

---

# ***Caso de Inversión Trujillo*** Trujillo, Perú

Febrero 2019

[Status]

# Contenido

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Resumen Ejecutivo .....</b>                                                | <b>6</b>  |
| <b>2. Introducción .....</b>                                                     | <b>7</b>  |
| <b>3. Identificación .....</b>                                                   | <b>8</b>  |
| 3.1. Definición de los Objetivos del Estudio .....                               | 8         |
| 3.2. Diagnóstico General .....                                                   | 8         |
| 3.3. Definición de Área de Estudio.....                                          | 9         |
| 3.3.1. Aspectos Climáticos y Ambientales.....                                    | 10        |
| 3.3.2. Aspectos Económicos Relevantes .....                                      | 10        |
| 3.4. Análisis del Mercado .....                                                  | 11        |
| 3.4.1. Disposición Final de Residuos Sólidos.....                                | 11        |
| 3.4.2. Generación Eléctrica.....                                                 | 13        |
| 3.5. Estado Actual de los Procesos Clave en la Gestión de Residuos Sólidos ..... | 14        |
| 3.5.1. Recolección y Transporte .....                                            | 15        |
| 3.5.2. Disposición Final .....                                                   | 15        |
| 3.6. Definición del Problema.....                                                | 16        |
| <b>4. Formulación.....</b>                                                       | <b>17</b> |
| 4.1. Descripción de la Solución.....                                             | 17        |
| 4.1.1. Descripción del Proyecto Relleno Sanitario .....                          | 19        |
| 4.1.2. Descripción del Proyecto de Generación Eléctrica.....                     | 22        |
| 4.2. Definición del Horizonte de Evaluación del Proyecto .....                   | 23        |
| 4.3. Presupuesto de Inversión Desagregado .....                                  | 24        |
| 4.3.1. Presupuesto del Relleno Sanitario .....                                   | 24        |
| 4.3.2. Presupuesto para Proyecto de Generación de Energía Eléctrica .....        | 25        |
| 4.4. Proyecciones Financieras.....                                               | 27        |
| 4.4.1. Flujo de Caja del Proyecto – Relleno Sanitario.....                       | 27        |
| 4.4.2. Flujo de Caja del Proyecto – Generación de Energía Eléctrica.....         | 32        |
| 4.4.3. Análisis de Sensibilidad.....                                             | 35        |
| 4.5. Identificación y gestión de riesgos del proyecto .....                      | 38        |
| 4.5.1. Riesgos en Construcción .....                                             | 38        |
| 4.5.2. Riesgos en Operación de Relleno Sanitario .....                           | 39        |
| 4.5.3. Riesgos en Operación de Planta de Generación Eléctrica .....              | 39        |
| <b>5. Operación Financiera Sugerida.....</b>                                     | <b>41</b> |
| 5.1. Alternativas de Financiamiento.....                                         | 41        |

|                                                                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.1. Opción 1: Licitación a Empresa Privada para Todo el Proyecto de Relleno Sanitario (Project Finance).                                    | 42        |
| 5.1.2. Opción 2: Obra Pública para la Inversión Inicial y Licitación a Empresa Privada para la de Operación y Ampliación del Relleno Sanitario | 42        |
| 5.2. Monto                                                                                                                                     | 43        |
| 5.3. Plazo                                                                                                                                     | 43        |
| 5.4. Garantías                                                                                                                                 | 44        |
| <b>6. Actores Relevantes</b>                                                                                                                   | <b>45</b> |
| 6.1. Autoridades Locales                                                                                                                       | 46        |
| 6.2. Proveedores Financieros                                                                                                                   | 46        |
| 6.3. Empresas Operadoras de Residuos Sólidos                                                                                                   | 46        |
| 6.4. Ministerios                                                                                                                               | 46        |
| 6.5. Proveedores de Tecnología                                                                                                                 | 47        |
| <b>7. Impacto del Proyecto</b>                                                                                                                 | <b>48</b> |
| 7.1. Impacto Ambiental                                                                                                                         | 48        |
| 7.2. Impacto Social                                                                                                                            | 49        |
| 7.3. Impacto Económico                                                                                                                         | 49        |
| <b>8. Conclusiones</b>                                                                                                                         | <b>51</b> |
| <b>9. Recomendaciones</b>                                                                                                                      | <b>52</b> |
| 9.1. Construcción del Relleno Sanitario                                                                                                        | 52        |
| 9.2. Generación Eléctrica                                                                                                                      | 52        |
| 9.3. Mejorar la Recaudación Fiscal                                                                                                             | 52        |
| 9.4. Mitigar el Riesgo de Mercado                                                                                                              | 52        |
| 9.5. Analizar la Situación de la Limpieza Pública                                                                                              | 53        |
| <b>10. Anexos</b>                                                                                                                              | <b>54</b> |

