US$/kW[18].

7.2.2. Costos de Operación y Mantenimiento

a. Costo O&M[19]

En Estados Unidos, los costos de operación y mantenimiento relacionados con el nivel de producción corresponden a la integración de los costos fijos de operación y mantenimiento (o fixed O&M), los costos variables de operación y mantenimiento (o variable O&M) y a los costos de mantenimiento mayor (mayor maintenance) incluyendo el overhaul de los equipos.

Los componentes típicos del costo de operación y mantenimiento (O&M) incluye:

- Piezas y materiales
- Mano de obra
- Costo de financiamiento

[17] U.S. EPA LMOP. (2017). *Landfill Gas Energy Cost Model Version 3.2.* P. 33.
[18] U.S. EPA LMOP. (2017). *Landfill Gas Energy Cost Model Version 3.2.* P. 32.
[19] Aranda, S., & Palma, F. (s.f.). Costos Variables No Combustibles de Plantas Termoeléctricas. P. 23.

- Impuestos
- Administración

En la Tabla 35 se pueden observar los costos típicos de operación y mantenimiento anual por generación eléctrica para los tamaños de proyectos eléctricos recomendados por la EPA.

Tabla 35 Costos de O&M típicos en proyectos eléctricos a partir de biogás de relleno.

Tecnología	Tamaño óptimo del proyecto	Costo O&M [US$/MWh]
Microturbina	1 MW o menos	21,7[1]
Pequeño motor de combustión interna	799 kW o menos	24,0
Motor de combustión interna	800 kW o más	25,0
Turbina a Gas	3 MW o más	14,4

[1]Costo basado en una microturbina de 250 kW. Fuente: Adaptación de U.S. EPA, 2017, p. 4-4.

b. Costo variable no combustible[20]

A diferencia del costo de O&M de Estados Unidos, el costo variable no combustible utilizado en Chile está compuesto por costos atribuibles a;

- Mantenimiento Mayor, que abarca reacondicionamientos preventivos, repuestos y servicios de tercero.
- Consumo de energía eléctrica por servicios auxiliares
- Insumos (agua desmineralizada, aceites, filtros de aire, lubricantes, etc.)
- Monitoreo ambiental
- Eliminación de residuos como cenizas o escorias.

Según lo informado en el ITD[21], la central El Molle opera con un CVNC de 18,2 US$/MWh para sus 3 motores a biogás de relleno sanitario de 1.500 kW. Al no incluir costos fijos, estos se estiman en base a datos del Banco Interamericano de desarrollo (BID), considerando un costo de 29.000 US$[22] anuales para un operador cada 1.500 kW instalados.

[20] Aranda, S., & Palma, F. (s.f.). Costos Variables No Combustibles de Plantas Termoeléctricas. P. 11.
[21] CNE (2019). Fijación de precios de nudo de corto plazo. Informe Técnico Definitivo (enero 2019).
[22] Blanco et al. (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico. Banco Interamericano de Desarrollo. P. 43.

Se asume además un 10% de GAV, lo que da un valor estimado de 32.000 US$ por cada motor instalado. Considerando 7.446 horas de operación al año se obtiene un costo de O&M de 21,0 US$/MWh para motores sobre 1.500 kW de potencia operando en Chile.

c. Costo de overhaul

El Overhaul consiste en dejar el equipo como si fuera nuevo a cero horas de funcionamiento, sustituyendo o reparando todos los elementos sometidos a desgaste y revisando su funcionamiento. Los motores de combustión interna requieren de este mantenimiento a las 60.000[23] horas de operación, mientras que las turbinas a las 48.000[24] horas de operación.

Considerando un factor de planta del 85%, se estima una vida útil de 8 años para los motores de combustión interna y de 6 años para las turbinas a gas.

En base a contratos de servicios de mantenimiento, la empresa Western Energy Systems[25] cobra 458.200 US$ por la realización del overhaul a 60.000 horas de operación para un motor de 1,1 MW. La empresa Nixon Power Services[26] cobra 777.600 US$ por la realización del overhaul a 60.000 horas de operación para un motor de 3,3 MW.

En el caso de las turbinas a gas, según la asociación de turbinas a gas el overhaul representa un 30% del costo de capital del equipo, estimando un costo de overhaul de 305 US$/kW.

La Tabla 36 resume los costos de overhaul por capacidad instalada en principales tecnologías.

Tabla 36 Resumen de costos de overhaul por capacidad instalada.

Tecnología	Tamaño óptimo del proyecto	Costo Overhaul [US$/kW]
Motor de combustión interna	1.100 kW	417
Motor de combustión interna	3.300 kW o más	236
Turbina a Gas	3 MW o más	305

Fuente: Elaboración propia.

[23] GE Power. (2018). *Mayor Overhaul GenSet.*
[24] Gas Turbine Association. (2004). *Comments on routine maintenance, repair and replacement.*
[25] City of Palm Springs. (2015). *Cogeneration Long-term Maintenance Agreement. P. 2.*
[26] Broward County. (2017). *Planned and Corrective Maintenance Agreement. P. 9-10.*

Como se mencionó anteriormente, tanto el costo O&M como el CVNC incluyen en su cálculo la realización del overhaul del equipo. Para representar el costo real incurrido en este mantenimiento mayor, se debe restar del costo de O&M típico de la EPA el costo de overhaul por generación para una potencia de 3,3 MW (valor promedio instalado en USA[27]).

Para calcular el costo de overhaul relacionado con el nivel de generación eléctrica en unidades de US$/MWh, se debe traer a valor presenta el costo del mantenimiento mayor junto con la generación de energía eléctrica para un factor de planta del 85%.

El periodo de evaluación queda determinado por la vida útil del equipo (8 o 6 años según corresponda), y la tasa de descuento utilizada es la misma que en los proyectos de biogás a energía eléctrica de la EPA del 8%.

Tabla 37 Costos estimados de overhaul por generación eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

Tecnología	Costo Overhaul [US$/MWh]
Motor de combustión interna	3,3
Turbina a Gas	5,6

Finalmente, se restan los valores calculados en la Tabla 37 a los costos de operación y mantenimiento, resultando el costo de O&M sin inclusión del overhaul.

Tabla 38 Costos estimados de operación y mantenimiento sin overhaul.

Tecnología	Tamaño óptimo del proyecto	Costo O&M [US$/MWh]
Pequeño motor de combustión interna	799 kW o menos	20,7
Motor de combustión interna	800 kW o más	21,7
Motores medianos	1.500 kW o más	17,7
Turbina a Gas	3 MW o más	8,8

Fuente: Elaboración propia.

La importancia de los valores calculados en la Tabla 38 es la utilización de estos costos en evaluaciones de equipos que no alcancen a operar durante toda su vida útil.

[27] U.S. EPA. LMOP. Project and Landfill Data by State [en línea] <https://www.epa.gov/lmop/project-and-landfill-data-state> [consulta: 3 junio 2019]

7.3. Eficiencia de Captura

Una vez que se estiman las cantidades de biogás de relleno y su composición de metano, el siguiente paso consiste en estimar la cantidad de biogás que se puede recolectar para uso.

La eficiencia de captura es una medida de la capacidad del sistema de recolección del gas para recuperar el biogás generado. Queda determinada principalmente por la profundidad de los residuos, el tipo de cobertura utilizado, existencia de recubrimiento inferior, compactación de residuos y manejo de lixiviados.

Para calcular las tasas de captura se utiliza la metodología propuesta en el modelo Mexicano[28] de biogás, que considera los siguientes supuestos.

7.3.1. Profundidad de los residuos

Residuos con profundidades más grandes permiten que se instalen pozos con mayor profundidad, los cuales pueden operar con más eficacia al aplicar un mayor vació de succión sin que se presente infiltración de aire en el sistema a través del material de cobertura.

Rellenos sanitarios con profundidad menor a 10 metros tenderán a tener una mayor infiltración de aire, por lo que se asume un descuento del 5% por cada metro menos de altura.

7.3.2. Tipo de cobertura

El tipo de cobertura utilizado restringe las emisiones de biogás a la atmosfera, la infiltración de aire y de lluvias al sistema de captura. Estos efectos dependen de la permeabilidad y el espesor de la cobertura. Usualmente la cobertura final tendrá el mayor espesor y menor permeabilidad posible, y será la más eficaz en términos de aumentar la eficiencia de captura. Por otro lado, la cobertura diaria es una capa de tierra superficial que proporciona una barrera más permeable al aire y al agua que las cubiertas finales o intermedias.

Para los distintos tipos de cobertura se asumen las eficiencias de la Tabla 39.

[28] Stege, G. A., & Davila, J. L. (2009). Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0. Washington DC. P. 10.

Tabla 39 Eficiencias de captura para cada tipo de cobertura utilizada.

Tipo de cobertura	Tasa de captura [%]
Cubierta Final	90%
Cubierta Intermedia	80%
Cubierta de tierra diaria	75%
Sin ninguna cubierta	50%

Fuente: Adaptado de Stege y Davila. (2009). Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0.

Por exigencia del artículo 54 del DS 189/08 se asume que todos los rellenos sanitarios dispondrán de una cobertura final sobre su superficie al finalizar sus operaciones.

7.3.3. Recubrimiento inferior

Los recubrimientos sintéticos o de arcilla son eficaces para limitar la migración de biogás fuera del sitio a áreas circundantes. Por cada porcentaje de área que se encuentre sin recubrimiento se descuenta un 5% a la eficiencia de captura.

Para una población atendida mayor a 20.000 habitantes el artículo 20 del DS 189/08 exige un sistema de impermeabilización sintético o de arcilla, por lo que no se asumen descuentos.

7.3.4. Compactación de residuos

La compactación de los residuos ayuda a promover la descomposición anaeróbica de los residuos y tiende a mejorar la eficiencia de captura, ya que limita la infiltración de aire y mejora la calidad del gas. Si la compactación no ocurre de forma regular se descuenta un 3%. Para todos los rellenos sanitarios se asume una compactación habitual de los residuos.

7.3.5. Manejo de lixiviados

Niveles altos de lixiviados en un relleno sanitario pueden limitar drásticamente la eficiencia de captura bloqueando las perforaciones de los pozos de captura, impidiendo que estos apliquen vació para extraer el biogás de los residuos circundantes.

Si hay evidencia de acumulación de lixiviados después de llover, se aplica un descuento de 2% a 15% dependiendo el tipo de clima. Debido a las exigencias del DS 189/09 se considera un buen manejo de lixiviados y drenaje para todos los rellenos sanitarios.

7.4. Potencial factible de biogás

Para determinar el potencial factible de biogás en los rellenos sanitarios segmentados se debe considerar las restricciones del sistema de recolección. Utilizando la metodología descrita en el capítulo anterior se calculan las eficiencias de captura para cada uno de los sitios.

Tabla 40 Eficiencias de captura del sistema de recolección para rellenos sanitarios segmentados.

Relleno Sanitario	Altura [m]	Tasa de altura	Tipo de Cobertura[1]	Tasa de cobertura	**Captación operación**	**Captación cierre**
Santiago Poniente	59	100%	I	80%	**80%**	**90%**
El Retamo	148	100%	I	80%	**80%**	**90%**
Fundo Las Cruces	9	95%	I	80%	**76%**	**86%**
La Laja	48	100%	D	75%	**75%**	**90%**
Los Ángeles	30	100%	D	75%	**75%**	**90%**
Parque El Guanaco	24	100%	I	80%	**80%**	**90%**
Colihues La Yesca	30	100%	I	80%	**80%**	**90%**
El Panul	46	100%	I	80%	**80%**	**90%**
San Pedro	22	100%	I	80%	**80%**	**90%**
De Osorno	48	100%	D	75%	**75%**	**90%**
Copiulemu	30	100%	D	75%	**75%**	**90%**
CTI La Hormiga	22	100%	I	80%	**80%**	**90%**
CTI Eco Maule	10	100%	I	80%	**80%**	**90%**
El Chulo	15	100%	I	80%	**80%**	**90%**
San Roque	20	100%	I	80%	**80%**	**90%**
Centro de Manejo Coyhaique	17	100%	I	80%	**80%**	**90%**
Las Quilas	8	90%	D	0%	**68%**	**81%**

[1]Los tipos de cobertura son I=Intermedia, D=Diaria. Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 40 se pueden observar dos porcentajes de captación, cuando el sitio se encuentra operando y cuando finaliza la disposición de residuos. Los valores calculados se encuentran dentro del rango aceptado por la EPA[29] (50%-95%).

[29] U.S. EPA. (2017). *Landfill Gas to Energy Project Development Handbook*. P. 2-4.

Utilizando las eficiencias de captura calculadas se procede a determinar el potencial factible de biogás de los potenciales rellenos sanitarios segmentados.

Tabla 41 Potencial factible de biogás en los rellenos sanitarios segmentados.*

Rellenos Sanitarios	2020[1]	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034
Santiago Poniente	2.448	2.761	3.087	3.428	3.785	4.160	4.555	4.972
El Retamo	2.024	2.219	2.415	2.613	2.816	3.022	3.233	3.776
Fundo Las Cruces	1.199	1.312	1.422	1.527	1.626	1.718	1.925	1.733
La Laja	520	728	911	1.072	1.217	1.349	1.471	1.585
Los Ángeles	1.029	1.288	1.746	1.558	1.391	1.241	1.108	989
Parque El Guanaco	867	948	1.029	1.110	1.192	1.274	1.356	1.440
Colihues La Yesca	1.462	1.355	1.257	1.165	1.080	1.001	928	860
El Panul	951	1.150	1.083	1.019	959	903	850	800
San Pedro	388	638	884	1.126	1.366	1.605	1.846	2.088
De Osorno	0	177	344	503	655	800	939	1.083
Copiulemu	1.082	977	883	797	720	650	587	530
CTI La Hormiga	325	423	518	609	698	785	869	1.072
CTI Eco Maule	434	495	558	622	688	756	908	841
El Chulo	248	296	346	400	456	516	579	646
San Roque	165	210	257	306	359	415	476	541
Las Quilas	158	224	208	193	179	166	154	143
Centro de Manejo Coyhaique	112	137	161	183	204	224	244	263

[1]Los años representan el potencial de generación de biogás en unidades de [m^3/hr]. Elaboración propia.

*Con el fin de simplificar el tamaño se muestran sólo los años pares.

Es importante destacar de la Tabla 41 que al aplicar esta restricción técnica el Centro de manejo de residuos de Coyhaique deja de ser un relleno sanitario factible, ya que al aplicar la tecnología durante 14 años se obtiene un VAN cercano a cero junto a una TIR del 8%.

Además, la ejecución temprana de una central eléctrica en el relleno sanitario de Osorno se ve complicada por los cambios de tecnología a realizar durante la implementación del proyecto, por lo que se recomienda esperar mínimo hasta el año 2025.

Por otro lado, los dos rellenos sanitarios más grandes se mantuvieron en su categoría, siendo los únicos que pueden optar dentro de todas las tecnologías disponibles.

Al determinar el potencial factible de biogás, se puede calcular la cantidad de gas que se escapa o que no puede ser capturada por el sistema de recolección. El total por año se muestra a continuación en la Tabla 42.

Tabla 42 Biogás no captado en rellenos sanitarios capaces.

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Biogás [m^3/hr]	3.244	3.524	3.617	3.860	3.782	3.969	4.156	4.344
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m^3/hr]	4.531	4.719	4.908	5.099	4.942	4.852	4.412	**63.960**

Fuente: Elaboración propia.

De esta, se puede observar que el biogás no capturado representa un 19% de la generación teórica de biogás en los rellenos sanitarios capaces.

Además, el biogás captado en el relleno de Osorno y en el centro de manejo de Coyhaique, es quemado al no ser factible el aprovechamiento energético en el corto y/o mediano plazo.

Tabla 43 Biogás captado y quemado en rellenos sanitarios descartados.

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Biogás [m^3/hr]	112	215	314	411	505	597	686	773
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m^3/hr]	859	942	1.024	1.104	1.183	1.414	1.346	**11.485**

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 43 se observa que el biogás captado y quemado en estos sitios descartados corresponde a un 3% de la generación teórica de biogás en los rellenos sanitarios capaces.

Por último, los 15 rellenos sanitarios elegidos tienen el siguiente potencial factible de biogás.

Tabla 44 Potencial factible de biogás en 15 rellenos sanitarios.

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Biogás [m_3/hr]	13.299	14.114	15.026	15.710	16.602	17.069	17.546	18.034
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m_3/hr]	18.531	19.040	19.561	20.094	20.846	21.199	22.016	**268.684**

Fuente: Elaboración propia.

El biogás captado por estos sitios representa un 78% de la generación teórica de biogás en los rellenos sanitarios capaces, y es capaz de producir hasta el año 2034 una potencia eléctrica media de 35,7 MW si se asume una eficiencia de conversión eléctrica del 40%.

7.5. Tecnologías disponibles

Para poder determinar el potencial técnico de cada uno de los rellenos sanitarios, se debe determinar la tecnología más adecuada para la cantidad de biogás que se espera captar.

Como se mencionó anteriormente, los dos tipos de tecnologías a utilizar son motores de combustión interna y turbinas a gas, siendo los primeros quienes presentan un rango más amplio de operación.

En este sentido, se buscan motores en el mercado que estén diseñados para ser utilizados con biogás de relleno sanitario. Dos alternativas de fabricantes son propuestas, Innio que produce los motores Jenbacher (antes fabricados por GE) y Caterpillar (CAT).

Los modelos disponibles y más eficientes por cada fabricante se muestran a continuación.

Tabla 45 Tecnologías de generación con biogás de relleno sanitario.

Modelo	Potencia Eléctrica[1] [kW]	Eficiencia Eléctrica [%]	Eficiencia Térmica [%]	Biogás [m3/hr]
J620	3.348	44,6	39,9	1.507
J616	2.676	44,6	39,9	1.205
CG260-12	2.024	42,2	40,3	963
J612	1.997	44,3	39,9	905
CG170-20	1.600	42,9	43,3	749
J420	1.560	43,2	42,5	725
J416	1.202	42,4	42,8	569
J320	1.067	40,9	45,2	524
J412	901	42,3	42,8	428
J316	851	40,7	44,7	420
J412	749	41,8	42,6	360
CG132B-16	640	43,1	42,6	298
J312	548	41,9	42,6	263
CG132B-12	480	42,9	42,8	225
CG132B-8	320	42,8	42,2	150
J208	249	39,1	43,2	128

[1]Todos los valores calculados con un factor de potencia de 0.8. Fuente: Elaboración propia a partir de modelos fabricados por INNIO y FINNING CAT.

Con las opciones propuestas en la Tabla 45 se debe comprobar cuanta energía se puede generar al considerar sus eficiencias de conversión.

7.6. Potencial técnico energético

Para calcular el potencial técnico energético se debe realizar una selección de tecnologías que permita maximizar el aprovechamiento del biogás capturado por el sistema de recolección (potencial factible de biogás) junto con la generación de energía eléctrica.

De esta manera, se analiza la factibilidad de cada tecnología para el relleno Los Ángeles. Se asume una capacidad mínima de funcionamiento de los equipos del 90%[30].

Tabla 46 Factibilidad de tecnologías en relleno sanitario Los Ángeles.