---

# Índice de Tablas

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla N° 1. Proyección de demanda del relleno sanitario - Provincia de Trujillo              | 12 |
| Tabla N° 2. Herramientas para el cálculo de emisiones de GEI                                 | 22 |
| Tabla N° 3. Estimación de LFG generado en el relleno sanitario                               | 22 |
| Tabla N° 4. Presupuesto Inicial Agregado                                                     | 24 |
| Tabla N° 5. Costos Operativos Anuales en Relleno                                             | 25 |
| Tabla N° 6. Inversiones de Ampliación – Relleno Sanitario                                    | 25 |
| Tabla N° 7. Presupuesto Estimado para Proyecto de Generación de Energía a partir de Biogás   | 26 |
| Tabla N° 8. Inversiones de ampliación – Planta de Generación Eléctrica                       | 26 |
| Tabla N° 9. Costos Operativos y Administrativos en Planta de Generación de Energía Eléctrica | 26 |
| Tabla N° 10. Costos de Mantenimiento Anuales en Planta de Generación de Energía Eléctrica    | 26 |
| Tabla N° 11. Costos Anuales Asociados a la Venta de Energía                                  | 27 |
| Tabla N° 12. Resultados principales – Relleno Sanitario                                      | 27 |
| Tabla N° 13. Principales Supuestos – Flujo de caja del Proyecto – Relleno Sanitario          | 28 |
| Tabla N° 14. Comparación con tarifas de Mercado                                              | 28 |
| Tabla N° 15. Resumen Flujo de Caja Económico – Relleno Sanitario                             | 29 |
| Tabla N° 16. Resumen Flujo de Caja Financiero – Relleno Sanitario                            | 29 |
| Tabla N° 17. Resumen Flujo de Caja Económico – Operación Relleno Sanitario                   | 31 |
| Tabla N° 18. Resumen Flujo de Caja Financiero– Operación Relleno Sanitario                   | 32 |
| Tabla N° 19. Resultados principales – Planta de Generación Eléctrica                         | 32 |
| Tabla N° 20. Principales supuestos – Flujo de caja del Proyecto – Planta de Energía          | 33 |
| Tabla N° 21. Tarifas referenciales de las últimas Subastas RER                               | 33 |
| Tabla N° 22. Resumen Flujo de Caja Económico – Generación de Energía                         | 34 |
| Tabla N° 23. Resumen Flujo de Caja Financiero – Generación de Energía                        | 35 |
| Tabla N° 24. Resumen de Riesgos en Construcción                                              | 38 |
| Tabla N° 25. Resumen de Riesgos en Operación de Relleno Sanitario                            | 39 |
| Tabla N° 26. Resumen de Riesgos en Operación de Planta de Generación Eléctrica               | 39 |
| Tabla N° 27. Estructura de Financiamiento del Relleno Sanitario                              | 43 |
| Tabla N° 28. Estructura de Financiamiento de la Planta de Generación Eléctrica               | 43 |
| Tabla N° 29. Resumen Financiamiento – Relleno Sanitario                                      | 43 |
| Tabla N° 30. Resumen Financiamiento – Planta de Generación Eléctrica                         | 43 |
| Tabla N° 31. Resumen de Actores                                                              | 45 |
| Tabla N° 32. Reducción de emisiones de GEI de ambos proyectos                                | 48 |
| Tabla N° 33. Aporte del Proyecto a Metas de Reducción de Emisiones al 2030                   | 49 |