	Periodo	**1**	**2**	**4**	**9**	**10**	**12**	**13**	**15**		
	Año	**2020**	**2021**	**2023**	**2028**	**2029**	**2031**	**2032**	**2034**		
Modelo	**Biogás [m3/hr]**	1.029	1.160	1.414	1.391	1.314	1.173	1.108	989	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
J616	1.205	0	1	1	1	1	1	1	0	239.106	2.676
CG260-12	963	1	1	1	1	1	1	1	1	226.061	2.024
J612	905	1	1	1	1	1	1	1	1	223.045	1.997
CG170-20	749	1	1	**2**	**2**	1	1	1	1	250.186	3.200
J420	725	1	1	2	2	2	1	1	1	**251.827**	3.120
J416	569	2	2	2	2	2	2	2	1	**255.899**	2.404
J320	524	2	2	2	2	2	2	2	2	238.346	2.134
J412	428	**2**	**3**	3	3	3	**3**	**2**	2	**275.063**	2.703
J316	420	2	3	3	3	3	3	2	2	259.798	2.553
J412	360	3	3	4	4	4	3	3	3	250.967	2.247
CG132B-16	298	3	4	5	5	4	4	4	3	271.630	2.560
J312	263	4	4	5	5	5	4	4	4	244.824	2.192
CG132B-12	225	5	5	6	6	6	5	5	4	264.482	2.400
CG132B-8	150	7	8	10	10	9	8	8	7	250.186	2.240
J208	128	8	10	12	12	11	10	9	8	266.984	2.490

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 46 se puede observar la cantidad de años que puede funcionar cada motor, en donde los colores representan al rango de potencia (o categoría) al que pertenecen. En cuanto al modelo CG170-20, es posible instalar en paralelo 3.200 kW durante 6 años. Mientras que el modelo J412 permite la utilización de tres motores durante 11 años.

[30] La capacidad mínima se basa en que el modelo J412 puede funcionar a un 83% de su capacidad disminuyendo sólo en 0,5% su eficiencia de conversión eléctrica. Considerando más equipos se estima en 90%.

Es importante destacar que la alternativa que presenta mayor potencia eléctrica a instalar no necesariamente coincide con la que mayor energía genera.

De este modo, el potencial técnico energético del sitio queda determinado por el motor J412 y por el aprovechamiento del biogás capturado que éste pueda efectuar durante la duración del proyecto.

Realizando la factibilidad de tecnologías para cada uno de los 15 rellenos sanitarios elegidos a partir del potencial factible de biogás, se procede a calcular el potencial técnico energético. Los resultados de las factibilidades se encuentran en el **Anexo B**.

Tabla 47 Potencial técnico energético en rellenos sanitarios capaces.*

Relleno Sanitario	2020[1]	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034	Potencia media [kW]
Santiago Poniente	4.680	6.240	6.240	7.800	7.800	9.360	9.360	9.360	**7.592**
El Retamo	4.505	4.505	5.406	5.406	6.307	6.307	6.307	6.307	**5.706**
Fundo Las Cruces	2.400	2.880	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	**3.200**
El Panul	1.920	1.920	1.920	1.920	1.920	1.920	1.920	1.600	**1.899**
Colihues La Yesca	2.703	2.703	2.703	2.703	1.802	1.802	1.802	1.802	**2.222**
Los Ángeles	1.802	2.703	2.703	2.703	2.703	2.703	1.802	1.802	**2.463**
La Laja	901	901	1.802	1.802	2.703	2.703	2.703	2.703	**2.042**
Parque El Guanaco	1.920	1.920	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	**2.272**
San Pedro	0	1.067	1.067	2.134	2.134	3.201	3.201	3.201	**2.134**
Copiulemu	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440	960	960	**1.344**
CTI La Hormiga	548	548	1.096	1.096	1.096	1.096	1.096	1.096	**950**
CTI Eco Maule	960	960	1.280	1.280	1.280	1.280	1.280	1.280	**1.195**
El Chulo	498	498	747	747	747	747	747	747	**681**
San Roque	249	249	498	498	498	498	498	498	**448**
Las Quilas	320	320	320	320	320	320	320	320	**320**

[1]Los años representan la potencia bruta instalable en unidades de [kW]. Elaboración propia.

*Con el fin de simplificar el tamaño se muestran sólo los años pares.

En la Tabla 47 se puede observar la potencia eléctrica bruta instalable en los 15 rellenos sanitarios escogidos que maximiza la utilización del biogás captado, a través de la implementación de tecnologías que puedan ofrecer un retorno de la inversión. Se calcula una potencia eléctrica media de 34,5 MW hasta el año 2034.

Al determinar el potencial técnico energético, se puede calcular la cantidad de biogás que no es posible aprovechar por las tecnologías disponibles, siendo quemado en las chimeneas de los rellenos sanitarios. El biogás quemado se muestra a continuación en la Tabla 48.

Tabla 48 Biogás no aprovechable por tecnologías.

Año	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**
Biogás [m^3/hr]	1.742	1.453	1.570	1.401	1.512	1.286	1.069	1.480
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m^3/hr]	1.495	1.051	1.285	1.753	3.016	3.396	4.293	**27.803**

Fuente: Elaboración propia.

De esta, se puede observar que el biogás no aprovechable (27.803 m^3/hr) representa un 10% del potencial factible de biogás de los rellenos sanitarios capaces.

Por lo tanto, el biogás aprovechable por las tecnologías disponibles queda definido por el 90% del potencial factible de biogás sobrante, como se puede apreciar en la Tabla 49.

Tabla 49 Biogás máximo aprovechable por tecnologías.

Año	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**
Biogás [m^3/hr]	11.557	12.660	13.455	14.308	15.090	15.783	16.477	16.553
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m^3/hr]	17.036	17.989	18.276	18.341	17.830	17.803	17.723	**240.881**

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, el potencial técnico energético no es necesariamente la mejor alternativa económica. En este sentido, para cada uno de los 15 rellenos sanitarios escogidos se deben evaluar las opciones que generen mayor energía con una menor inversión y costos, con el fin de maximizar la rentabilidad del proyecto.

En el siguiente capítulo se calcula el potencial económico implementable, que evalúa el potencial de generación de energía eléctrica en los rellenos sanitarios capaces del país.

8. Evaluación Económica

Para realizar la evaluación económica de las alternativas tecnológicas encontradas a partir del potencial factible de biogás en cada sitio, se asumen los siguientes supuestos.

Tabla 50 Supuestos utilizados para la evaluación económica de las alternativas tecnológicas.

Valor dólar[1]	$667,11
Factor de Planta	85%
Periodo de evaluación	15 años
Tasa de descuento	8%
Vida útil motor	8 años
Vida útil turbina	6 años

[1]Calculado como promedio hasta abril del año 2019. Elaboración propia.

8.1. Ingresos

8.1.1. Ingresos por energía térmica

En caso de considerar cogeneración o uso directo del biogás no aprovechado, la energía térmica puede ser comercializada a terceros para diversos procesos. En Chile este tipo de producto es poco convencional, por lo cual no existe mercado ni precios relacionados. Para los alcances de esta tesis no se considera la comercialización de este tipo de energía.

8.1.2. Ingresos por generación eléctrica

Es la principal fuente de ingresos de un proyecto de generación de energía eléctrica. Las ERNC poseen distintas alternativas de comercialización. Con clientes libres se pueden establecer contratos acordados (PPA), mientras que en el mercado spot, las transacciones se realizan a costo marginal o a precio estabilizado.

El precio de la energía puede estimarse mediante el precio medio de mercado (PMM), el cual corresponde al precio medio de los acuerdos de compra (PPA) firmados entre empresas generadoras con clientes libres. El valor del PPM informado para el primer semestre del 2019 es de $65{,}388\ \left[\frac{\$}{kWh}\right]$.

La segunda opción es la venta de energía a través del coordinador eléctrico en el mercado spot, a precio marginal instantáneo de la energía, a otras empresas de generación.

Por último, para alcances de esta tesis todas las plantas a instalar se pueden considerar como PMGD, por lo que se puede acceder a un precio estabilizado durante mínimo 48 meses en las ventas de energía, el cual corresponde al precio nudo de energía del informe técnico definitivo de la CNE.

Para realizar las evaluaciones económicas se utiliza el precio estabilizado, ya que presenta mayor probabilidad de mantener un precio de venta en comparación a cuantificar las inyecciones de energía a costo marginal instantáneo.

8.1.3. Ingresos por potencia

Las unidades generadoras reciben una remuneración por el aporte que cada una de ellas realiza a la suficiencia de potencia del sistema eléctrico nacional. La suficiencia de potencia es la capacidad para abastecer la demanda de punta. Considerando la demanda máxima del SEN, la potencia instalada y centrales térmicas, se asume un factor de suficiencia del 65%[31].

Los ingresos por potencia quedan determinados por el precio nudo de potencia de corto plazo correspondiente al primer semestre del 2019. Para cada relleno sanitario se busca el nudo más cercano a su localización con el fin de fijar sus ingresos.

8.2. Valor Residual

Al comparar las alternativas presentes en la factibilidad de tecnologías, se encuentran casos en los que se invierte en equipos nuevos que operan durante 6 o 7 años, o se incurre en gastos de overhaul para reacondicionar los equipos a cero horas y sólo son utilizados durante pocos años. Cuando esto ocurra, se considera un valor residual correspondiente a una fracción del costo de inversión o del overhaul, en función de la vida útil restante del equipo.

[31] Valor estimado en base a consultas hechas por el autor.

8.3. Flujo de Caja

Teniendo en consideración los supuestos detallados con anterioridad, junto con los costos asociados a la implementación, operación y mantenimiento de las plantas eléctricas, y los ingresos producto de la comercialización de la energía y potencia eléctrica, se construye el siguiente modelo de flujo de caja.

Periodo **Año**	**0** **2019**	**1** **2020**	**15** **2034**
Potencia Neta [kW]			
Factor de Planta [%]			
Generación Total [MWh]			
Precio Energía [US$/MWh]			
Precio Potencia [$/kW/Mes]			
Ingresos Generación [$]			
Ingresos Potencia [$]			
Ingresos Total [$]			
Costo O&M [$]			
Costo Overhaul [$]			
Costos Total [$]			
Depreciación [$]			
Utilidad cálculo de Impuesto [$]			
Impuesto a la Renta [27%]			
Remanente de Impuesto [$]			
Impuesto Aplicado [$]			
Utilidad después de Impuesto [$]			
Capital de Trabajo [$]			
Inversión/Valor Residual [$]			
Flujo Neto [$]			

Figura 17 Modelo de flujo de caja privado.

Fuente: Elaboración propia.

Con el flujo de caja propuesto en la Figura 17, se obtienen los indicadores económicos que permiten evaluar la rentabilidad de las alternativas tecnológicas de cada uno de los 15 rellenos sanitarios factibles, con el fin de determinar el potencial económico implementable.

8.4. Potencial Económico Implementable

Corresponde a una fracción del potencial técnico que puede ser implementada en condiciones de rentabilidad económica. Este potencial depende de la tecnología seleccionada y de la localización del relleno sanitario, que determina los precios de venta del nudo más cercano.

A modo de ejemplo, se retoma la factibilidad de tecnologías realizada en el relleno sanitario Los Ángeles en el capítulo anterior. De esta se puede observar que el modelo J412 es el que mayor energía genera (270.732 MWh), con la puesta en paralelo de tres motores iguales.

Naturalmente las opciones que generen mayor energía eléctrica con una menor inversión serán las más rentables. Además, al generar con motores de mediano o gran tamaño se disminuyen los costos asociados, por lo que se busca priorizar la implementación de estos.

En segundo lugar, la puesta en paralelo de 2 motores modelo J416 (1 motor menos que la alternativa seleccionada en el potencial técnico energético) generan 255.899 MWh. En comparación a la primera opción, se reduce aproximadamente en 15.000 MWh la generación de energía, pero el costo asociado disminuye.

Una última opción a considerar es la utilización del modelo J420, el cual permite generar 251.827 MWh con la puesta en paralelo de 2 motores idénticos. Pese a ser el que menos energía genera, sus costos de O&M son menores que las otras dos opciones.

A partir del modelo de flujo de caja presentado en la Figura 17 estas tres opciones de tecnología son evaluadas económicamente para determinar cuál es la más rentable.

Tabla 51 Evaluación económica de alternativas tecnológicas en relleno sanitario Los Ángeles.

	J420	**J416**	**J412**
Potencia	1.560	1.202	901
Cantidad	2	2	3
Generación	251.827	255.899	270.732
Años	15; 7	15; 14	15; 15; 11
VAN	$946.196.101	**$1.106.947.032**	$1.083.603.467
TIR	14%	**15%**	14%

Fuente: Elaboración propia.

Al observar los indicadores económicos de la Tabla 51 se determina que la implementación de dos motores modelo J416 es la alternativa que mayor rentabilidad ofrece.

Al evaluar económicamente los 15 rellenos sanitarios factibles se determina el potencial económico implementable (o potencial de generación de energía eléctrica) a nivel nacional. Los flujos de cajas para las alternativas más rentables se encuentran en el **Anexo C.**

Tabla 52 Potencial económico implementable en los rellenos sanitarios factibles de Chile.*

Relleno Sanitario	2020[1]	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034	Motor
Santiago Poniente	5.991	5.991	5.991	7.988	7.988	7.988	7.988	7.988	J612
El Retamo	4.800	4.800	4.800	4.800	6.400	6.400	6.400	6.400	CG170-20
Fundo Las Cruces	1.560	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	J420
El Panul	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	0	J612
Colihues La Yesca	2.703	2.703	2.703	2.703	1.802	1.802	1.802	1.802	J412
Los Ángeles	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	2.404	1.202	J416
La Laja	901	901	1.802	1.802	2.703	2.703	2.703	2.703	J412
Parque El Guanaco	1.802	1.802	1.802	1.802	2.703	2.703	2.703	2.703	J412
San Pedro	901	901	1.802	1.802	2.703	2.703	2.703	2.703	J412
Copiulemu	1.702	1.702	1.702	1.702	851	851	851	851	J316
CTI La Hormiga	0	901	901	901	901	901	901	901	J412
CTI Eco Maule	901	901	901	901	901	901	901	901	J412
El Chulo	320	640	640	640	640	640	640	640	CG132B-8
San Roque	249	249	498	498	498	498	498	498	J208
Las Quilas	320	320	320	320	320	320	320	320	CG132B-8

[1]Los años representan la potencia bruta instalable en unidades de [kW]. Fuente: Elaboración propia.

*Con el fin de simplificar el tamaño se muestran sólo los años pares.

En la Tabla 52 se puede observar la potencia eléctrica bruta implementable en los 15 rellenos sanitarios a partir de los motores escogidos, los que permiten maximizar la rentabilidad del proyecto de generación de energía eléctrica.

El potencial de generación de energía eléctrica permite la instalación de una potencia media de 32,8 MW para los próximos 15 años, que en comparación al potencial técnico es 1,7 MW más baja.

Al determinar el potencial económico implementable, se puede calcular la cantidad de biogás que no se aprovecha por las tecnologías implementadas, siendo quemado en las chimeneas de los rellenos sanitarios.

Tabla 53 Biogás no aprovechado por tecnologías implementadas.

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Biogás [m^3/hr]	1.515	1.807	1.475	1.568	1.948	2.435	2.287	2.089
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m^3/hr]	2.072	2.370	2.774	3.324	4.132	4.574	6.698	**41.069**

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 53 se puede observar que el biogás total no aprovechado representa un 15% del potencial factible de biogás de los rellenos sanitarios.

Por lo tanto, el biogás aprovechado por las tecnologías implementadas corresponde al 90% del potencial factible de biogás, como se puede apreciar en la Tabla 54.

Tabla 54 Biogás aprovechado por tecnologías implementadas.

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Biogás [m^3/hr]	11.557	12.660	13.455	14.308	15.090	15.783	16.477	16.553
Año	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**Total**
Biogás [m^3/hr]	17.036	17.989	18.276	18.341	17.830	17.803	17.723	**240.881**

Fuente: Elaboración propia.

El biogás utilizado por las tecnologías implementadas determina el potencial de generación de energía eléctrica disponible en los rellenos sanitarios a nivel nacional. La Figura 18 muestra el tamaño y cantidad de proyectos a instalar hasta el año 2034.

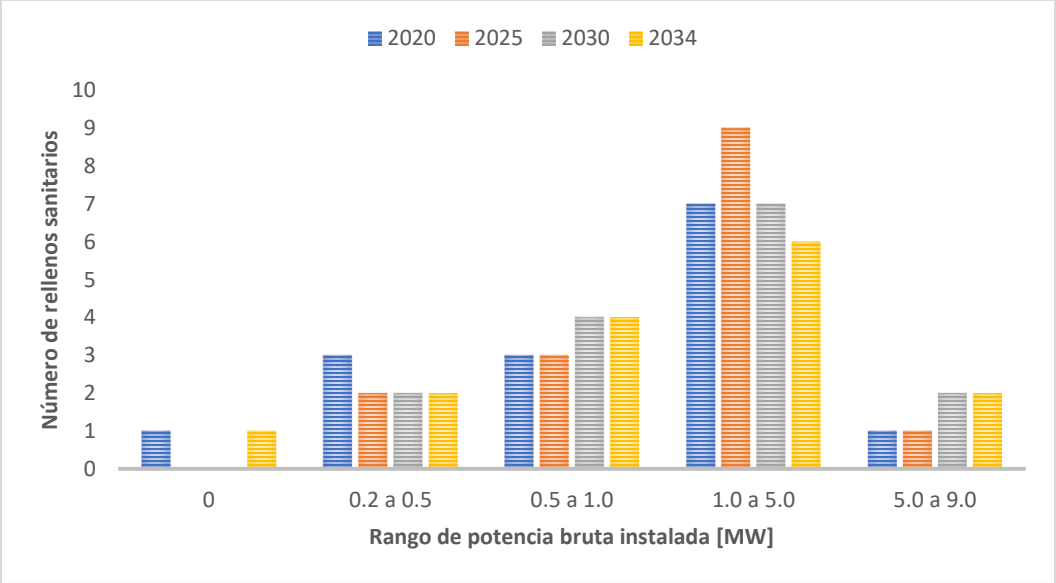
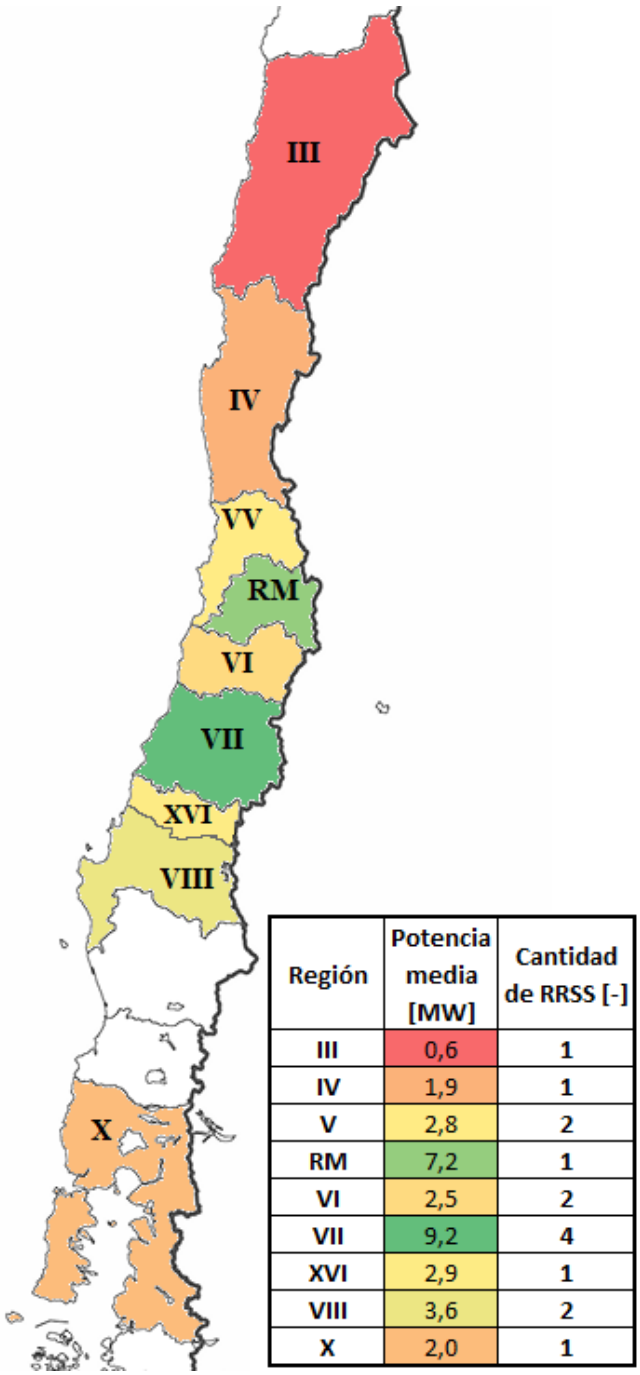


Figura 18 Número de rellenos sanitarios por rango de potencia instalada.