# Índice de Figuras

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura N° 1. Distritos incluidos en el área de interés del proyecto                       | 9  |
| Figura N° 2. Procesos Para la Gestión de los Residuos Sólidos en la Provincia de Trujillo | 14 |
| Figura N° 3. Quema no controlada de RRSS expuestos                                        | 16 |
| Figura N° 4. Presencia de segregadores informales                                         | 16 |
| Figura N° 5. Ubicación del Nuevo Relleno Sanitario Trujillo                               | 18 |
| Figura N° 6. Flujo General del Proyecto                                                   | 18 |
| Figura N° 7. Etapas de distribución del Relleno Sanitario Trujillo                        | 19 |
| Figura N° 8. Distribución de pozos de captación de biogás Relleno Sanitario Trujillo      | 20 |
| Figura N° 9. Volumen Ocupado de Residuos sólidos                                          | 21 |
| Figura N° 10. Propuesta de Implementación de Proyectos                                    | 23 |
| Figura N° 11. Flujo de Caja Económico – Relleno Sanitario                                 | 29 |
| Figura N° 12. Flujo de Caja Financiero– Relleno Sanitario                                 | 29 |
| Figura N° 13. Flujo de Caja Económico – Operación Relleno Sanitario                       | 31 |
| Figura N° 14. Flujo de Caja Financiero – Operación Relleno Sanitario                      | 32 |
| Figura N° 15. Flujo de Caja Económico – Generación de Energía                             | 34 |
| Figura N° 16. Flujo de Caja Financiero –Generación de Energía                             | 35 |
| Figura N° 17. Resultados del Análisis de Sensibilidad – Relleno Sanitario                 | 35 |
| Figura N° 18. Análisis de Escenarios – Relleno Sanitario                                  | 36 |
| Figura N° 19 Resultados del Análisis de Sensibilidad - Planta de Generación Eléctrica     | 37 |
| Figura N° 20. Análisis de Escenarios – Planta de Generación Eléctrica                     | 37 |
| Figura N° 21. Análisis de Escenarios – Planta de Generación Eléctrica                     | 38 |
| Figura N° 22. Flujo General del Proyecto y Alternativas de Financiamiento                 | 41 |
| Figura N° 23. Mapa de actores                                                             | 45 |
| Figura N° 24. Cronograma y etapas de implementación – Relleno Sanitario                   | 60 |
| Figura N° 25. Cronograma y etapas de implementación – Generación Eléctrica                | 61 |

# 1. Resumen Ejecutivo

En el marco de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en concordancia con lo visto en las NDC de Perú, analizamos la viabilidad económica de un proyecto de relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos municipales (RSM) en 10 distritos de la provincia de Trujillo (área de interés) en línea con la normativa legal vigente, por otro lado, complementamos este análisis con la inclusión de un proyecto de generación eléctrica con el gas generado en el relleno sanitario. Ambos proyectos ejecutados y operados por empresas privadas.

Estos dos proyectos pueden ser implementados en conjunto o independientemente, dependiendo del perfil del inversionista privado. El primer proyecto consiste únicamente en el ya mencionado relleno sanitario, trayendo consigo los beneficios descritos en párrafos anteriores.

El total de emisiones reducidas en el plazo total de vida útil de ambos proyectos es cercano a las 3MtCO<sub>2</sub>e en 27 años. Con respecto al año 2030, la cantidad de emisiones reducidas corresponde al 18% de las metas planteadas para el subsector de RRSS.

El **proyecto del relleno sanitario** se plantea como solución a la problemática generada en el botadero “El Milagro”. De acuerdo al análisis realizado los 10 distritos dentro del área de interés producen cerca de 1,000 toneladas de residuos por día. Este proyecto cuenta con un sistema de quema centralizada de biogás, lo que contribuye a la reducción de GEI.

Cabe resaltar que se plantean dos formas para financiar la inversión inicial del proyecto de relleno. Una que propone que la inversión total sea realizada por el operador de la infraestructura (opción 1) y otra que concibe la etapa inicial como obra pública (opción 2), reduciendo la tarifa a ser cobrada por disposición final en la primera fase de operación.