Fuente: Elaboración propia.

El potencial de generación de energía eléctrica durante los 15 años de duración del proyecto se distribuye en 9 regiones del país. La Figura 19 muestra la potencia media implementable hasta el año 2034 distribuida espacialmente.



Región	Potencia media [MW]	Cantidad de RRSS [-]
III	0,6	1
IV	1,9	1
V	2,8	2
RM	7,2	1
VI	2,5	2
VII	9,2	4
XVI	2,9	1
VIII	3,6	2
X	2,0	1

Figura 19 Distribución espacial de la potencia eléctrica media implementable hasta 2034.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, la Figura 20 muestra la transformación del potencial de generación de biogás en los rellenos sanitarios (potencial teórico) a potencial de generación de energía eléctrica evaluado (potencial económico) en los próximos 15 años, y la potencia eléctrica media implementable.

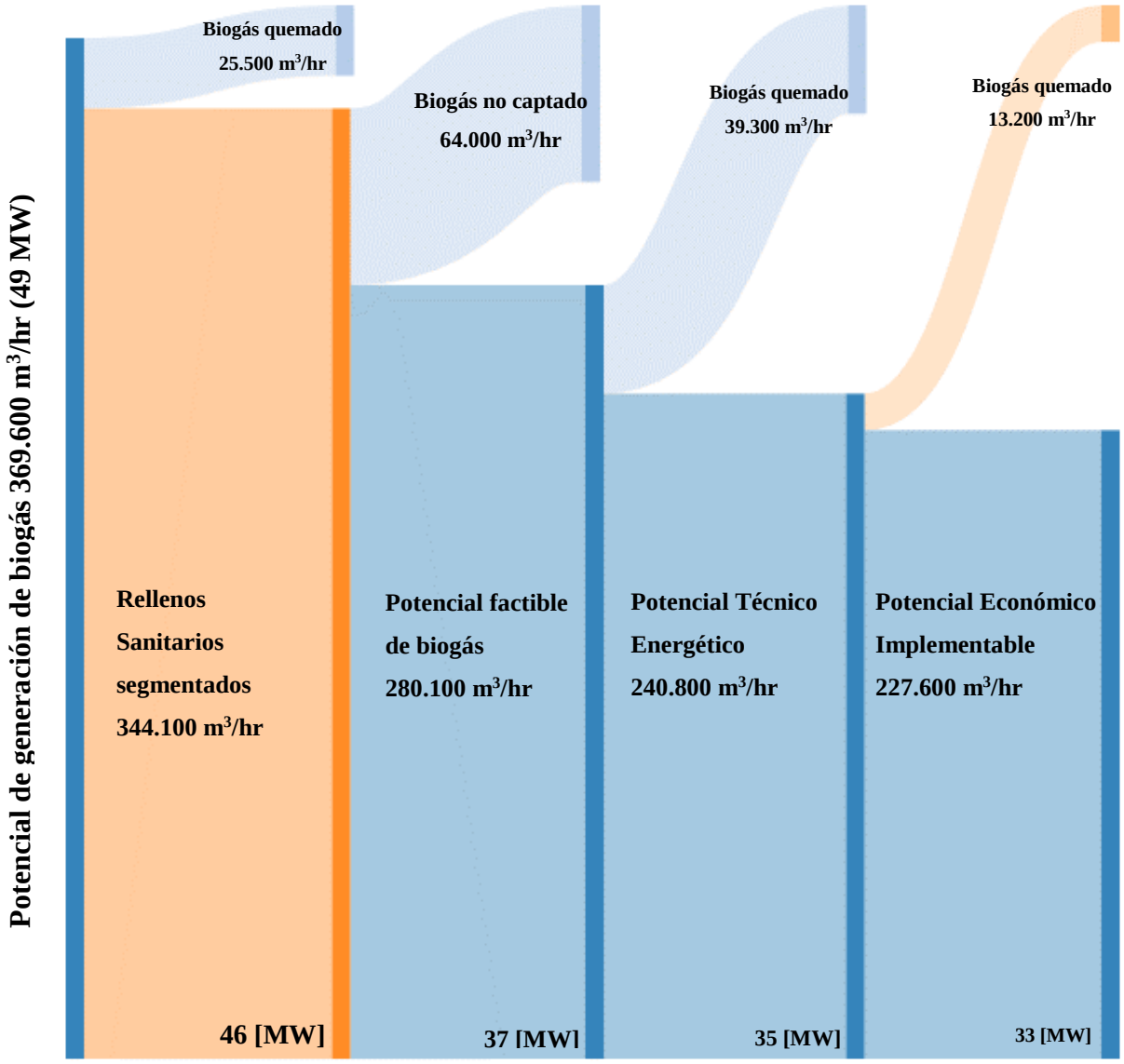


Figura 20 Diagrama de flujo para el biogás y la potencia media en los rellenos sanitarios potenciales de Chile.

Fuente: Elaboración propia.

8.5. Análisis de sensibilidad

Para realizar el análisis de sensibilidad se varía el precio de venta de la energía eléctrica y el costo de operación y mantenimiento para las categorías de potencia más relevantes, con el fin de analizar qué tan sensible es el periodo mínimo que debe funcionar cada tecnología con respecto a cada una de las variables.

Para el análisis se toman las siguientes consideraciones, junto con los costos y precios de venta de cada uno de los tramos a sensibilizar (J312, J316 y turbina a gas).

- Periodo de evaluación: 15 años.
- Tasa de descuento: 8%.
- Depreciación lineal: 10 años.
- Valor residual: Fracción de vida útil.
- Valor dólar: $667,11.
- Factor de planta: 85%.

8.5.1. Variación del precio de energía eléctrica

J312: Este modelo de motor requiere un caudal de 263 m^3/hr para generar una potencia eléctrica de 548 kW. Corresponde a la categoría 1 de segmentación, en la cual se necesita un mínimo de 15 años de operación para que el proyecto sea rentable.

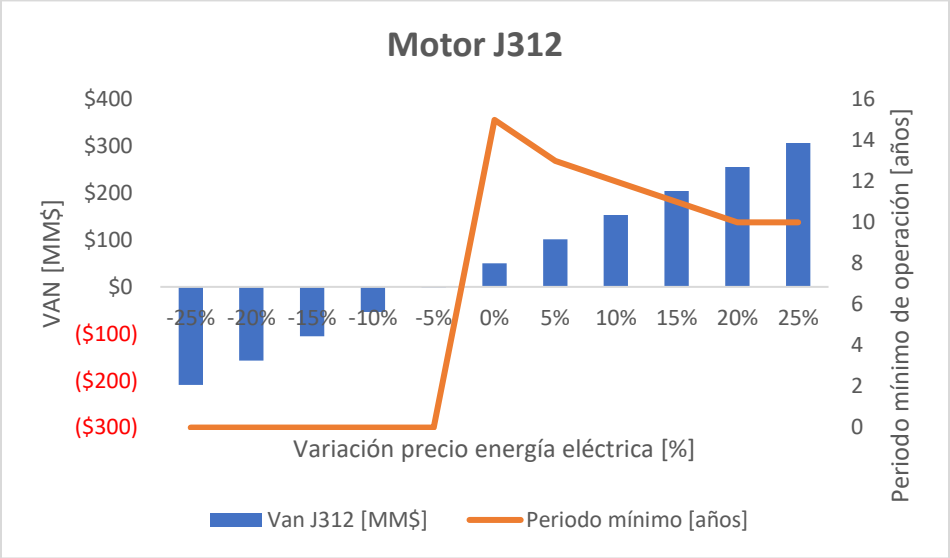


Figura 21 Análisis de sensibilidad precio de energía eléctrica motor J312.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la Figura 21 se observa que una mínima disminución de -5% en el precio de venta de la energía eléctrica imposibilita la implementación de proyectos de aprovechamiento eléctrico en esta categoría de rellenos sanitarios, viéndose afectados 3 sitios.

Por otro lado, un mínimo aumento de 5% reduce el tiempo mínimo de operación a 13 años, con lo cual el centro de manejo de RSD de Coyhaique que quedó fuera del potencial técnico es viable. Además, se podrían sumar los rellenos de Cerro Colorado y Arauco-Curanilahue calculando previamente la eficiencia de captura.

J316: Este modelo de motor requiere un caudal de 420 m^3/hr para generar una potencia eléctrica de 851 kW. Corresponde a la categoría 2 de segmentación, en la cual se necesita un mínimo de 10 años de operación para que el proyecto sea rentable.

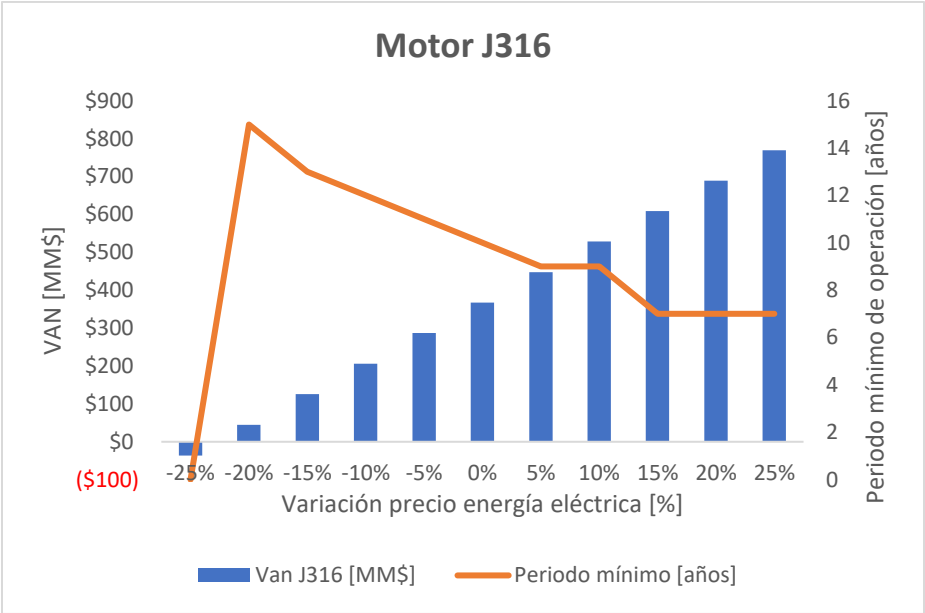


Figura 22 Análisis de sensibilidad precio de energía eléctrica motor J316.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la Figura 22 se observa que sólo una disminución de -25% en el precio de venta de energía eléctrica provoca que el proyecto no sea rentable. Para que algún relleno sanitario se quede fuera de esta categoría se necesita de una variación de -20%, con la cual se ve afectado CTI La Hormiga.

Para que algún relleno se pueda sumar a esta categoría debe aumentar un 5% el precio de venta, lo cual reduce el tiempo mínimo de operación a 9 años y El Chulo junto a Osorno pueden optar a este tramo de potencia.

Turbina a gas: La turbina requiere un mínimo de 2.200 m^3/hr para generar una potencia eléctrica de 3 MW. Corresponde a la categoría 5 de segmentación, en la cual se necesita un mínimo de 6 años de operación para que el proyecto sea rentable.

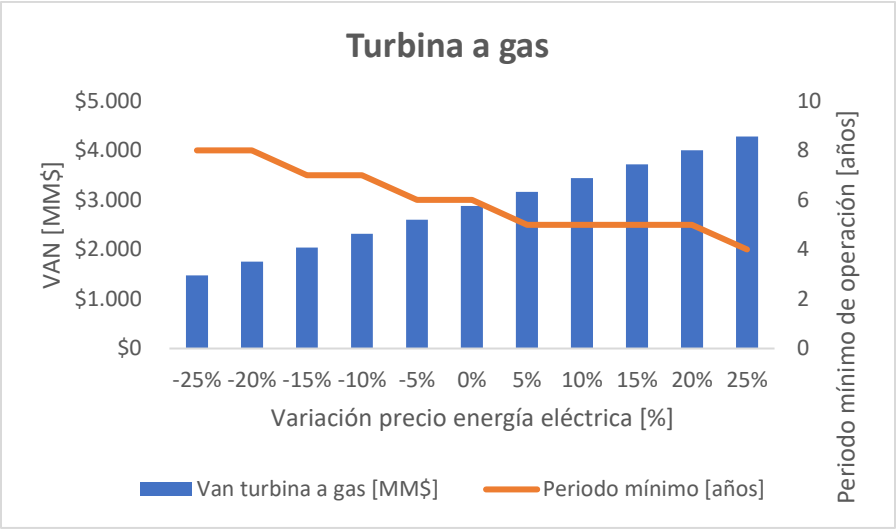


Figura 23 Análisis de sensibilidad precio de energía eléctrica, turbina a gas.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la Figura 23 se observa que el mayor periodo de operación exigido es de 8 años, lo cual no afecta a ninguno de los 2 sitios de la categoría, ya que generan un caudal óptimo durante más tiempo. Ningún otro relleno sanitario se ve favorecido por un aumento del precio de venta, ya que sólo Santiago Poniente y El Retamo logran generar sobre 2.200 m^3/hr.

En la Tabla 55 se resume la cantidad total de proyectos de energía eléctrica a implementar al variar el precio de venta de la energía eléctrica. Mínimas variaciones de esta variable influyen en la consideración o no consideración de 6 rellenos sanitarios.

Tabla 55 Cantidad de proyectos de energía eléctrica al variar precio energía eléctrica.

Variación	**-25%**	**-20%**	**-15%**	**-10%**	**-5%**	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
RRSS < 800 kW	0	0	0	0	0	3	5	7	6	6	6
RRSS > 800 kW	9	11	12	12	12	12	14	14	15	15	15
Cantidad RRSS	**9**	**11**	**12**	**12**	**12**	**15**	**19**	**21**	**21**	**21**	**21**

Fuente: Elaboración propia.

8.5.2. Variación del costo de operación y mantenimiento

Al realizar la sensibilidad del motor J312 para el costo de operación y mantenimiento se observa que, a diferencia de la sensibilidad del precio de la energía eléctrica, el costo O&M necesita variar un 15% para imposibilitar la implementación de proyectos de aprovechamiento eléctrico en esta categoría, representado por el valor 0 en la Figura 24.

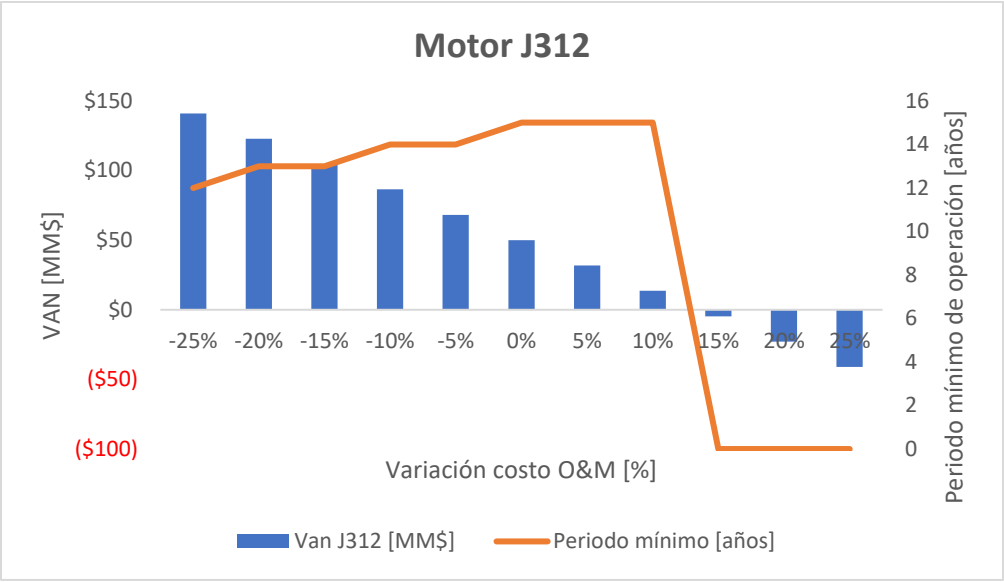


Figura 24 Análisis de sensibilidad costo O&M, motor J312.

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia del precio de venta de energía eléctrica, el costo O&M es menos sensible, y los tiempos mínimos de operación se mantienen más estable al variar este parámetro. Por este motivo, al variar el costo de O&M para el modelo J316 y superiores no se logran valores del VAN negativos, por lo cual estos gráficos no son incluidos en esta sección.

En la Tabla 56 se resume la cantidad total de proyectos de energía eléctrica a implementar al variar el costo de operación y mantenimiento. Se observa que mínimas variaciones de esta variable influyen en la consideración de sólo 2 rellenos, y para alcanzar el máximo de 21 proyectos implementados se debe variar un –25%, a diferencia del 10% en precio de energía.

Tabla 56 Cantidad de proyectos de energía eléctrica al variar costo O&M.

Variación	**-25%**	**-20%**	**-15%**	**-10%**	**-5%**	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
RRSS < 800 kW	7	5	5	4	5	3	3	3	0	0	0
RRSS > 800 kW	14	14	14	14	12	12	12	12	12	12	12
Cantidad RRSS	**21**	**19**	**19**	**18**	**17**	**15**	**15**	**15**	**12**	**12**	**12**

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones y Recomendaciones

A partir de los sitios de disposición final considerados en el catastro, se estima que es factible disponer hasta el año 2034 un potencial de generación de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario de aproximadamente 33 MW de potencia neta media. Implementando centrales en 15 rellenos sanitarios, este potencial representa una valorización de 62% del biogás quemado actualmente por los rellenos.

Esta capacidad instalable representa un aumento del 73% de la potencia eléctrica actual producida por los 4 rellenos sanitarios que valorizan su biogás. En donde, la región más favorecida es la del Maule con una instalación de 9,2 MW de potencia eléctrica.

Si bien a nivel de país no es un gran aumento de la capacidad instalada, con relación a los medios de generación ERNC de biomasa se aumenta en un 7,4% la potencia eléctrica.

En relación con el catastro, de 43 sitios de disposición final operativos o próximos a operar, 28 rellenos sanitarios fueron considerados. En los cuales se deben corregir las proyecciones de ingreso de residuos, al existir una demora entre la presentación del relleno al SEA y su calificación ambiental, sumado a estimaciones sobrestimadas o subestimadas que no consideran la incorporación de otras comunas al servicio de recolección. Al realizar las correcciones la fecha de cierre de estas instalaciones promedia el año 2033.

Con respecto a los modelos de producción de biogás, se empleó el modelo LandGEM con la metodología IPCC para estimar el potencial teórico para la generación de biogás. El biogás generado alcanza su máximo en el año de cierre y continúa produciendo después del cierre.

De este modo, el mejor momento para realizar una evaluación de proyecto de 15 años será entre 8 años y después del cierre del relleno. Sin embargo, como no se puede asegurar una tendencia en disposición y composición de residuos a largo plazo, esperar hasta ese momento puede representar un riesgo por incertidumbre del futuro.

El potencial teórico determina la máxima capacidad a instalar si se pudiese aprovechar todo este biogás y agruparlo en un solo lugar del país. Como esto no es posible, la potencia media neta a instalar será menor que 46 MW (asumiendo una eficiencia eléctrica del 40%).

Al segmentar los rellenos catastrados, se concluye que 17 sitios son capaces de mantener una generación de biogás suficiente durante el periodo mínimo exigido, rentabilizando su operación. Estos representan un 93% del potencial teórico de generación de biogás.

En relación con el potencial factible de biogás, todas las eficiencias de captura estimadas se encuentran dentro del rango aceptado por la EPA. Al aplicar esta restricción técnica del sistema de recolección, el centro de manejo de residuos de Coyhaique deja de ser un sitio factible. Además, un aprovechamiento temprano de Osorno se ve complicado por los cambios de tecnología a realizar durante el proyecto. Se recomienda esperar al año 2025.

Por otro lado, los dos rellenos sanitarios más grandes se mantuvieron en su categoría, siendo los únicos que pueden optar dentro de todas las tecnologías disponibles.

Con respecto al potencial técnico energético, de las tecnologías de aprovechamiento energético, los motores de combustión interna representan la mejor alternativa para los rellenos sanitarios segmentados debido a su alta eficiencia.

Para finalizar, el potencial económico implementable representa una capacidad del 94,5% del potencial técnico energético, debido a que la alternativa tecnológica que genera mayor energía eléctrica no necesariamente será la mejor opción económica. Esto indica que además de maximizar la generación, se debe buscar minimizar los costos de inversión y de O&M.

Frente a un aumento de los precios de la energía eléctrica en los mercados nacionales, el potencial económico implementable también lo hará, alcanzando un máximo con 21 rellenos sanitarios potenciales. Por el contrario, cuando los precios de la energía disminuyan, este número puede reducirse hasta sólo 9 rellenos sanitarios aprovechables.

La variación del costo de operación y mantenimiento también influye en el número de sitios aprovechables, sin embargo, esta variable es menos sensible que el precio de venta de la electricidad, por lo que el escenario más bajo queda determinado por la última variable.

Se recomienda mejorar y continuar con la declaración de residuos en el SINADER, y para aprovechar esta información la creación de un modelo chileno de biogás. Además, para mejorar los indicadores económicos, estudiar el ingreso de estos proyectos al mecanismo de desarrollo limpio con el fin de obtener ingresos por venta de certificados de carbono.

Referencias

Agromet. Red Agrometeorológica de INIA [en línea] <http://agromet.inia.cl/estaciones.php> [consulta: 28 abril 2019].

Alexander, A., Burklin, C. E., & Singleton, A. (2005). *Landfill gas emissions model (LandGEM) version 3.02 user's guide*. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.

Aranda, S., & Palma, F. (s.f.). Costos Variables No Combustibles de Plantas Termoeléctricas. Recuperado de: http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno15/termo/Informe.pdf

Blanco, G., Santalla, E., Córdoba, V., & Levy, A. (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico. Banco Interamericano de Desarrollo.

Broward County. (2017). *Planned and Corrective Maintenance Agreement.* Recuperado de: http://cragenda.broward.org/docs/2016/CCCM/20160607_499/22164_Exhibit%202%20-%20Agreement.pdf

CEMPRE Uruguay. (1998). Manual de gestión integral de residuos sólidos urbanos. Recuperado de: http://www.cempre.org.uy/

City of Palm Springs. (2015). *Cogeneration Long-term Maintenance Agreement.* Recuperado de: http://www.ci.palm-springs.ca.us/home/showdocument?id=33458

CNE (2019). Fijación de precios de nudo de corto plazo. Informe Técnico Definitivo (enero 2019). Recuperado de: https://www.cne.cl/tarificacion/electrica/precio-nudo-promedio/fijaciones-2019/

Colmenares, W., & Santos, K. (2007). Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. Recuperado de: http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario

CONAMA. (2006). Estudio Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Región Metropolitana. Recuperado de: http://www.santiagorecicla.cl/wp-content/uploads/2016/04/infor_residuos_conama2011.pdf

Des Participants, L. (2001). Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. *Order*. P. 421.

D.S. N° 189. Diario Oficial de la República, Santiago, 05 de enero de 2008.

Eggleston, S., Buendia, L., & Miwa, K. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero [recurso electrónico]: orientación general y generación de informes.

FINNING CAT. Generación de potencia eléctrica [en línea] <https://www.finning.com/es_CL/products/new/power-systems/electric-power-generation.html> [consultado: 11 junio 2019]

Generadoras de Chile. (2019). Boletín del Mercado Eléctrico Sector Generación (abril 2019). Recuperado de: http://generadoras.cl/documentos/boletines

GE Power. (2018). *Major Overhaul GenSet*. Recuperado de: https://www.innio.com/en/services/jenbacher/overhaul-program

INNIO. (2019). *Jenbacher type 4*. Recuperado de: https://www.innio.com/en/products/jenbacher/type-4

LÓPEZ Arriaza, Daniel Álvaro. Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios. Tesis (Ing. Civil Mecánico). Santiago. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2016.

MINENERGIA/GIZ. (2012). Guía de planificación para Proyectos de Biogás en Chile. Recuperado de: http://www.minenergia.cl/biogaslechero/?p=156

O'leary, P. R., Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). Handbook of solid waste management. *Landfilling. New York: McGraw-Hill*.

Palma, R., Jiménez, G., & Alarcón, I. (2009). Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno. Publicado por Comisión Nacional de Energía (CNE) y *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)*.

Roos, C. J. (2010). *RELCOST Financial User's Manual*. Washington State University Extension Energy Program.

RETC. Residuos (Disposición fuera de sitio) [en línea] <https://datosretc.mma.gob.cl/group/residuos> [consulta: 9 abril 2019].

Gas Turbine Association. (2004). *Comments on routine maintenance, repair and replacement.* Recuperado de: https://www.gasturbine.org/papers/GTA%20Comments%20on%20RMRR.pdf

Stege, G. A., & Davila, J. L. (2009). Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0. *Washington DC.*

SUBDERE. (2018). DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN POR COMUNA Y POR REGIÓN EN MATERIA DE RSD Y ASIMILABLES. Recuperado de: http://www.subdere.gov.cl/documentacion/diagnóstico-y-catastro-de-rsd-ño-2017

TASUI ltda. (2003). E.I.A. Proyecto Ampliación de la Operación Relleno Sanitario El Panul, Coquimbo, IV Región, Chile. Recuperado de: http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=6247

Terraza, H., & Willumsen, H. (2010). *Guidance Note on Landfill Gas Capture and Utilization*. Banco Interamericano de Desarrollo.

U.S. EPA. (2012). *International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects*. Recuperado de: https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_IBPGcomplete.pdf

U.S. EPA. (2017). *Landfill Gas to Energy Project Development Handbook*. Recuperado de: https://www.epa.gov/lmop/landfill-gas-energy-project-development-handbook

U.S. EPA. LMOP (2017). *Landfill Gas Energy Cost Model Version 3.2.* Recuperado de: https://www.epa.gov/lmop/lfgcost-web-landfill-gas-energy-cost-model

U.S. EPA. LMOP. Project and Landfill Data by State [en línea] <https://www.epa.gov/lmop/project-and-landfill-data-state> [consulta: 3 junio 2019]

Anexo A

Proyecciones de ingreso de residuos en los rellenos sanitarios.

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Cerro Colorado.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2017	64.200	**57.740**	0	87.884	0
2018	64.200	57.740	57.740	87.884	87.884
2019	64.200	57.740	115.480	87.884	175.769
2020	64.200	57.740	173.220	87.884	263.653
2021	64.200	57.740	230.960	87.884	351.537
2022	64.200	57.740	288.700	87.884	439.422
2023	64.200	57.740	346.440	87.884	527.306
2024	64.200	57.740	404.180	87.884	615.190
2025	64.200	57.740	461.920	87.884	703.075
2026	64.200	57.740	519.660	87.884	790.959
2027	0	57.740	577.400	87.884	878.843
2028	0	6.860	635.140	10.442	966.728
2029	0	0	642.000	0	977.169

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Cerro Colorado [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2131330759> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Quebrada Ancha.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2015	12.067	**14.243**	0	15.826	0
2016	11.790	**14.623**	14.243	16.248	15.826
2017	11.577	**13.194**	28.866	14.660	32.073
2018	11.393	12.984	42.060	14.427	46.733
2019	11.144	12.701	55.044	14.112	61.160
2020	10.897	12.419	67.745	13.799	75.272
2021	10.708	12.204	80.164	13.560	89.071
2022	10.561	12.036	92.367	13.373	102.631
2023	10.481	11.945	104.404	13.272	116.004
2024	10.369	11.817	116.348	13.130	129.276
2025	10.278	11.714	128.166	13.015	142.406
2026	10.197	11.621	139.879	12.913	155.421

2027	10.126	11.540	151.501	12.823	168.334
2028	10.070	11.477	163.041	12.752	181.157
2029	10.024	11.424	174.517	12.693	193.908
2030	9.984	11.379	185.941	12.643	206.602
2031	9.948	11.337	197.320	12.597	219.244
2032	9.915	11.300	208.657	12.555	231.842
2033	9.882	11.262	219.957	12.514	244.397
2034	9.849	11.225	231.220	12.472	256.911
2035	9.817	11.188	242.445	12.431	269.383
2036	9.784	11.151	253.633	12.390	281.814
2037	9.752	11.114	264.784	12.349	294.204
2038	9.720	11.078	275.898	12.308	306.554
2039	9.688	11.041	286.976	12.268	318.862
2040	0	0	298.017	12.227	331.130

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Quebrada Ancha [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=3437977> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en CTI Chaqueta Blanca.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2020	273.706	**197.427**	0	179.479	0
2021	283.846	204.741	197.427	186.128	179.479
2022	294.400	212.354	402.168	193.049	365.607
2023	305.388	220.279	614.521	200.254	558.655
2024	316.829	228.532	834.800	207.756	758.909
2025	328.743	237.125	1.063.332	215.569	966.665
2026	341.150	246.075	1.300.457	223.704	1.182.234
2027	354.073	255.396	1.546.532	232.178	1.405.938
2028	367.534	265.106	1.801.928	241.005	1.638.117
2029	381.557	275.221	2.067.034	250.201	1.879.122
2030	396.168	285.760	2.342.255	259.782	2.129.323
2031	411.222	296.618	2.628.015	269.653	2.389.104
2032	426.849	307.890	2.924.633	279.900	2.658.757
2033	443.069	319.590	3.232.523	290.536	2.938.657
2034	459.906	331.735	3.552.113	301.577	3.229.194
2035	477.382	344.340	3.883.847	313.036	3.530.770
2036	495.523	357.425	4.228.188	324.932	3.843.807
2037	514.352	371.007	4.585.613	337.279	4.168.739
2038	533.898	385.105	4.956.620	350.096	4.506.018
2039	554.186	399.740	5.341.725	363.400	4.856.114

2040	0	0	5.741.465	0	5.219.514

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. CTI Chaqueta Blanca [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2130787324> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario SPA.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2020	5.960	**42.879**	0	77.962	0
2021	6.185	46.003	42.879	83.642	77.962
2022	6.418	49.354	88.882	89.735	161.604
2023	6.661	35.295	138.236	64.173	251.339
2024	6.913	0	173.531	0	315.512
2025	7.175	0	173.531	0	315.512
2026	7.447	0	173.531	0	315.512
2027	7.730	0	173.531	0	315.512
2028	8.024	0	173.531	0	315.512
2029	8.329	0	173.531	0	315.512
2030	8.646	0	173.531	0	315.512
2031	8.975	0	173.531	0	315.512
2032	9.317	0	173.531	0	315.512
2033	9.673	0	173.531	0	315.512
2034	10.041	0	173.531	0	315.512
2035	10.422	0	173.531	0	315.512
2036	10.818	0	173.531	0	315.512
2037	11.229	0	173.531	0	315.512
2038	11.656	0	173.531	0	315.512
2039	12.099	0	173.531	0	315.512
2040	0	0	173.531	0	315.512

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario SPA [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2129475019> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Mejillones.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2020	12.227	**9.565**	0	10.627	0
2021	12.733	9.960	9.565	11.067	10.627
2022	13.238	10.355	19.525	11.506	21.695
2023	13.766	10.769	29.880	11.965	33.200
2024	14.320	11.202	40.649	12.446	45.166

2025	14.896	11.652	51.851	12.947	57.612
2026	15.523	12.143	63.503	13.492	70.559
2027	16.154	12.636	75.645	14.040	84.051
2028	16.813	13.152	88.282	14.613	98.091
2029	17.502	13.691	101.433	15.212	112.704
2030	18.223	14.255	115.124	15.839	127.916
2031	18.977	14.845	129.379	16.494	143.755
2032	19.765	15.461	144.224	17.179	160.249
2033	20.588	16.105	159.685	17.894	177.428
2034	21.452	16.780	175.790	18.645	195.322
2035	22.353	17.486	192.570	19.428	213.967
2036	23.292	18.220	210.056	20.244	233.395
2037	24.270	18.985	228.276	21.095	253.640
2038	25.290	19.783	247.261	21.981	274.734
2039	26.352	20.613	267.043	22.904	296.715
2040	27.459	21.479	287.657	23.866	319.619
2041	28.612	22.381	309.136	24.868	343.484
2042	29.814	23.321	331.517	25.913	368.353
2043	31.066	9.472	354.839	10.524	394.265
2044	32.371	0	364.311	0	404.790
2045	0	0	364.311	0	404.790

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario de Mejillones [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=4010626> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario El Chulo.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2008	41.975	42.595	0	70.991	0
2009	43.827	44.474	42.595	74.124	70.991
2010	45.750	46.426	87.069	77.376	145.115
2011	47.747	48.452	133.495	80.753	222.491
2012	49.820	50.556	181.947	84.260	303.245
2013	51.972	52.739	232.502	87.899	387.504
2014	54.205	55.005	285.242	91.676	475.403
2015	56.522	57.357	340.247	95.594	567.079
2016	58.925	59.795	397.604	99.659	662.674
2017	61.419	**62.326**	457.399	103.877	762.332
2018	64.005	64.950	519.725	108.250	866.209
2019	66.686	67.671	584.675	112.785	974.459

2020	69.466	70.492	652.346	117.486	1.087.244
2021	72.349	73.417	722.838	122.362	1.204.730
2022	75.336	76.449	796.256	127.414	1.327.093
2023	78.432	79.590	872.704	132.650	1.454.507
2024	81.640	82.846	952.294	138.076	1.587.157
2025	84.964	86.219	1.035.140	143.698	1.725.233
2026	88.408	89.714	1.121.359	149.523	1.868.931
2027	91.975	93.333	1.211.072	155.555	2.018.454
2028	95.669	97.082	1.304.405	161.803	2.174.009
2029	99.495	100.964	1.401.487	168.274	2.335.812
2030	103.456	104.984	1.502.451	174.973	2.504.086
2031	107.557	109.145	1.607.435	181.909	2.679.059
2032	111.802	113.453	1.716.581	189.088	2.860.968
2033	116.197	117.913	1.830.034	196.522	3.050.056
2034	120.744	122.527	1.947.947	204.212	3.246.578
2035	125.451	127.304	2.070.474	212.173	3.450.789
2036	130.218	46.687	2.197.777	77.811	3.662.962
2037	135.166	0	2.244.464	0	3.740.773
2038	0	0	2.244.464	0	3.740.773

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario El Chulo [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=1224855> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Provincial del Huasco.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2014	21.473	22.597	0	37.662	0
2015	21.716	22.853	22.597	38.088	37.662
2016	21.964	23.114	45.450	38.523	75.750
2017	22.215	**23.378**	68.564	38.963	114.273
2018	22.471	23.647	91.942	39.412	153.236
2019	22.730	23.920	115.589	39.867	192.649
2020	22.994	24.198	139.509	40.330	232.515
2021	23.262	24.480	163.707	40.800	272.845
2022	23.535	24.767	188.187	41.279	313.645
2023	23.812	25.059	212.954	41.764	354.923
2024	24.094	25.355	238.013	42.259	396.688
2025	24.381	25.657	263.368	42.762	438.947
2026	24.672	25.964	289.025	43.273	481.709
2027	24.968	26.275	314.989	43.792	524.982

2028	25.269	26.592	341.264	44.320	568.773
2029	25.575	26.914	367.856	44.857	613.093
2030	25.886	27.241	394.770	45.402	657.950
2031	26.202	27.574	422.011	45.956	703.352
2032	26.521	27.910	449.585	46.517	749.308
2033	26.845	7.057	477.494	11.762	795.824
2034	0	0	484.552	0	807.586

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Provincial del Huasco [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=4743861> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Cerro Montevideo.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2015	17.124	11.479	0	16.399	0
2016	17.490	11.725	11.479	16.749	16.399
2017	17.865	**11.976**	23.204	17.109	33.148
2018	18.250	12.234	35.180	17.477	50.257
2019	18.645	12.499	47.414	17.856	67.734
2020	19.050	12.770	59.913	18.243	85.590
2021	19.465	13.049	72.683	18.641	103.833
2022	19.891	13.334	85.732	19.049	122.474
2023	20.327	13.626	99.066	19.466	141.523
2024	20.775	13.927	112.692	19.895	160.989
2025	21.235	14.235	126.619	20.336	180.884
2026	21.707	14.552	140.854	20.788	201.220
2027	22.191	14.876	155.406	21.251	222.008
2028	22.687	15.208	170.282	21.726	243.260
2029	23.197	15.550	185.490	22.215	264.986
2030	23.707	15.892	201.041	22.704	287.201
2031	24.229	16.242	216.933	23.203	309.904
2032	24.762	16.599	233.175	23.713	333.107
2033	25.307	16.965	249.775	24.235	356.821
2034	25.863	17.338	266.739	24.768	381.056
2035	0	0	284.077	0	405.824

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Cerro Montevideo [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=4214141> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario El Panul

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2004	158.615	123.976	0	103.313	0
2005	165.117	129.058	123.976	107.548	103.313
2006	171.620	134.141	253.034	111.784	210.861
2007	178.122	139.223	387.175	116.019	322.645
2008	184.624	144.305	526.397	120.254	438.664
2009	191.126	149.387	670.702	124.489	558.919
2010	197.628	154.469	820.089	128.724	683.408
2011	204.131	159.552	974.558	132.960	812.132
2012	210.633	164.634	1.134.110	137.195	945.092
2013	217.135	169.716	1.298.744	141.430	1.082.287
2014	223.637	**172.060**	1.468.460	143.383	1.223.717
2015	230.139	179.880	1.640.520	149.900	1.367.100
2016	236.641	**187.142**	1.820.400	155.951	1.517.000
2017	243.144	**190.045**	2.007.542	158.371	1.672.952
2018	0	195.127	2.197.587	162.606	1.831.322
2019	0	200.209	2.392.714	166.841	1.993.928
2020	0	205.291	2.592.923	171.076	2.160.769
2021	0	87.055	2.798.214	72.546	2.331.845
2022	0	0	2.885.269	0	2.404.391