Las tarifas propuestas para ambas opciones son competitivas, resultando en un rango de S/22 a S/24 por tonelada dispuesta de residuos en la opción 1 y de S/17 a S/20 para los 5 primeros años de la opción 2, para luego retornar a la tarifa regular de S/22 a S/24 en las fases posteriores para justificar la menor inversión inicial por parte del inversionista privado. Estas tarifas representan valores presentes, teniendo un incremento futuro de acuerdo a la inflación. Ambas tarifas son razonables cuando se les compara con precios de mercado y tomando en cuenta la tecnología en cuestión (S/40 por tonelada dispuesta en el caso del relleno sanitario más cercano).

Asimismo, proponemos un proyecto complementario que consiste en implementar una **planta de generación de energía eléctrica** a partir del biogás generado en el relleno sanitario. Esta propuesta trae beneficios adicionales, tales como proveer de energía limpia a los habitantes del área de interés, así como contribuir con una mayor reducción de GEI. Este último punto estando alineado con los objetivos del país de cumplir con lo planteado en el Acuerdo de París.

La tarifa propuesta es de US\$94 por MWh (a valores futuros, aproximadamente al año 7 de la implementación del relleno sanitario). Esta tarifa es competitiva teniendo en cuenta las proyecciones del SEIN para los años 2021-2030, en el cual el costo marginal ponderado podría llegar a superar los US\$200 en los próximos años.

Se plantea que ambos proyectos podrían ser implementados en momentos distintos del tiempo, siendo el plazo de evaluación del relleno sanitario de 21 años (equivalente a su vida útil), mientras que la fijación del plazo de la planta de energía es de 20 años, respondiendo al plazo estándar correspondiente al régimen de Energías Eléctricas Renovables (RER), del cual se espera que este proyecto pueda formar parte.

Los modelos financieros están basados en supuestos que responden a escenarios que no necesariamente corresponden a la realidad actual, por eso es que se incluyen recomendaciones que, de materializarse, deberían permitir la viabilidad económica de los proyectos.

---

## 2. Introducción

El presente documento busca analizar la viabilidad económica y financiera para la implementación, por parte del sector privado, de una infraestructura de disposición final de Residuos Sólidos Municipales (RSM) para 10 distritos de la provincia de Trujillo. El reto en cuanto la gestión de los RSM es la facilidad con la que la generación de los residuos aumenta a través del tiempo; esto ocurre a medida que incrementa la población (principalmente la fracción urbana, que tiende a generar más residuos que la rural) y mejora la situación económica en la región. Ambos factores juegan un rol importante en cuanto a los hábitos de consumo y el número de ciudadanos que generan Residuos Sólidos (RRSS).

Por otro lado, debido al volumen de residuos que se generan en el área de interés, la infraestructura planteada como un relleno sanitario debe contar con tecnologías de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de acuerdo a la normativa legal vigente. Asimismo, el presente estudio analiza que el operador genere ingresos adicionales a los cobrados por tonelada dispuesta, mediante el aprovechamiento de los gases del relleno para la generación de energía.

Se hace importante énfasis en que la gestión de la infraestructura propuesta sea realizada por parte del sector privado por los siguientes motivos:

- Las actividades que se realizan en un relleno sanitario requieren cierto nivel de especialización, lo que hace de vital importancia contar con una buena operación para evitar consecuencias ambientales, mitigar riesgos técnicos y que, en el peor de los casos, como ha ocurrido en otros lugares en el país, la operación regrese a las prácticas habituales y la infraestructura pase a convertirse en un botadero, perdiendo así la inversión realizada.
- Otro motivo por el que se plantea la operación privada es por un tema de capacidades del sector público: según la experiencia actual, las municipalidades tienen brechas en capacidades que no permite una operación adecuada de la infraestructura; sin embargo, el sector privado tiene incentivos económicos para realizar una adecuada gestión obteniendo un mejor desempeño, caso contrario, sus flujos de ingreso quedarían comprometidos y, además, podrían enfrentar penalidades, según lo que se establezca en el contrato pactado con la autoridad correspondiente.

Para atraer a este tipo de inversionistas, es de especial importancia que el Ministerio de Ambiente (MINAM) lidere una política de trabajo conjunto con las municipalidades para sacar adelante proyectos de esta naturaleza que, por su tamaño, resulten interesantes para entidades financieras y operadores privados. Para esto, es necesario trabajar en el marco regulatorio, de modo que permita la implementación de este tipo de proyectos.