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario El Panul [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=6247> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en CTI La Hormiga.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2014	108.000	73.472	0	91.840	0
2015	110.160	74.942	73.472	93.677	91.840
2016	112.363	76.440	148.414	95.550	185.517
2017	114.610	**77.969**	224.854	97.461	281.068
2018	116.903	79.529	302.823	99.411	378.529
2019	119.241	81.119	382.352	101.399	477.940
2020	121.626	82.742	463.472	103.427	579.340
2021	124.058	84.396	546.214	105.496	682.767
2022	126.539	86.084	630.610	107.605	788.263

2023	129.070	87.806	716.694	109.758	895.868
2024	131.651	89.562	804.500	111.952	1.005.626
2025	134.284	91.353	894.062	114.191	1.117.578
2026	136.970	93.180	985.416	116.476	1.231.770
2027	139.710	95.044	1.078.596	118.806	1.348.245
2028	142.504	96.945	1.173.641	121.182	1.467.051
2029	145.354	98.884	1.270.586	123.605	1.588.232
2030	148.261	100.862	1.369.470	126.077	1.711.837
2031	151.226	102.879	1.470.332	128.599	1.837.915
2032	154.251	104.937	1.573.210	131.171	1.966.513
2033	157.336	107.035	1.678.147	133.794	2.097.684
2034	0	0	1.785.183	0	2.231.478

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. CTI La Hormiga [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2904946> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario San Pedro

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2017	180.000	**172.905**	0	192.117	0
2018	185.400	178.092	172.905	197.880	192.117
2019	190.962	183.435	350.997	203.817	389.997
2020	196.691	188.938	534.432	209.931	593.813
2021	202.592	194.606	723.370	216.229	803.745
2022	208.669	200.444	917.977	222.716	1.019.974
2023	214.929	206.457	1.118.421	229.397	1.242.690
2024	221.377	212.651	1.324.878	236.279	1.472.086
2025	228.019	219.031	1.537.529	243.368	1.708.365
2026	234.859	225.602	1.756.560	250.668	1.951.733
2027	241.905	232.370	1.982.162	258.189	2.202.402
2028	249.162	239.341	2.214.532	265.934	2.460.591
2029	256.637	246.521	2.453.873	273.912	2.726.525
2030	264.336	253.917	2.700.394	282.130	3.000.438
2031	272.266	261.534	2.954.311	290.594	3.282.567
2032	280.434	269.380	3.215.845	299.311	3.573.161
2033	288.847	277.462	3.485.225	308.291	3.872.472
2034	297.513	285.786	3.762.687	317.540	4.180.763
2035	306.468	294.388	4.048.473	327.098	4.498.303
2036	315.631	303.190	4.342.861	336.878	4.825.401
2037	0	0	4.646.051	0	5.162.278

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario San Pedro [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2131667565> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Santiago Poniente.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2002	540.000	230.800	0	256.444	0
2003	558.900	238.878	230.800	265.420	256.444
2004	578.462	247.239	469.678	274.710	521.864
2005	598.708	255.892	716.916	284.324	796.574
2006	619.662	264.848	972.808	294.275	1.080.898
2007	641.351	274.118	1.237.656	304.575	1.375.174
2008	663.798	283.712	1.511.774	315.235	1.679.749
2009	687.031	293.642	1.795.486	326.269	1.994.984
2010	711.077	303.919	2.089.128	337.688	2.321.253
2011	735.965	314.557	2.393.047	349.507	2.658.941
2012	761.723	325.566	2.707.604	361.740	3.008.449
2013	788.384	336.961	3.033.170	374.401	3.370.188
2014	815.977	348.754	3.370.130	387.505	3.744.589
2015	844.536	360.961	3.718.885	401.067	4.132.094
2016	874.095	373.594	4.079.845	415.105	4.533.161
2017	904.688	**386.670**	4.453.440	429.633	4.948.266
2018	936.352	400.203	4.840.110	444.670	5.377.900
2019	969.125	414.211	5.240.313	460.234	5.822.570
2020	1.003.044	428.708	5.654.524	476.342	6.282.804
2021	1.038.151	443.713	6.083.232	493.014	6.759.147
2022	1.074.486	459.243	6.526.945	510.270	7.252.161
2023	1.112.093	475.316	6.986.188	528.129	7.762.431
2024	1.151.016	491.952	7.461.504	546.614	8.290.560
2025	1.191.302	509.171	7.953.456	565.745	8.837.174
2026	1.232.997	526.992	8.462.627	585.546	9.402.919
2027	1.276.152	545.436	8.989.619	606.040	9.988.465
2028	1.320.818	564.527	9.535.055	627.252	10.594.506
2029	1.367.046	584.285	10.099.582	649.206	11.221.758
2030	1.414.893	604.735	10.683.867	671.928	11.870.963
2031	1.464.414	625.901	11.288.602	695.445	12.542.891
2032	0	647.807	11.914.503	719.786	13.238.337
2033	0	0	12.562.311	0	13.958.123

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Santiago Poniente [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=3869> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Las Quilas.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2004	8.030	10.897	0	21.793	0
2005	8.148	11.986	10.897	23.973	21.793
2006	8.274	13.185	22.883	26.370	45.766
2007	8.392	14.503	36.068	29.007	72.135
2008	8.509	15.954	50.571	31.907	101.142
2009	8.636	17.549	66.525	35.098	133.050
2010	8.753	19.304	84.074	38.608	168.148
2011	8.852	21.234	103.378	42.469	206.756
2012	8.970	23.358	124.612	46.716	249.224
2013	9.096	25.694	147.970	51.387	295.940
2014	9.214	28.263	173.664	56.526	347.327
2015	9.331	31.089	201.927	62.179	403.853
2016	9.458	34.198	233.016	68.396	466.032
2017	9.590	37.618	267.214	75.236	534.428
2018	9.725	0	304.832	0	609.664
2019	9.861	0	304.832	0	609.664
2020	9.999	0	304.832	0	609.664
2021	10.139	0	304.832	0	609.664
2022	10.281	0	304.832	0	609.664
2023	10.425	0	304.832	0	609.664
2024	10.571	0	304.832	0	609.664
2025	10.719	0	304.832	0	609.664
2026	10.869	0	304.832	0	609.664
2027	11.021	0	304.832	0	609.664
2028	11.175	0	304.832	0	609.664
2029	11.332	0	304.832	0	609.664
2030	11.490	0	304.832	0	609.664
2031	11.651	0	304.832	0	609.664
2032	11.814	0	304.832	0	609.664
2033	11.980	0	304.832	0	609.664

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Las Quilas [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=36004> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Colihues La Yesca.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
1999	92.500	71.317	0	89.146	0
2000	94.699	76.309	71.317	95.386	89.146
2001	96.951	81.651	147.626	102.063	184.532
2002	99.256	87.366	229.276	109.208	286.596
2003	101.615	93.482	316.643	116.852	395.803
2004	104.031	100.026	410.124	125.032	512.655
2005	106.505	107.027	510.150	133.784	637.687
2006	109.037	114.519	617.177	143.149	771.472
2007	111.629	122.536	731.696	153.169	914.621
2008	114.283	131.113	854.232	163.891	1.067.790
2009	117.000	140.291	985.345	175.364	1.231.681
2010	119.782	150.111	1.125.636	187.639	1.407.045
2011	122.629	160.619	1.275.747	200.774	1.594.684
2012	125.545	171.862	1.436.366	214.828	1.795.458
2013	128.530	183.893	1.608.229	229.866	2.010.286
2014	131.585	196.765	1.792.122	245.957	2.240.152
2015	134.714	210.539	1.988.887	263.174	2.486.109
2016	137.917	225.277	2.199.426	281.596	2.749.283
2017	141.196	**241.046**	2.424.703	301.308	3.030.878
2018	144.552	257.919	2.665.749	322.399	3.332.186
2019	0	0	2.923.668	0	3.654.585

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Colihues La Yesca [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=15> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario El Retamo.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2002	112.007	156.787	0	195.984	0
2003	113.687	159.139	156.787	198.924	195.984
2004	115.393	161.527	315.926	201.909	394.908
2005	117.124	163.950	477.453	204.938	596.817
2006	118.880	166.408	641.403	208.010	801.754
2007	120.664	168.905	807.811	211.132	1.009.764
2008	122.474	171.439	976.717	214.299	1.220.896
2009	124.311	174.010	1.148.156	217.513	1.435.195

2010	126.175	176.620	1.322.166	220.775	1.652.708
2011	128.068	179.269	1.498.786	224.087	1.873.482
2012	130.629	182.854	1.678.055	228.568	2.097.569
2013	133.242	186.512	1.860.909	233.140	2.326.137
2014	135.907	190.242	2.047.421	237.803	2.559.277
2015	138.625	194.047	2.237.664	242.559	2.797.080
2016	141.397	197.927	2.431.711	247.409	3.039.639
2017	144.225	**201.886**	2.629.638	252.358	3.287.048
2018	147.110	205.924	2.831.524	257.406	3.539.406
2019	150.052	210.043	3.037.449	262.553	3.796.811
2020	153.053	214.243	3.247.492	267.804	4.059.364
2021	156.114	218.528	3.461.735	273.160	4.327.169
2022	160.017	223.992	3.680.263	279.990	4.600.329
2023	164.017	229.591	3.904.255	286.989	4.880.318
2024	168.118	235.331	4.133.846	294.164	5.167.307
2025	172.321	241.215	4.369.177	301.518	5.461.471
2026	176.629	247.245	4.610.392	309.056	5.762.990
2027	181.045	253.427	4.857.637	316.783	6.072.046
2028	185.571	259.762	5.111.063	324.703	6.388.829
2029	190.210	266.256	5.370.826	332.820	6.713.532
2030	194.965	272.912	5.637.081	341.140	7.046.352
2031	199.839	279.734	5.909.993	349.668	7.387.491
2032	205.835	288.128	6.189.727	360.160	7.737.159
2033	212.010	185.032	6.477.855	231.290	8.097.319
2034	218.370	0	6.662.887	0	8.328.609

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario El Retamo [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=3298> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Parque El Guanaco.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2002	78.295	92.972	0	116.215	0
2003	79.025	93.839	92.972	117.299	116.215
2004	79.745	94.694	186.811	118.368	233.514
2005	80.473	95.559	281.505	119.448	351.882
2006	81.264	96.498	377.064	120.622	471.330
2007	82.076	97.462	473.562	121.828	591.952
2008	82.897	98.437	571.024	123.046	713.780
2009	83.726	99.421	669.461	124.277	836.826

2010	84.563	100.415	768.882	125.519	961.103
2011	85.409	101.420	869.298	126.775	1.086.622
2012	86.690	102.941	970.717	128.676	1.213.397
2013	87.990	104.485	1.073.658	130.606	1.342.073
2014	89.310	106.052	1.178.143	132.565	1.472.679
2015	90.650	107.643	1.284.195	134.554	1.605.244
2016	92.010	109.258	1.391.839	136.573	1.739.798
2017	93.390	**110.897**	1.501.097	138.621	1.876.371
2018	94.791	112.561	1.611.994	140.701	2.014.992
2019	96.212	114.248	1.724.555	142.810	2.155.693
2020	97.656	115.963	1.838.803	144.953	2.298.503
2021	99.120	117.701	1.954.765	147.126	2.443.457
2022	101.103	120.056	2.072.467	150.070	2.590.583
2023	103.125	122.457	2.192.522	153.071	2.740.653
2024	105.187	124.905	2.314.979	156.132	2.893.724
2025	107.291	127.404	2.439.885	159.255	3.049.856
2026	109.437	129.952	2.567.289	162.440	3.209.111
2027	111.628	132.554	2.697.241	165.692	3.371.551
2028	113.858	135.202	2.829.795	169.002	3.537.244
2029	116.135	137.906	2.964.997	172.382	3.706.246
2030	118.458	140.664	3.102.903	175.830	3.878.628
2031	120.827	143.477	3.243.567	179.347	4.054.459
2032	123.244	146.347	3.387.044	182.934	4.233.805
2033	125.709	149.275	3.533.392	186.593	4.416.740
2034	128.223	152.260	**3.682.666**	190.325	4.603.333

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Parque El Guanaco [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=3552> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en CTI Eco Maule.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2005	42.480	28.301	0	31.445	0
2006	59.760	39.813	28.301	44.237	31.445
2007	74.400	49.567	68.114	55.074	75.682
2008	76.632	51.054	117.681	56.726	130.756
2009	78.931	52.585	168.734	58.428	187.482
2010	81.299	54.163	221.319	60.181	245.910
2011	83.738	55.788	275.482	61.986	306.091
2012	86.250	57.461	331.270	63.846	368.077

2013	88.837	59.185	388.731	65.761	431.923
2014	91.503	60.961	447.915	67.734	497.684
2015	94.248	62.790	508.876	69.766	565.418
2016	97.075	**64.667**	571.666	71.852	635.184
2017	99.987	**66.613**	636.333	74.014	707.036
2018	102.987	68.612	702.946	76.235	781.051
2019	106.077	70.670	771.557	78.523	857.286
2020	109.259	72.790	842.228	80.878	935.809
2021	112.537	74.974	915.018	83.304	1.016.686
2022	115.913	77.223	989.992	85.804	1.099.991
2023	119.390	79.540	1.067.215	88.377	1.185.794
2024	122.972	81.926	1.146.755	91.029	1.274.172
2025	0	84.384	1.228.681	93.760	1.365.201
2026	0	86.915	1.313.064	96.573	1.458.960
2027	0	89.523	1.399.980	99.470	1.555.533
2028	0	92.208	1.489.502	102.454	1.655.003
2029	0	94.975	1.581.711	105.527	1.757.456
2030	0	97.824	1.676.685	108.693	1.862.984
2031	0	72.185	1.774.509	80.205	1.971.677
2032	0	0	1.846.694	0	2.051.883

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. CTI Eco Maule [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=6272> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario San Roque.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2012	22.540	21.844	0	53.278	0
2013	23.667	22.936	21.844	55.942	53.278
2014	24.850	24.083	44.780	58.739	109.220
2015	26.093	25.287	68.863	61.676	167.958
2016	27.397	26.551	94.150	64.760	229.634
2017	28.767	**27.879**	120.701	67.998	294.394
2018	30.206	29.273	148.580	71.397	362.391
2019	31.716	30.737	177.853	74.967	433.789
2020	33.302	32.273	208.590	78.716	508.756
2021	34.967	33.887	240.863	82.651	587.472
2022	36.715	35.581	274.751	86.784	670.123
2023	38.551	37.361	310.332	91.123	756.907
2024	40.478	39.229	347.693	95.679	848.031

2025	42.502	41.190	386.921	100.463	943.710
2026	44.627	43.249	428.111	105.487	1.044.173
2027	46.859	45.412	471.361	110.761	1.149.660
2028	49.202	47.683	516.772	116.299	1.260.421
2029	51.662	50.067	564.455	122.114	1.376.720
2030	54.245	52.570	614.522	128.220	1.498.833
2031	56.957	55.199	667.092	134.631	1.627.053
2032	59.805	57.958	722.290	141.362	1.761.684
2033	62.795	60.856	780.249	148.430	1.903.046
2034	65.935	63.899	841.105	155.852	2.051.476

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario San Roque [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=4330315> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Fundo Las Cruces.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2002	127.308	103.829	0	129.786	0
2003	131.127	106.944	103.829	133.680	129.786
2004	135.061	110.152	210.773	137.690	263.466
2005	139.113	113.457	320.925	141.821	401.156
2006	143.286	116.860	434.382	146.076	542.977
2007	147.585	120.366	551.242	150.458	689.053
2008	152.012	123.977	671.609	154.972	839.511
2009	156.573	127.697	795.586	159.621	994.482
2010	161.270	131.527	923.282	164.409	1.154.103
2011	166.108	135.473	1.054.810	169.342	1.318.512
2012	171.091	139.538	1.190.283	174.422	1.487.854
2013	176.224	143.724	1.329.821	179.655	1.662.276
2014	181.511	148.035	1.473.544	185.044	1.841.930
2015	186.956	152.476	1.621.580	190.596	2.026.975
2016	189.760	154.764	1.774.056	193.454	2.217.570
2017	192.607	**157.085**	1.928.820	196.356	2.411.025
2018	195.496	159.441	2.085.905	199.302	2.607.381
2019	198.428	161.833	2.245.346	202.291	2.806.682
2020	201.405	164.260	2.407.179	205.325	3.008.974
2021	204.426	166.724	2.571.439	208.405	3.214.299
2022	207.492	169.225	2.738.164	211.531	3.422.704
2023	210.605	171.764	2.907.389	214.704	3.634.236
2024	213.764	174.340	3.079.152	217.925	3.848.940

2025	216.970	176.955	3.253.492	221.194	4.066.865
2026	218.055	177.840	3.430.447	222.300	4.288.059
2027	219.145	178.729	3.608.287	223.411	4.510.359
2028	220.241	179.623	3.787.016	224.528	4.733.770
2029	221.342	180.521	3.966.639	225.651	4.958.299
2030	222.449	181.423	4.147.160	226.779	5.183.950
2031	223.561	56.119	4.328.583	70.149	5.410.729
2032	0	0	4.384.702	0	5.480.878

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Fundo Las Cruces [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2109> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Los Ángeles.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2002	44.106	60.540	0	75.675	0
2003	45.378	62.286	60.540	77.858	75.675
2004	46.679	64.072	122.826	80.090	153.533
2005	48.008	65.896	186.898	82.370	233.622
2006	49.330	67.711	252.794	84.638	315.992
2007	50.681	69.565	320.504	86.956	400.630
2008	52.062	71.460	390.069	89.326	487.587
2009	53.473	73.397	461.530	91.747	576.912
2010	54.916	75.378	534.927	94.222	668.659
2011	56.367	77.370	610.305	96.712	762.881
2012	57.851	79.406	687.674	99.258	859.593
2013	59.366	81.486	767.081	101.857	958.851
2014	60.913	83.609	848.567	104.512	1.060.709
2015	62.493	85.778	932.176	107.223	1.165.220
2016	64.113	88.002	1.017.955	110.002	1.272.443
2017	65.766	**220.629**	1.105.956	275.786	1.382.445
2018	67.455	226.295	1.326.585	282.869	1.658.232
2019	69.180	232.082	1.552.880	290.103	1.941.101
2020	70.941	237.990	1.784.963	297.487	2.231.203
2021	72.783	244.169	2.022.952	305.212	2.528.691
2022	74.663	250.476	2.267.122	313.095	2.833.902
2023	76.584	151.389	2.517.598	189.236	3.146.998
2024	78.546	0	2.668.987	0	3.336.234

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Los Ángeles [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=5261> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Copiulemu.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2002	100.000	88.046	0	117.395	0
2003	100.000	90.247	88.046	120.330	117.395
2004	100.000	92.504	178.294	123.338	237.725
2005	100.000	94.816	270.797	126.422	361.063
2006	100.000	97.187	365.613	129.582	487.484
2007	100.000	99.616	462.800	132.822	617.067
2008	100.000	102.107	562.416	136.142	749.888
2009	100.000	104.659	664.523	139.546	886.030
2010	100.000	107.276	769.182	143.034	1.025.576
2011	100.000	109.958	876.458	146.610	1.168.610
2012	100.000	112.707	986.416	150.275	1.315.221
2013	100.000	115.524	1.099.122	154.032	1.465.496
2014	100.000	**118.412**	1.214.646	157.883	1.619.529
2015	100.000	**116.464**	1.333.059	155.285	1.777.412
2016	100.000	**121.972**	1.449.522	162.630	1.932.696
2017	100.000	**127.371**	1.571.495	169.828	2.095.326
2018	100.000	69.864	1.698.866	93.152	2.265.154
2019	100.000	0	1.768.730	0	2.358.306
2020	100.000	0	1.768.730	0	2.358.306
2021	0	0	1.768.730	0	2.358.306

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Copiulemu [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2336> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2015	33.000	**18.755**	0	18.755	0
2016	33.000	**19.784**	18.755	19.784	18.755
2017	33.000	**22.137**	38.538	22.137	38.538
2018	33.000	24.041	60.675	24.041	60.675
2019	33.000	26.109	84.717	26.109	84.717
2020	33.000	28.354	110.825	28.354	110.825
2021	33.000	30.792	139.179	30.792	139.179
2022	33.000	33.441	169.972	33.441	169.972

2023	33.000	36.317	203.412	36.317	203.412
2024	33.000	39.440	239.729	39.440	239.729
2025	33.000	42.832	279.169	42.832	279.169
2026	33.000	46.515	322.000	46.515	322.000
2027	33.000	50.515	368.516	50.515	368.516
2028	33.000	54.860	419.031	54.860	419.031
2029	33.000	59.578	473.891	59.578	473.891
2030	33.000	64.701	533.468	64.701	533.468
2031	33.000	61.830	598.170	61.830	598.170
2032	33.000	0	660.000	0	660.000
2033	33.000	0	660.000	0	660.000
2034	33.000	0	660.000	0	660.000
2035	0	0	660.000	0	660.000

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=5603> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario de Villarrica.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2000	9.620	18.115	0	18.115	0
2001	9.887	18.618	18.115	18.618	18.115
2002	10.162	19.136	36.733	19.136	36.733
2003	10.444	19.667	55.869	19.667	55.869
2004	10.733	20.211	75.535	20.211	75.535
2005	11.031	20.772	95.746	20.772	95.746
2006	11.337	21.348	116.518	21.348	116.518
2007	11.652	21.941	137.866	21.941	137.866
2008	11.975	22.550	159.808	22.550	159.808
2009	12.307	23.175	182.357	23.175	182.357
2010	12.649	23.819	205.532	23.819	205.532
2011	13.000	24.480	229.351	24.480	229.351
2012	13.260	24.969	253.831	24.969	253.831
2013	13.525	25.468	278.800	25.468	278.800
2014	13.796	25.979	304.269	25.979	304.269
2015	14.072	26.498	330.247	26.498	330.247
2016	14.353	27.027	356.746	27.027	356.746
2017	14.640	**27.568**	383.773	27.568	383.773
2018	14.933	28.120	411.341	28.120	411.341
2019	15.232	28.683	439.461	28.683	439.461
2020	15.536	6.774	468.144	6.774	468.144
2021	15.847	0	474.918	0	474.918
2022	16.164	0	474.918	0	474.918
2023	16.487	0	474.918	0	474.918
2024	16.817	0	474.918	0	474.918
2025	17.153	0	474.918	0	474.918
2026	17.496	0	474.918	0	474.918
2027	17.846	0	474.918	0	474.918
2028	18.203	0	474.918	0	474.918
2029	18.567	0	474.918	0	474.918
2030	0	0	474.918	0	474.918

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario de Villarrica [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=6079938> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario La Laja.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2016	130.488	**105.297**	0	125.354	0
2017	133.097	**112.488**	105.297	133.914	125.354
2018	135.759	114.738	217.785	136.593	259.268
2019	138.476	117.034	332.523	139.326	395.861
2020	140.584	118.816	449.557	141.447	535.187
2021	143.396	121.192	568.373	144.277	676.634
2022	146.264	123.616	689.565	147.162	820.911
2023	149.189	126.088	813.181	150.105	968.073
2024	152.174	128.611	939.270	153.108	1.118.178
2025	155.217	131.183	1.067.881	156.171	1.271.286
2026	158.322	133.807	1.199.064	159.294	1.427.457
2027	161.488	136.483	1.332.871	162.480	1.586.751
2028	164.718	139.213	1.469.354	165.729	1.749.231
2029	168.012	141.997	1.608.567	169.044	1.914.960
2030	171.373	144.837	1.750.564	172.425	2.084.005
2031	174.800	147.734	1.895.401	175.873	2.256.430
2032	178.296	150.688	2.043.134	179.391	2.432.303
2033	181.862	153.702	2.193.823	182.979	2.611.694
2034	185.499	156.776	2.347.525	186.638	2.794.673
2035	189.209	159.912	2.504.301	190.371	2.981.311
2036	0	0	2.664.213	0	3.171.682

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario La Laja [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=3160942> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en relleno sanitario de Osorno.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2020	92.091	**134.193**	0	159.753	0
2021	93.933	136.877	134.193	162.949	159.753
2022	95.811	139.614	271.070	166.208	322.702
2023	97.728	142.407	410.684	169.532	488.910
2024	99.682	145.255	553.091	172.922	658.441
2025	101.676	148.160	698.345	176.381	831.364
2026	103.709	151.123	846.505	179.908	1.007.744

2027	105.784	154.146	997.628	183.507	1.187.653
2028	107.899	157.228	1.151.774	187.177	1.371.159
2029	110.057	160.373	1.309.002	190.920	1.558.336
2030	112.258	163.580	1.469.375	194.739	1.749.256
2031	114.504	166.852	1.632.956	198.633	1.943.995
2032	116.794	83.759	1.799.808	99.713	2.142.628
2033	119.130	0	1.883.566	0	2.242.341
2034	121.512	0	1.883.566	0	2.242.341
2035	123.942	0	1.883.566	0	2.242.341
2036	126.421	0	1.883.566	0	2.242.341
2037	128.950	0	1.883.566	0	2.242.341
2038	131.529	0	1.883.566	0	2.242.341
2039	134.159	0	1.883.566	0	2.242.341
2040		0	1.883.566	0	2.242.341

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Relleno Sanitario de Osorno [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=3675668> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en Centro de manejo de RSD de Coyhaique.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2010	17.452	17.264	0	21.580	0
2011	17.661	17.471	17.264	21.839	21.580
2012	17.873	17.681	34.736	22.101	43.420
2013	18.088	17.893	52.417	22.367	65.521
2014	18.305	**18.108**	70.310	22.635	87.888
2015	18.525	**19.417**	88.418	24.271	110.523
2016	18.747	**21.285**	107.835	26.606	134.794
2017	18.972	**27.200**	129.120	34.000	161.400
2018	19.199	27.526	156.320	34.408	195.400
2019	19.430	27.857	183.847	34.821	229.808
2020	19.663	28.191	211.703	35.239	264.629
2021	19.899	28.529	239.894	35.662	299.868
2022	20.138	28.872	268.424	36.090	335.529
2023	20.379	29.218	297.295	36.523	371.619
2024	20.624	29.569	326.513	36.961	408.142
2025	20.871	29.924	356.082	37.404	445.102
2026	21.122	30.283	386.006	37.853	482.507
2027	21.375	30.646	416.288	38.308	520.360
2028	21.632	31.014	446.934	38.767	558.668
2029	21.891	31.386	477.948	39.232	597.435

2030	22.154	31.763	509.334	39.703	636.667
2031	22.420	32.144	541.096	40.180	676.371
2032	22.689	19.487	573.240	24.359	716.550
2033	22.961	0	592.727	0	740.909
2034	23.237	0	592.727	0	740.909
2035	23.516	0	592.727	0	740.909
2036	23.798	0	592.727	0	740.909
2037	24.083	0	592.727	0	740.909
2038	24.372	0	592.727	0	740.909
2039	24.665	0	592.727	0	740.909
2040	0	0	592.727	0	740.909

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Centro de Manejo de RSD de Coyhaique [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=6223> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en Centro de manejo de RSD Islas Las Huichas.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2020	16.927	**14.752**	0	21.074	0
2021	17.435	15.194	14.752	21.706	21.074
2022	17.958	15.650	29.946	22.357	42.780
2023	18.497	16.120	45.596	23.028	65.138
2024	19.051	16.603	61.716	23.719	88.166
2025	19.623	17.101	78.319	24.431	111.885
2026	20.212	17.614	95.421	25.163	136.315
2027	20.818	18.143	113.035	25.918	161.479
2028	21.443	18.687	131.178	26.696	187.397
2029	22.086	19.248	149.865	27.497	214.093
2030	22.748	19.825	169.113	28.322	241.590
2031	23.431	20.420	188.938	29.171	269.912
2032	24.134	21.033	209.358	30.047	299.083
2033	24.858	21.664	230.391	30.948	329.130
2034	25.604	22.313	252.054	31.876	360.078
2035	26.372	22.983	274.368	32.833	391.954
2036	27.163	23.672	297.351	33.818	424.787
2037	27.978	24.383	321.023	34.832	458.604
2038	28.817	13.909	345.405	19.870	493.436
2039	29.682	0	359.314	0	513.306
2040	30.572	0	359.314	0	513.306
2041	0	0	359.314	0	513.306

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Centro de Manejo de RSD Islas Las Huichas [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=4403265> [consultado: 14 enero 2019]

Proyección de ingreso de residuos en Centro de manejo de RSD de Natales.

Año	RSD DIA/EIA [Ton/Año]	RSD Corregido [Ton/Año]	RSD Acumulado [Ton]	Volumen [m3/año]	Volumen Acumulado [m3]
2020	13.425	**45.511**	0	68.956	0
2021	13.515	45.816	45.511	69.418	68.956
2022	13.605	46.123	91.326	69.883	138.373
2023	13.697	46.432	137.449	70.351	208.256
2024	13.788	46.743	183.880	70.822	278.606
2025	13.881	38.579	230.623	58.453	349.429
2026	13.974	0	269.202	0	407.882
2027	14.067	0	269.202	0	407.882
2028	14.162	0	269.202	0	407.882
2029	14.257	0	269.202	0	407.882
2030	14.352	0	269.202	0	407.882
2031	14.448	0	269.202	0	407.882
2032	14.545	0	269.202	0	407.882
2033	14.642	0	269.202	0	407.882
2034	14.741	0	269.202	0	407.882
2035	14.839	0	269.202	0	407.882
2036	14.939	0	269.202	0	407.882
2037	15.039	0	269.202	0	407.882
2038	15.140	0	269.202	0	407.882
2039	15.241	0	269.202	0	407.882
2040	0	0	269.202	0	407.882

Fuente: Elaboración propia a partir de: SEIA. Centro de Manejo de RSD de Natales [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2800483> [consultado: 14 enero 2019]

Anexo B

Factibilidad de tecnologías para el cálculo del potencial técnico energético.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario Santiago Poniente.

	Periodo	**1**	**2**	**3**	**6**	**7**	**9**	**10**	**15**		
	Año	**2020**	**2021**	**2022**	**2025**	**2026**	**2028**	**2029**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	2.448	2.603	2.761	3.256	3.428	3.785	3.970	4.972	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	1	1	2	2	2	2	2	3	698.018	6.696
J616	1.205	2	2	2	3	3	3	3	4	797.020	8.028
CG260-12	963	2	3	3	3	3	4	4	5	783.677	8.096
J612	905	3	3	3	**3**	**4**	4	4	6	**802.962**	7.988
CG170-20	749	3	3	4	4	5	5	5	7	798.211	8.000
J420	725	3	**3**	**4**	**4**	**5**	**5**	**6**	7	**847.950**	9.360
J416	569	4	5	5	6	6	7	7	9	832.359	8.414
J320	524	5	5	5	6	7	8	8	10	818.323	8.536
J412	428	6	6	7	8	8	9	10	12	0	0
J316	420	6	6	7	8	9	10	10	13	0	0
J412	360	7	8	8	10	10	11	12	15	0	0
CG132B-16	298	9	9	10	12	12	14	14	18	0	0
J312	263	10	11	11	13	14	16	16	21	0	0
CG132B-12	225	12	12	13	16	16	18	19	24	0	0
CG132B-8	150	18	19	20	24	25	28	29	36	0	0
J208	128	21	22	23	28	29	32	34	43	0	0

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Debido a la gran cantidad de motores pequeños se descartan las opciones bajo 800 kW.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario El Retamo.

	Periodo	**1**	**3**	**4**	**7**	**8**	**11**	**15**		
	Año	**2020**	**2022**	**2023**	**2026**	**2027**	**2030**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	2.024	2.219	2.317	2.613	2.714	3.022	3.776	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	1	1	1	1	2	2	2	573.372	6.696
J616	1.205	1	2	2	2	2	2	3	557.914	5.352
CG260-12	963	2	2	2	3	3	3	4	587.757	6.072
J612	905	2	2	2	3	3	3	4	594.786	5.991
CG170-20	749	3	3	3	**3**	**4**	4	5	**631.421**	6.400
J420	725	3	3	3	4	4	4	5	627.251	6.240
J416	569	3	4	4	5	5	5	7	608.606	6.010
J320	524	4	4	4	5	5	6	8	611.756	6.402
J412	428	5	**5**	**6**	**6**	**7**	7	9	**637.340**	6.307
J316	420	5	5	6	6	7	7	9	601.972	5.957
J412	360	6	6	7	8	8	9	11	0	0
CG132B-16	298	7	8	8	9	10	11	14	0	0
J312	263	8	9	9	11	11	12	15	0	0
CG132B-12	225	10	10	11	12	13	14	18	0	0
CG132B-8	150	14	16	17	19	20	22	27	0	0
J208	128	17	19	20	22	23	26	32	0	0

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Debido a la gran cantidad de motores pequeños se descartan las opciones bajo 800 kW.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario Fundo Las Cruces.

	Periodo	**1**	**2**	**3**	**5**	**11**	**15**		
	Año	**2020**	**2021**	**2022**	**2024**	**2030**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	1.199	1.256	1.312	1.422	1.718	1.733	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	1	1	1	299.150	3.348
J616	1.205	1	1	1	1	1	1	298.882	2.676
CG260-12	963	1	1	1	1	1	1	226.061	2.024
J612	905	1	1	1	1	2	2	312.263	3.994
CG170-20	749	1	1	1	2	2	2	321.667	3.200
J420	725	1	**1**	**2**	2	2	2	**325.241**	3.120
J416	569	2	2	2	2	3	3	340.103	3.606
J320	524	2	2	2	3	3	3	325.740	3.201
J412	428	3	3	3	3	4	4	355.569	3.604
J316	420	3	3	3	3	4	4	342.173	3.404
J412	360	3	3	4	4	5	5	323.469	2.996
CG132B-16	298	4	4	4	5	6	6	343.112	3.200
J312	263	5	5	5	6	7	7	350.915	3.288
CG132B-12	225	5	6	**6**	**7**	8	8	**357.408**	3.360
CG132B-8	150	8	9	9	10	12	12	250.186	2.240
J208	128	10	10	11	12	14	15	194.676	1.743

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario El Panul.

	Periodo	**1**	**5**	**9**	**10**	**14**	**15**		
	Año	**2020**	**2024**	**2028**	**2029**	**2033**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	951	1.083	959	931	825	800	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	0	0	0
J616	1.205	0	0	0	0	0	0	0	0
CG260-12	963	1	1	1	1	0	0	180.848	2.024
J612	905	1	1	1	1	**1**	**0**	**208.175**	1.997
CG170-20	749	1	1	1	1	1	1	178.704	1.600
J420	725	1	1	1	1	1	1	174.236	1.560
J416	569	1	2	1	1	1	1	134.251	1.202
J320	524	2	2	2	1	1	1	190.677	2.134
J412	428	2	2	2	2	2	2	201.265	1.802
J316	420	2	2	2	2	2	2	190.096	1.702
J412	360	2	3	2	2	2	2	167.312	1.498
CG132B-16	298	3	4	3	3	3	2	209.679	1.920
J312	263	4	4	4	3	3	3	183.618	1.644
CG132B-12	225	4	5	4	4	4	3	210.871	1.920
CG132B-8	150	7	8	**7**	**6**	6	5	**212.062**	1.920
J208	128	8	9	8	8	7	6	192.822	1.743

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario Colihues La Yesca.

	Periodo	**1**	**3**	**7**	**8**	**11**	**15**		
	Año	**2020**	**2022**	**2026**	**2027**	**2030**	**2034**		
Modelo	**Biogás [m3/hr]**	1.462	1.355	1.165	1.122	1.001	860	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	1	0	0	0	0	0	0	0
J616	1.205	1	1	1	1	0	0	0	0
CG260-12	963	1	1	1	1	1	0	210.990	2.024
J612	905	1	1	1	1	1	1	223.045	1.997
CG170-20	749	2	2	1	1	1	1	178.704	1.600
J420	725	2	2	1	1	1	1	174.236	1.560
J416	569	2	2	2	2	1	1	223.752	2.404
J320	524	3	2	2	2	2	1	214.512	2.134
J412	428	3	3	**3**	**2**	2	2	**248.227**	2.703
J316	420	3	3	3	2	2	2	234.452	2.553
J412	360	4	4	3	3	3	2	228.659	2.247
CG132B-16	298	5	5	4	4	3	3	214.445	1.920
J312	263	6	5	4	4	4	3	232.583	2.192
CG132B-12	225	7	6	5	5	4	4	214.445	1.920
CG132B-8	150	10	10	8	8	7	6	243.037	2.240
J208	128	12	11	10	9	8	7	194.676	1.743

En rojo alternativa de potencial técnico y potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario La Laja.

	Periodo	**1**	**3**	**4**	**8**	**9**	**14**	**15**		
	Año	**2020**	**2022**	**2023**	**2027**	**2028**	**2033**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	520	728	822	1.146	1.217	1.529	1.585	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	1	1	0	0
J616	1.205	0	0	0	1	1	1	1	0	0
CG260-12	963	0	0	0	1	1	1	1	165.778	2.024
J612	905	0	0	1	1	1	1	1	178.436	1.997
CG170-20	749	0	1	1	1	1	2	2	154.877	1.600
J420	725	0	1	1	1	1	2	2	151.005	1.560
J416	569	1	1	1	2	2	2	3	214.802	2.404
J320	524	1	1	1	2	2	3	3	198.622	2.134
J412	428	1	**1**	**2**	**2**	**3**	**3**	**4**	**228.101**	2.703
J316	420	1	1	2	3	3	4	4	221.779	2.553
J412	360	1	2	2	3	3	4	4	156.158	1.498
CG132B-16	298	1	2	3	4	4	5	5	195.383	1.920
J312	263	2	3	3	4	5	6	6	175.458	1.644
CG132B-12	225	2	3	4	5	6	7	7	200.148	1.920
CG132B-8	150	3	5	6	8	9	11	11	200.148	1.920
J208	128	4	6	7	9	10	13	13	183.551	1.743

En rojo alternativa de potencial técnico y potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario Parque El Guanaco.

	Periodo	**1**	**4**	**5**	**8**	**9**	**12**	**15**		
	Año	**2020**	**2023**	**2024**	**2027**	**2028**	**2031**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	867	989	1.029	1.151	1.192	1.315	1.440	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	0	1	0	0
J616	1.205	0	0	0	1	1	1	1	179.329	2.676
CG260-12	963	1	1	1	1	1	1	1	226.061	2.024
J612	905	1	1	1	1	1	1	1	223.045	1.997
CG170-20	749	1	1	1	1	1	1	2	178.704	1.600
J420	725	1	1	1	1	1	2	2	174.236	1.560
J416	569	1	1	2	2	2	2	2	232.702	2.404
J320	524	1	2	2	2	2	2	3	222.457	2.134
J412	428	2	2	2	**2**	**3**	3	3	**248.227**	2.703
J316	420	2	2	2	3	3	3	3	240.789	2.553
J412	360	2	3	3	3	3	4	4	234.236	2.247
CG132B-16	298	3	3	3	4	4	4	5	214.445	1.920
J312	263	3	4	4	4	5	5	6	236.664	2.192
CG132B-12	225	4	**4**	**5**	5	5	6	7	**253.760**	2.400
CG132B-8	150	6	7	7	8	8	9	10	245.420	2.240
J208	128	7	8	8	9	10	11	12	194.676	1.743

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario San Pedro.