La inversión privada, provista de un clima de inversión adecuado y predictibilidad, puede aportar una solución bastante práctica y de rápida implementación para cerrar la brecha en infraestructuras de disposición final que actualmente tiene nuestro país.

En este sentido, el presente documento está elaborado para ser usado por el MINAM como herramienta para promover la inversión privada con las empresas especializadas de residuos sólidos, y para que estas empresas puedan usar las proyecciones realizadas como insumo que brinde información referencial para sus propios análisis financieros y evaluación de proyectos de inversión, que deberán ser ajustados en función a las decisiones que las diversas entidades involucradas adopten en el proceso de implementación, no sólo en Trujillo, sino también en las ciudades donde las tecnologías aplicadas puedan ser replicadas.

El proyecto no solamente está pensado para dar solución al problema de disposición final de RSM, sino que también permitiría reducir el impacto ambiental sobre el aire, producto de la descomposición de la materia orgánica en el relleno. La reducción de emisiones de GEI es de interés nacional para alcanzar la cuota de reducción de emisiones a la cual está comprometida el país por la firma del acuerdo de París en 2015.

## 3. Identificación

### 3.1. Definición de los Objetivos del Estudio

El presente caso de inversión tiene tres objetivos principales:

1. Proponer un diseño a nivel conceptual de un relleno sanitario con infraestructura para la captura y quema centralizada de gas metano y generación de energía eléctrica a partir de biogás para la Provincia de Trujillo.
2. Proponer una estructura de financiamiento a nivel conceptual para implementar el proyecto que incentive la participación del sector privado.
3. Contribuir con las metas nacionales de reducción de emisiones de GEI en el sector de residuos sólidos en línea con las iniciativas intersectoriales del MINAM en el marco de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por sus siglas en inglés: “*Nationally Determined Contributions*”).

Considerando que el grado de información disponible sólo permite un análisis conceptual sujeto a diversas definiciones que las autoridades involucradas deberán tomar respecto a la estructuración del proyecto, tanto las hipótesis utilizadas como los resultados obtenidos debe ser considerados como referenciales y sujetos a las decisiones que se vayan adoptando.

El componente de reducción de emisiones que contempla este proyecto está alineado a la nueva normativa de la Ley General de Residuos Sólidos, aprobada en el año 2017. Los rellenos sanitarios que reciban más de 200 toneladas diarias de residuos sólidos deben incorporar tecnologías de reducción de emisiones de GEI (conforme a lo indicado en el último párrafo del artículo 114 del reglamento de la Ley de gestión integral RRSS).

### 3.2. Diagnóstico General

Actualmente existe un déficit en infraestructuras para la adecuada disposición final de los residuos en Perú. En 2017 la generación de residuos sólidos municipales fue de 7.5 millones de toneladas al año, de las cuales sólo el 46% fueron dispuestas en rellenos sanitarios. El resto, son dispuestos en botaderos a cielo abierto u otros destinos no identificados<sup>2</sup>. Si bien se han implementado nuevos rellenos sanitarios, estos no son suficientes para cubrir la brecha de infraestructura nacional.

Por otro lado, tampoco se cuenta con un plan definido para la reducción de emisiones en el sector de Residuos Sólidos en el marco de las NDC, lo cual es de vital importancia para el país. Si bien el nuevo reglamento de la ley de gestión integral de residuos sólidos (D.S. 014-2017-MINAM) requiere la quema y captura de emisiones para los rellenos sanitarios que reciben más de 200 toneladas de residuos al día y en el reglamento se crea el Fondo Nacional de Inversión en Residuos Sólidos y se prioriza tanto la inversión pública como privada, no se tienen una estrategia clara para lograr las metas de reducción en el sector establecidas en las NDC's.

El procedimiento habitual seguido por las municipalidades que no cuentan con infraestructura adecuada es llevar los RRSS a una zona alejada de los centros poblados más grandes hasta colmar su capacidad, para luego trasladar el proceso a otra zona, dando lugar así, a los botaderos a cielo abierto. En esta situación se comienzan a formar ecosistemas económicos alrededor de los RRSS, formados por grupos de personas y familias que hacen labores de valorización y venta de residuos de manera informal, lo que genera a su vez un problema social y de salud importante.