	Periodo	**1**	**2**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**15**		
	Año	**2020**	**2021**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	388	514	761	884	1.005	1.126	1.246	1.366	1.486	2.088	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
J616	1.205	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	179.329	2.676
CG260-12	963	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	165.778	2.024
J612	905	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	163.566	1.997
CG170-20	749	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	226.358	3.200
J420	725	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	220.699	3.120
J416	569	0	1	1	1	1	2	2	2	2	4	205.852	2.404
J320	524	**0**	**1**	1	**1**	**2**	2	2	**2**	**3**	4	**238.346**	3.201
J412	428	1	1	**1**	**2**	2	**2**	**3**	3	3	5	**228.101**	2.703
J316	420	1	1	2	2	2	2	3	3	3	5	221.779	2.553
J412	360	1	1	2	2	3	3	3	4	4	6	150.580	1.498
CG132B-16	298	1	1	2	3	3	4	4	5	5	7	185.852	1.920
J312	263	1	2	3	3	4	4	5	5	6	8	167.297	1.644
CG132B-12	225	1	2	3	4	4	5	6	6	7	10	189.426	1.920
CG132B-8	150	2	3	5	6	7	8	9	10	10	15	190.618	1.920
J208	128	3	4	6	7	8	9	10	11	12	18	176.135	1.743

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario Copiulemu.

	Periodo	**1**	**5**	**8**	**9**	**12**	**13**	**15**		
	Año	**2020**	**2024**	**2027**	**2028**	**2031**	**2032**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	1.082	883	758	720	618	587	530	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J616	1.205	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CG260-12	963	1	1	0	0	0	0	0	0	0
J612	905	1	1	0	0	0	0	0	0	0
CG170-20	749	1	1	1	1	0	0	0	119.136	1.600
J420	725	1	1	1	1	0	0	0	116.158	1.560
J416	569	2	1	1	1	1	1	1	134.251	1.202
J320	524	2	1	1	1	1	1	1	119.173	1.067
J412	428	2	2	1	1	1	1	1	147.595	1.802
J316	420	2	2	**2**	**1**	1	1	1	**145.741**	1.702
J412	360	3	2	2	2	1	1	1	145.003	1.498
CG132B-16	298	4	3	2	2	2	2	1	138.198	1.280
J312	263	4	3	3	3	2	2	2	122.412	1.096
CG132B-12	225	5	4	3	3	**3**	**2**	2	**150.111**	1.440
CG132B-8	150	8	6	5	5	4	4	3	140.580	1.280
J208	128	9	7	6	6	5	5	4	135.346	1.245

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario CTI La Hormiga.

	Periodo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**9**	**10**	**15**		
	Año	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2028**	**2029**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	325	374	423	471	518	698	742	1.072	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J616	1.205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CG260-12	963	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
J612	905	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
CG170-20	749	0	0	0	0	0	1	1	1	**0**	0
J420	725	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
J416	569	0	0	0	0	1	1	1	2	98.451	1.202
J320	524	0	0	0	0	1	1	1	2	87.394	1.067
J412	428	0	**0**	**1**	1	1	1	1	2	**87.215**	901
J316	420	0	0	1	1	1	1	1	2	82.375	851
J412	360	1	1	1	1	1	2	2	3	83.656	749
CG132B-16	298	1	1	1	1	1	2	2	3	71.482	640
J312	263	1	1	1	**1**	**2**	2	3	4	**106.091**	1.096
CG132B-12	225	1	1	2	2	2	3	3	5	100.074	960
CG132B-8	150	2	2	3	3	3	5	5	7	102.457	960
J208	128	2	3	3	4	4	6	6	9	103.827	996

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario CTI Eco Maule.

	Periodo	**1**	**4**	**5**	**7**	**11**	**12**	**15**		
	Año	**2020**	**2023**	**2024**	**2026**	**2030**	**2031**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	434	527	558	622	756	790	841	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J616	1.205	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CG260-12	963	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J612	905	0	0	0	0	0	0	1	0	0
CG170-20	749	0	0	0	0	1	1	1	0	0
J420	725	0	0	0	0	1	1	1	0	0
J416	569	0	1	1	1	1	1	1	107.401	1.202
J320	524	0	1	1	1	1	1	1	103.283	1.067
J412	428	1	1	1	1	**1**	**2**	2	**100.633**	901
J316	420	1	1	1	1	1	2	2	95.048	851
J412	360	1	1	1	1	2	2	2	83.656	749
CG132B-16	298	1	1	2	2	2	2	3	123.901	1.280
J312	263	1	2	2	2	3	3	3	114.251	1.096
CG132B-12	225	2	2	2	3	3	3	4	107.222	960
CG132B-8	150	3	**3**	**4**	4	5	5	6	**133.432**	1.280
J208	128	3	4	4	5	6	6	7	109.389	996

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario El Chulo.

	Periodo	**1**	**2**	**4**	**6**	**8**	**15**		
	Año	**2020**	**2021**	**2023**	**2025**	**2027**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	248	271	321	373	428	646	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	0	0	0
J616	1.205	0	0	0	0	0	0	0	0
CG260-12	963	0	0	0	0	0	0	0	0
J612	905	0	0	0	0	0	0	0	0
CG170-20	749	0	0	0	0	0	0	0	0
J420	725	0	0	0	0	0	0	0	0
J416	569	0	0	0	0	0	1	0	0
J320	524	0	0	0	0	0	1	0	0
J412	428	0	0	0	0	1	1	0	0
J316	420	0	0	0	0	1	1	0	0
J412	360	0	0	0	1	1	1	0	0
CG132B-16	298	0	1	1	1	1	2	0	0
J312	263	1	1	1	1	1	2	61.206	548
CG132B-12	225	1	1	1	1	2	3	53.611	480
CG132B-8	150	**1**	**2**	2	2	3	4	**69.099**	640
J208	128	2	2	**2**	3	3	5	**76.016**	747

En rojo alternativa de potencial técnico, en azul alternativa de potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario San Roque.

	Periodo	**1**	**3**	**4**	**8**	**9**	**10**	**11**	**15**		
	Año	**2020**	**2022**	**2023**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	165	210	233	332	359	387	415	541	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J616	1.205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CG260-12	963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J612	905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CG170-20	749	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J420	725	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J416	569	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
J320	524	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
J412	428	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
J316	420	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
J412	360	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
CG132B-16	298	0	0	0	1	1	1	1	2	0	0
J312	263	0	0	0	1	1	1	1	2	0	0
CG132B-12	225	0	1	1	1	1	1	2	2	0	0
CG132B-8	150	1	1	1	2	2	**2**	**3**	4	35.741	320
J208	128	1	**1**	**2**	**2**	**3**	3	3	4	**50.059**	498

En rojo alternativa de potencial técnico y potencial económico. Elaboración propia.

Factibilidad de tecnologías Relleno Sanitario Las Quilas.

	Periodo	**1**	**5**	**9**	**13**	**15**		
	Año	**2020**	**2024**	**2028**	**2032**	**2034**		
Modelo	Biogás [m3/hr]	158	208	179	154	143	Generación [MWh]	Potencia Max [kW]
J620	1.507	0	0	0	0	0	0	0
J616	1.205	0	0	0	0	0	0	0
CG260-12	963	0	0	0	0	0	0	0
J612	905	0	0	0	0	0	0	0
CG170-20	749	0	0	0	0	0	0	0
J420	725	0	0	0	0	0	0	0
J416	569	0	0	0	0	0	0	0
J320	524	0	0	0	0	0	0	0
J412	428	0	0	0	0	0	0	0
J316	420	0	0	0	0	0	0	0
J412	360	0	0	0	0	0	0	0
CG132B-16	298	0	0	0	0	0	0	0
J312	263	0	0	0	0	0	0	0
CG132B-12	225	0	1	0	0	0	0	0
CG132B-8	150	1	1	1	1	1	**35.741**	320
J208	128	1	1	1	1	1	27.811	249

En rojo alternativa de potencial técnico y potencial económico. Elaboración propia.

Anexo C

Flujos de caja e indicadores económicos para el cálculo del potencial económico.

Flujo de caja Relleno Sanitario Santiago Poniente.

Periodo	0	1	6	7	8	9	14	15
Año	**2019**	**2020**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2033**	**2034**
Potencia Neta [kW]		5.401	5.991	7.562	7.952	7.988	7.988	7.988
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		40.217	44.609	56.309	59.207	59.479	59.479	59.479
Precio Energía [US$/MWh]		68,215	68,215	68,215	68,215	68,215	68,215	68,215
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.557,24	5.557,24	5.557,24	5.557,24	5.557,24	5.557,24	5.557,24
Ingresos Generación [$]	$ -	$ 1.830	$ 2.030	$ 2.562	$ 2.694	$ 2.707	$ 2.707	$ 2.707
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 234	$ 260	$ 328	$ 345	$ 346	$ 346	$ 346
Ingresos Total [$]	$ -	$ 2.064	$ 2.290	$ 2.890	$ 3.039	$ 3.053	$ 3.053	$ 3.053
Costo O&M [$]	$ -	$ 475	$ 527	$ 665	$ 699	$ 702	$ 702	$ 702
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 1.667	$ -	$ 556	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ 475	$ 527	$ 665	$ 2.366	$ 702	$ 1.258	$ 702
Depreciación [-]	$ -	$ 719	$ 719	$ 893	$ 893	$ 893	$ 173	$ 173
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$ 870	$ 1.044	$ 1.333	$ -219	$ 1.458	$ 1.622	$ 2.177
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 235	$ 282	$ 360	$ -59	$ 394	$ 438	$ 588
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -59	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 235	$ 282	$ 360	$ -	$ 334	$ 438	$ 588
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ 635	$ 762	$ 973	$ -219	$ 1.124	$ 1.184	$ 1.590
Capital de Trabajo	$ 475	$ -	$ 665	$ -	$ -	$ -	$ -	$-1.140
Inversión/Valor Residual	$ 5.862	$ -	$ 1.732	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -694
Flujo Neto	$-6.337	$ 1.354	$ -916	$ 1.866	$ 673	$ 2.016	$ 1.357	$ 3.597

Valores en MM$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**5.467 MM$**
TIR	**20%**

Flujo de caja Relleno Sanitario El Retamo.

Periodo	**0**	**1**	**4**	**7**	**8**	**9**	**11**	**15**
Año	**2019**	**2020**	**2023**	**2026**	**2027**	**2028**	**2030**	**2034**
Potencia Neta [kW]		4.325	4.800	4.800	5.798	6.015	6.400	6.400
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		32.203	35.741	35.741	43.174	44.789	47.654	47.654
Precio Energía [US$/MWh]		64,87	64,87	64,87	64,87	64,87	64,87	64,87
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78
Ingresos Generación [$]	$ -	$1.394	$1.547	$1.547	$1.868	$1.938	$2.062	$2.062
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 180	$ 199	$ 199	$ 241	$ 250	$ 266	$ 266
Ingresos Total [$]	$ -	$1.574	$1.746	$1.746	$2.109	$2.188	$2.328	$2.328
Costo O&M [$]	$ -	$ 380	$ 422	$ 422	$ 510	$ 529	$ 563	$ 563
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ -	**$1.335**	$ -	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ 380	$ 422	$ 422	$1.845	$ 529	$ 563	$ 563
Depreciación [-]	$ -	$ 576	$ 576	$ 576	$ 715	$ 715	$ 139	$ 139
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$ 617	$ 748	$ 748	$ -451	$944	$1.627	$1.627
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 166	$ 202	$ 202	$ -122	$ 255	$ 439	$ 439
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -122	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 166	$ 202	$ 202	$ -	$ 133	$ 439	$ 439
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ 450	$ 546	$ 546	$ -451	$ 811	$1.188	$1.188
Capital de Trabajo	$ 380	$ -	$ -	$ 350	$ -	$ -	$ -	$ -730
Inversión/Valor Residual	**$4.700**	$ -	$ -	**$1.400**	$ -	$ -	$ -	**$ 444**
Flujo Neto	$-5.080	$1.027	$1.122	$ -615	$ 264	$1.526	$1.326	$2.501

Valores en MM$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**3.711 MM$**
TIR	**18%**

Flujo de caja Relleno Sanitario Fundo Las Cruces.

Periodo	0	1	2	3	8	9	10	13	15
Año	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2027**	**2028**	**2029**	**2032**	**2034**
Potencia Neta [kW]		1.560	1.560	2.823	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		11.616	11.616	21.024	23.232	23.232	23.232	23.232	23.232
Precio Energía [US$/MWh]		64,87	64,87	64,87	64,87	64,87	64,87	64,87	64,87
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78
Ingresos Generación [$]	$ -	$502.660	$ 502.660	$ 909.772	$1.005.321	$1.005.321	$1.005.321	$1.005.321	$1.005.321
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 64.828	$ 64.828	$ 117.334	$ 129.657	$ 129.657	$ 129.657	$ 129.657	$ 129.657
Ingresos Total [$]	$ -	$567.489	$ 567.489	$1.027.106	$1.134.978	$1.134.978	$1.134.978	$1.134.978	$1.134.978
Costo O&M [$]	$ -	$137.157	$ 137.157	$ 248.242	$ 274.314	$ 274.314	$ 274.314	$ 274.314	$ 274.314
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 433.968	$ -	$ 433.968	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$137.157	$ 137.157	$ 248.242	$ 708.283	$ 274.314	$ 708.283	$ 274.314	$ 274.314
Depreciación [-]	$ -	$187.324	$ 187.324	$ 322.614	$ 322.614	$ 322.614	$ 322.614	$ -	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$243.007	$ 243.007	$ 456.249	$ 104.081	$ 538.049	$ 104.081	$ 860.663	$ 860.663
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 65.612	$ 65.612	$ 123.187	$ 28.102	$ 145.273	$ 28.102	$ 232.379	$ 232.379
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 65.612	$ 65.612	$ 123.187	$ 28.102	$ 145.273	$ 28.102	$ 232.379	$ 232.379
Utilidad después de Impuesto	$ -	$177.395	$ 177.395	$ 333.062	$ 75.979	$ 392.776	$ 75.979	$ 628.284	$ 628.284
Capital de Trabajo	$ 137.157	$ -	$ 248.242	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -385.400
Inversión/Valor Residual	$1.873.245	$ -	$1.352.899	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 216.984
Flujo Neto	$-2.010.402	$364.720	$-1.236.422	$ 655.676	$ 398.593	$ 715.390	$ 398.593	$ 628.284	$1.230.668

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**1.642 MM$**
TIR	**16%**

Flujo de caja Relleno Sanitario El Panul.

Periodo	0	1	8	9	11	14	15
Año	2019	2020	2027	2028	2030	2033	2034
Potencia Neta [kW]		1.997	1.997	1.997	1.992	1.819	0
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		14.870	14.870	14.870	14.833	13.546	0
Precio Energía [US$/MWh]		69,86	69,86	69,86	69,86	69,86	69,86
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.575,91	5.575,91	5.575,91	5.575,91	5.575,91	5.575,91
Ingresos Generación [$]	$ -	$693.015	$693.015	$693.015	$691.327	$631.333	$ -
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 86.854	$ 86.854	$ 86.854	$ 86.642	$ 79.123	$ -
Ingresos Total [$]	$ -	$779.869	$779.869	$779.869	$777.969	$710.456	$ -
Costo O&M [$]	$ -	$175.579	$175.579	$175.579	$175.151	$159.951	$ -
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$555.535	$ -	$ -	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$175.579	$731.114	$175.579	$175.151	$159.951	$ -
Depreciación [-]	$ -	$239.799	$239.799	$239.799	$ -	$ -	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$364.491	$-191.044	$364.491	$602.818	$550.505	$ -
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 98.413	$ -51.582	$ 98.413	$162.761	$148.636	$ -
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -51.582	$ -	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 98.413	$ -	$ 46.831	$162.761	$148.636	$ -
Utilidad después de Impuesto	$ -	$266.079	$-191.044	$317.660	$440.057	$401.869	$ -
Capital de Trabajo	$ 175.579	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$-175.579
Inversión/Valor Residual	$2.397.994	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$138.884
Flujo Neto	$-2.573.572	$505.878	$ 48.755	$557.460	$440.057	$401.869	$314.462

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**1.247 MM$**
TIR	**16%**

Flujo de caja Relleno Sanitario Colihues La Yesca.

Periodo	0	1	5	7	8	12	15
Año	**2019**	**2020**	**2024**	**2026**	**2027**	**2031**	**2034**
Potencia Neta [kW]		2.703	2.647	2.454	1.802	1.802	1.802
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		20.127	19.709	18.272	13.418	13.418	13.418
Precio Energía [US$/MWh]		66,66	66,66	66,66	66,66	66,66	66,66
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.462,78	5.462,78	5.462,78	5.462,78	5.462,78	5.462,78
Ingresos Generación [$]	$ -	$ 894.967	$876.411	$812.494	$596.645	$596.645	$596.645
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 115.174	$112.786	$104.561	$ 76.783	$ 76.783	$ 76.783
Ingresos Total [$]	$ -	$1.010.141	$989.197	$917.055	$673.427	$673.427	$673.427
Costo O&M [$]	$ -	$ 291.358	$285.317	$264.508	$194.238	$194.238	$194.238
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ -	$501.289	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ 291.358	$285.317	$264.508	$695.527	$194.238	$194.238
Depreciación [-]	$ -	$ 324.576	$324.576	$324.576	$324.576	$ -	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$ 394.208	$379.304	$327.970	$-346.676	$479.189	$479.189
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 106.436	$102.412	$ 88.552	$ -93.603	$129.381	$129.381
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -93.603	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 106.436	$102.412	$ 88.552	$ -	$129.381	$129.381
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ 287.771	$276.892	$239.418	$-346.676	$349.808	$349.808
Capital de Trabajo	$ 291.358	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$-291.358
Inversión/Valor Residual	$2.644.691	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$170.853
Flujo Neto	$-2.936.048	$ 612.347	$601.468	$563.994	$ -22.100	$349.808	$812.018

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**1.337 MM$**
TIR	**16%**

Flujo de caja Relleno Sanitario Los Ángeles.

Periodo	0	1	2	8	9	10	15
Año	**2019**	**2020**	**2021**	**2027**	**2028**	**2029**	**2034**
Potencia Neta [kW]		2.173	2.404	2.404	2.404	2.404	1.202
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		16.178	17.900	17.900	17.900	17.900	8.950
Precio Energía [US$/MWh]		62,667	62,667	62,667	62,667	62,667	62,667
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.229,05	5.229,05	5.229,05	5.229,05	5.229,05	5.229,05
Ingresos Generación [$]	$ -	$676.337	$748.335	$ 748.335	$748.335	$748.335	$ 374.168
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 88.617	$ 98.051	$ 98.051	$ 98.051	$ 98.051	$ 49.025
Ingresos Total [$]	$ -	$764.954	$846.386	$ 846.386	$846.386	$846.386	$ 423.193
Costo O&M [$]	$ -	$234.197	$259.128	$ 259.128	$259.128	$259.128	$ 129.564
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ 668.756	$ -	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$234.197	$259.128	$ 927.885	$259.128	$259.128	$ 129.564
Depreciación [-]	$ -	$288.672	$288.672	$ 288.672	$288.672	$288.672	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$242.085	$298.586	$-370.170	$298.586	$298.586	$ 293.629
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 65.363	$ 80.618	$ -99.946	$ 80.618	$ 80.618	$ 79.280
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -99.946	$ -19.328	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 65.363	$ 80.618	$ -	$ -	$ 61.290	$ 79.280
Utilidad después de Impuesto	$ -	$176.722	$217.968	$-370.170	$298.586	$237.296	$ 214.349
Capital de Trabajo	$ 234.197	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$-234.197
Inversión/Valor Residual	$ 2.485.785	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 125.392
Flujo Neto	$-2.719.982	$465.394	$506.640	$ -81.499	$587.258	$525.967	$ 573.983

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**1.107 MM$**
TIR	**15%**

Flujo de caja Relleno Sanitario La Laja.

Periodo	0	1	3	4	8	9	11	15
Año	**2019**	**2020**	**2022**	**2023**	**2027**	**2028**	**2030**	**2034**
Potencia Neta [kW]		901	901	1.732	1.802	2.563	2.703	2.703
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		6.709	6.709	12.899	13.418	19.086	20.127	20.127
Precio Energía [US$/MWh]		59,058	59,058	59,058	59,058	59,058	59,058	59,058
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.048,49	5.048,49	5.048,49	5.048,49	5.048,49	5.048,49	5.048,49
Ingresos Generación [$]	$ -	$264.315	$264.315	$508.195	$528.630	$751.934	$792.945	$ 792.945
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 35.480	$ 35.480	$ 68.216	$ 70.960	$100.934	$106.439	$ 106.439
Ingresos Total [$]	$ -	$299.795	$299.795	$576.411	$ 599.590	$852.868	$899.385	$ 899.385
Costo O&M [$]	$ -	$ 97.119	$ 97.119	$186.730	$ 194.238	$276.288	$291.358	$ 291.358
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 250.645	$ -	$250.645	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ 97.119	$ 97.119	$186.730	$ 444.883	$276.288	$542.002	$ 291.358
Depreciación [-]	$ -	$108.192	$108.192	$186.330	$ 186.330	$264.469	$156.277	$ 78.139
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$ 94.484	$ 94.484	$203.351	$ -31.624	$312.111	$201.105	$ 529.889
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 25.511	$ 25.511	$ 54.905	$ -8.538	$ 84.270	$ 54.298	$ 143.070
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -8.538	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 25.511	$ 25.511	$ 54.905	$ -	$ 75.731	$ 54.298	$ 143.070
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ 68.973	$ 68.973	$148.446	$ -31.624	$236.379	$146.807	$ 386.819
Capital de Trabajo	$ 97.119	$ -	$186.730	$ -	$ 276.288	$ -	$ -	$ -560.137
Inversión/Valor Residual	$1.081.919	$ -	$781.386	$ -	$781.386	$ -	$ -	$ 234.791
Flujo Neto	$-1.179.038	$177.165	$-790.951	$334.777	$-902.967	$500.848	$303.084	$1.259.886

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**435 MM$**
TIR	**11%**

Flujo de caja Relleno Sanitario Parque El Guanaco.

Periodo	0	1	8	9	10	12	15
Año	**2019**	**2020**	**2027**	**2028**	**2029**	**2031**	**2034**
Potencia Neta [kW]		1.802	1.802	2.510	2.596	2.703	2.703
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		13.418	13.418	18.690	19.331	20.127	20.127
Precio Energía [US$/MWh]		64,87	64,87	64,87	64,87	64,87	64,87
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78
Ingresos Generación [$]	$ -	$ 580.637	$ 580.637	$ 808.779	$ 836.551	$ 870.956	$ 870.956
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 74.885	$ 74.885	$ 104.309	$ 107.890	$ 112.328	$ 112.328
Ingresos Total [$]	$ -	$ 655.522	$ 655.522	$ 913.087	$ 944.441	$ 983.284	$ 983.284
Costo O&M [$]	$ -	$ 194.238	$ 194.238	$ 270.558	$ 279.848	$ 291.358	$ 291.358
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ 501.289	$ -	$ -	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ 194.238	$ 695.527	$ 270.558	$ 279.848	$ 291.358	$ 291.358
Depreciación [-]	$ -	$ 216.384	$ 216.384	$ 294.522	$ 294.522	$ 78.139	$ 78.139
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$ 244.900	$ -256.389	$ 348.007	$ 370.071	$ 613.787	$ 613.787
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 66.123	$ -69.225	$ 93.962	$ 99.919	$ 165.723	$ 165.723
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -69.225	$ -	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 66.123	$ -	$ 24.737	$ 99.919	$ 165.723	$ 165.723
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ 178.777	$ -256.389	$ 323.270	$ 270.152	$ 448.065	$ 448.065
Capital de Trabajo	$ 194.238	$ -	$ 270.558	$ -	$ -	$ -	$ -464.796
Inversión/Valor Residual	$1.863.305	$ -	$ 781.386	$ -	$ -	$ -	$ 140.800
Flujo Neto	$-2.057.543	$ 395.161	$-1.091.949	$ 617.793	$ 564.674	$ 526.203	$ 1.131.799

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**1.058 MM$**
TIR	**16%**

Flujo de caja Relleno Sanitario San Pedro.

Periodo	0	1	4	5	7	8	9	12	15
Año	**2019**	**2020**	**2023**	**2024**	**2026**	**2027**	**2028**	**2031**	**2034**
Potencia Neta [kW]		817	901	1.802	1.802	2.625	2.703	2.703	2.703
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		6.084	6.709	13.418	13.418	19.542	20.127	20.127	20.127
Precio Energía [US$/MWh]		69,11	69,11	69,11	69,11	69,11	69,11	69,11	69,11
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.518,82	5.518,82	5.518,82	5.518,82	5.518,82	5.518,82	5.518,82	5.518,82
Ingresos Generación [$]	$ -	$280.486	$309.285	$618.569	$618.569	$ 900.912	$ 927.854	$ 927.854	$ 927.854
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 35.174	$ 38.785	$ 77.570	$ 77.570	$ 112.977	$ 116.355	$ 116.355	$ 116.355
Ingresos Total [$]	$ -	$315.660	$348.070	$696.139	$696.139	$1.013.889	$1.044.209	$1.044.209	$1.044.209
Costo O&M [$]	$ -	$ 88.076	$ 97.119	$194.238	$194.238	$ 282.898	$ 291.358	$ 291.358	$ 291.358
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 250.645	$ -	$ 250.645	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ 88.076	$ 97.119	$194.238	$194.238	$ 533.542	$ 291.358	$ 542.002	$ 291.358
Depreciación [-]	$ -	$108.192	$108.192	$186.330	$186.330	$ 264.469	$ 264.469	$ 156.277	$ 78.139
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$119.392	$142.759	$315.570	$315.570	$ 215.878	$ 488.382	$ 345.930	$ 674.713
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 32.236	$ 38.545	$ 85.204	$ 85.204	$ 58.287	$ 131.863	$ 93.401	$ 182.172
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 32.236	$ 38.545	$ 85.204	$ 85.204	$ 58.287	$ 131.863	$ 93.401	$ 182.172
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ 87.156	$104.214	$230.366	$230.366	$ 157.591	$ 356.519	$ 252.529	$ 492.540
Capital de Trabajo	$ 88.076	$ -	$194.238	$ -	$533.542	$ -	$ -	$ -	$ 815.857
Inversión/Valor Residual	$1.081.919	$ -	$781.386	$ -	$781.386	$ -	$ -	$ -	$ 187.983
Flujo Neto	$-1.169.995	$195.348	$-763.219	$416.697	$-898.231	$ 422.060	$ 620.988	$ 408.806	$1.574.519

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**908 MM$**
TIR	**15%**

Flujo de caja Relleno Sanitario Copiulemu.

Periodo	0	1	7	8	9	12	15
Año	**2019**	**2020**	**2026**	**2027**	**2028**	**2031**	**2034**
Potencia Neta [kW]		1.702	1.616	1.535	851	851	851
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		12.673	12.030	11.433	6.337	6.337	6.337
Precio Energía [US$/MWh]		62,67	62,67	62,67	62,67	62,67	62,67
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.229,05	5.229,05	5.229,05	5.229,05	5.229,05	5.229,05
Ingresos Generación [$]	$ -	$529.811	$502.914	$477.952	$264.906	$264.906	$264.906
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 69.419	$ 65.895	$ 62.624	$ 34.709	$ 34.709	$ 34.709
Ingresos Total [$]	$ -	$599.230	$568.809	$540.576	$299.615	$299.615	$299.615
Costo O&M [$]	$ -	$183.459	$174.146	$165.502	$ 91.730	$ 91.730	$ 91.730
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$236.735	$ -	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$183.459	$174.146	$402.237	$ 91.730	$ 91.730	$ 91.730
Depreciación [-]	$ -	$204.376	$204.376	$204.376	$204.376	$ -	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$211.395	$190.288	$ -66.037	$ 3.510	$207.885	$207.885
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 57.077	$ 51.378	$ -17.830	$ 948	$ 56.129	$ 56.129
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -17.830	$ -16.882	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 57.077	$ 51.378	$ -	$ -	$ 56.129	$ 56.129
Utilidad después de Impuesto	$ -	$154.318	$138.910	$ -66.037	$ 3.510	$151.756	$151.756
Capital de Trabajo	$ 183.459	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$-183.459
Inversión/Valor Residual	$1.759.903	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -29.592
Flujo Neto	$-1.943.362	$358.694	$343.286	$138.339	$207.885	$151.756	$364.808

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**504 MM$**
TIR	**13%**

Flujo de caja CTI La Hormiga.

Periodo	0	1	2	3	10	12	13	15
Año	2019	2020	2021	2022	2029	2031	2032	2034
Potencia Neta [kW]		0	0	891	901	901	901	901
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		0	0	6.637	6.709	6.709	6.709	6.709
Precio Energía [US$/MWh]		69,11	69,11	69,11	69,11	69,11	69,11	69,11
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.518,82	5.518,82	5.518,82	5.518,82	5.518,82	5.518,82	5.518,82
Ingresos Generación [$]	$ -	$ -	$ -	$305.973	$309.285	$309.285	$309.285	$309.285
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ -	$ -	$ 38.370	$ 38.785	$ 38.785	$ 38.785	$ 38.785
Ingresos Total [$]	$ -	$ -	$ -	$344.343	$348.070	$348.070	$348.070	$348.070
Costo O&M [$]	$ -	$ -	$ -	$ 96.079	$ 97.119	$ 97.119	$ 97.119	$ 97.119
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ -	$250.645	$ -	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ -	$ -	$ 96.079	$347.764	$ 97.119	$ 97.119	$ 97.119
Depreciación [-]	$ -	$ -	$ -	$108.192	$108.192	$108.192	$ -	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$140.072	$-107.886	$142.759	$250.950	$250.950
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ -	$ -	$ 37.819	$ -29.129	$ 38.545	$ 67.757	$ 67.757
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -29.129	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ -	$ -	$ 37.819	$ -	$ 38.545	$ 67.757	$ 67.757
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$102.252	$-107.886	$104.214	$183.194	$183.194
Capital de Trabajo	$ -	$ -	$ 96.079	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -96.079
Inversión/Valor Residual	$ -	$ -	$1.081.919	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 93.992
Flujo Neto	$ -	$ -	$-1.177.998	$210.444	$ 306	$212.406	$183.194	$373.265

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**345 MM$**
TIR	**14%**

Flujo de caja CTI Eco Maule.

Periodo	0	1	8	9	10	11	15
Año	**2019**	**2020**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**	**2034**
Potencia Neta [kW]		901	901	901	901	901	901
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		6.709	6.709	6.709	6.709	6.709	6.709
Precio Energía [US$/MWh]		64,78	64,78	64,78	64,78	64,78	64,78
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.344,85	5.344,85	5.344,85	5.344,85	5.344,85	5.344,85
Ingresos Generación [$]	$ -	$289.929	$289.929	$289.929	$289.929	$289.929	$289.929
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 37.563	$ 37.563	$ 37.563	$ 37.563	$ 37.563	$ 37.563
Ingresos Total [$]	$ -	$327.492	$327.492	$327.492	$327.492	$327.492	$327.492
Costo O&M [$]	$ -	$ 97.119	$ 97.119	$ 97.119	$ 97.119	$ 97.119	$ 97.119
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$250.645	$ -	$ -	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ 97.119	$347.764	$ 97.119	$ 97.119	$ 97.119	$ 97.119
Depreciación [-]	$ -	$108.192	$108.192	$108.192	$108.192	$ -	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$122.181	$-128.464	$122.181	$122.181	$230.373	$230.373
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 32.989	$ -34.685	$ 32.989	$ 32.989	$ 62.201	$ 62.201
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -34.685	$ -1.696	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 32.989	$ -	$ -	$ 31.293	$ 62.201	$ 62.201
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ 89.192	$-128.464	$122.181	$ 90.888	$168.172	$168.172
Capital de Trabajo	$ 97.119	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -97.119
Inversión/Valor Residual	$1.081.919	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 31.331
Flujo Neto	$-1.179.038	$197.384	$ -20.272	$230.373	$199.080	$168.172	$296.622

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**367 MM$**
TIR	**13%**

Flujo de caja Relleno Sanitario El Chulo.

Periodo	0	1	4	8	9	11	15
Año	**2019**	**2020**	**2023**	**2027**	**2028**	**2030**	**2034**
Potencia Neta [kW]		320	640	640	640	640	640
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		2.383	4.765	4.765	4.765	4.765	4.765
Precio Energía [US$/MWh]		68,38	68,38	68,38	68,38	68,38	68,38
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.161,28	5.161,28	5.161,28	5.161,28	5.161,28	5.161,28
Ingresos Generación [$]	$ -	$108.685	$217.371	$217.371	$217.371	$217.371	$217.371
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 12.883	$ 25.765	$ 25.765	$ 25.765	$ 25.765	$ 25.765
Ingresos Total [$]	$ -	$121.568	$243.136	$243.136	$243.136	$243.136	$243.136
Costo O&M [$]	$ -	$ 32.903	$ 65.807	$ 65.807	$ 65.807	$ 65.807	$ 65.807
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ 89.019	$ 89.019	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ 32.903	$ 65.807	$154.826	$154.826	$ 65.807	$ 65.807
Depreciación [-]	$ -	$ 53.369	$ 96.064	$ 96.064	$ 96.064	$ 42.695	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$ 35.296	$ 81.265	$ -7.754	$ -7.754	$134.634	$177.329
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 9.530	$ 21.942	$ -2.094	$ -2.094	$ 36.351	$ 47.879
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -2.094	$ -4.187	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 9.530	$ 21.942	$ -	$ -	$ 36.351	$ 47.879
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ 25.766	$ 59.324	$ -7.754	$ -7.754	$ 98.283	$129.450
Capital de Trabajo	$ 32.903	$ 59.496	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -92.399
Inversión/Valor Residual	$533.688	$426.950	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 33.382
Flujo Neto	$-566.591	$-407.312	$155.387	$ 88.310	$ 88.310	$140.978	$255.232

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**147 MM$**
TIR	**11%**

Flujo de caja Relleno Sanitario San Roque.

Periodo	0	1	3	4	8	9	11	14	15
Año	**2019**	**2020**	**2022**	**2023**	**2027**	**2028**	**2030**	**2033**	**2034**
Potencia Neta [kW]		249	249	454	498	498	498	498	498
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		1.854	1.854	3.379	3.708	3.708	3.708	3.708	3.708
Precio Energía [US$/MWh]		64,87	64,87	64,87	64,87	64,87	64,87	64,87	64,87
Precio Potencia [$/kW/Mes]		5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78	5.327,78
Ingresos Generación [$]	$ -	$80.232	$ 80.232	$146.216	$160.465	$160.465	$160.465	$160.465	$160.465
Ingresos Potencia [$]	$ -	$10.348	$ 10.348	$ 18.858	$ 20.695	$ 20.695	$ 20.695	$ 20.695	$ 20.695
Ingresos Total [$]	$ -	$90.580	$ 90.580	$165.074	$181.160	$181.160	$181.160	$181.160	$181.160
Costo O&M [$]	$ -	$25.603	$ 25.603	$ 46.659	$ 51.206	$ 51.206	$ 51.206	$ 51.206	$ 51.206
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 69.268	$ -	$ 69.268	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$25.603	$ 25.603	$ 46.659	$120.474	$ 51.206	$120.474	$ 51.206	$ 51.206
Depreciación [-]	$ -	$41.528	$ 41.528	$ 74.750	$ 74.750	$ 74.750	$ 33.222	$ -	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$23.449	$ 23.449	$ 43.665	$ -14.064	$ 55.204	$ 27.464	$129.954	$129.954
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 6.331	$ 6.331	$ 11.790	$ -3.797	$ 14.905	$ 7.415	$ 35.088	$ 35.088
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -3.797	$ -	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 6.331	$ 6.331	$ 11.790	$ -	$ 11.108	$ 7.415	$ 35.088	$ 35.088
Utilidad después de Impuesto	$ -	$17.118	$ 17.118	$ 31.876	$ -14.064	$ 44.096	$ 20.049	$ 94.866	$ 94.866
Capital de Trabajo	$ 25.603	$ -	$ 46.659	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -72.262
Inversión/Valor Residual	$415.276	$ -	$332.221	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 43.293
Flujo Neto	$-440.879	$58.646	$-320.234	$106.625	$ 60.686	$118.846	$ 53.271	$ 94.866	$210.421

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**48 MM$**
TIR	**9%**

Flujo de caja Relleno Sanitario Las Quilas.

Periodo	0	1	8	9	11	14	15
Año	**2019**	**2020**	**2027**	**2028**	**2030**	**2033**	**2034**
Potencia Neta [kW]		320	320	320	320	316	305
Factor de Planta [%]		85%	85%	85%	85%	85%	85%
Generación Total [MWh]		2.383	2.383	2.383	2.383	2.356	2.269
Precio Energía [US$/MWh]		65,50	65,50	65,50	65,50	65,50	65,50
Precio Potencia [$/kW/Mes]		4.872,05	4.872,05	4.872,05	4.872,05	4.872,05	4.872,05
Ingresos Generación [$]	$ -	$104.108	$104.108	$104.108	$104.108	$102.923	$ 99.156
Ingresos Potencia [$]	$ -	$ 12.161	$ 12.161	$ 12.161	$ 12.161	$ 12.022	$ 11.582
Ingresos Total [$]	$ -	$116.269	$116.269	$116.269	$116.269	$114.945	$110.738
Costo O&M [$]	$ -	$ 32.903	$ 32.903	$ 32.903	$ 32.903	$ 32.529	$ 31.338
Costo Overhaul [$]	$ -	$ -	$ 89.019	$ -	$ -	$ -	$ -
Costos Total [$]	$ -	$ 32.903	$121.923	$ 32.903	$ 32.903	$ 32.529	$ 31.338
Depreciación [-]	$ -	$ 53.369	$ 53.369	$ 53.369	$ -	$ -	$ -
Utilidad cálculo de Impuesto	$ -	$ 29.997	$ -59.023	$ 29.997	$ 83.365	$ 82.417	$ 79.400
Impuesto a la Renta [27%]	$ -	$ 8.099	$ -15.936	$ 8.099	$ 22.509	$ 22.252	$ 21.438
Remanente de Impuesto	$ -	$ -	$ -15.936	$ -7.837	$ -	$ -	$ -
Impuesto Aplicado	$ -	$ 8.099	$ -	$ -	$ 22.509	$ 22.252	$ 21.438
Utilidad después de Impuesto	$ -	$ 21.898	$ -59.023	$ 29.997	$ 60.857	$ 60.164	$ 57.962
Capital de Trabajo	$ 32.903	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -32.903
Inversión/Valor Residual	$533.688	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 11.127
Flujo Neto	$-566.591	$ 75.266	$ -5.654	$ 83.365	$ 60.857	$ 60.164	$101.993

Valores en M$. Elaboración propia.

VAN [8%]	**26 MM$**
TIR	**9%**