<sup>1</sup> <http://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos>

<sup>2</sup> Matriz de indicador brecha del Sector Ambiental (Gestión integral de residuos sólidos) 2017.

En la Provincia de Trujillo, el botadero “El Milagro” se encuentra ubicado a 12 kilómetros del centro de la ciudad de Trujillo y tiene una extensión de aproximadamente 58 hectáreas. Se trata de un botadero a cielo abierto, el cual está considerado entre los 50 botaderos más grandes del mundo<sup>3</sup>, en el cual se realizan actividades de compactación y quema de residuos sólidos, lo que genera emisión de olores y vapores tóxicos. Muy cerca del lugar se encuentra el Centro Poblado El Milagro, en el cual viven alrededor de 1,000 familias que subsisten principalmente de la segregación y comercialización de los residuos sólidos reciclables que recolectan del botadero.

### 3.3. Definición de Área de Estudio

El área de interés para el presente caso de inversión consiste en 10 provincias del departamento de La Libertad que realizan la disposición final en el Botadero Controlado “El Milagro”<sup>4</sup>.

Los 10 distritos que comprenden el área de interés están conformados por 09 de la provincia de Trujillo y 01 de la Provincia de Ascope:

- Trujillo
- El Porvenir
- La Esperanza
- Huanchaco
- Víctor Larco Herrera
- Florencia de Mora
- Laredo
- Moche
- Salaverry
- Santiago de Cao (Prov. de Ascope)

Se incluye el distrito de Santiago de Cao (provincia de Ascope) por la cercanía al lugar de disposición final y por la cantidad de residuos sólidos generados por su población. Este análisis considera que estos 10 distritos que actualmente disponen la totalidad de sus residuos en el botadero controlado “El Milagro”, deberán dirigir sus residuos al nuevo relleno sanitario. De esta manera, un nuevo relleno sanitario podría maximizar su impacto social y ambiental, al atender a la mayor cantidad de distritos ubicados en sus alrededores dando adecuado tratamiento a los residuos que actualmente se disponen en el botadero “El Milagro”. Cabe resaltar que este lugar ha sido categorizado por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) como un área recuperable<sup>5</sup>, por lo que la implementación del proyecto planteado, debería acelerar la recuperación de esta área degradada por los RRSS.

**Figura N° 1. Distritos incluidos en el área de interés del proyecto**



Fuente: Google Earth

<sup>3</sup> <https://www.residuosprofesional.com/los-50-vertederos-mas-grandes-del-mundo/>

<sup>4</sup> PIGARS Trujillo 2016 - 2020

<sup>5</sup> <https://oefa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6a530906bcdd44d388d6c032d7cb844a>

De acuerdo con los resultados del Censo 2017 realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Trujillo es la cuarta provincia más poblada del país con una tasa de crecimiento anual promedio de 1.8%, estimada durante el periodo 2007 a 2017. Se estima que la población beneficiada por el proyecto del nuevo relleno sanitario para Trujillo es de 981,573 personas. (ver Anexo 01).

### **3.3.1. Aspectos Climáticos y Ambientales<sup>6</sup>**

Las características ambientales, como temperatura y precipitaciones son factores determinantes para la viabilidad del proyecto, ya que influyen en la generación de GEI en el relleno sanitario (metano, principalmente), así como para planificar el tipo de tratamiento que debe darse a los residuos, así como para la operación misma del relleno sanitario. Además, también es información útil para tomar medidas preventivas en la operación del relleno sanitario. Para la caracterización del clima, se utilizó la información provista por la estación meteorológica de Huanchaco (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial, en adelante CORPAC) por ser la más cercana al proyecto (12km aproximadamente).

En líneas generales, la ciudad de Trujillo posee un clima seco con una temperatura promedio anual de 20.8°C, y una precipitación media anual de 41mm y la tasa de evapotranspiración es de 48.8mm<sup>7</sup> (ver Anexo 02). Cabe resaltar que en los últimos 30 años se están apreciando cambios en la estacionalidad, temperatura y precipitaciones. Los datos previamente mencionados son considerados para realizar las estimaciones y proyecciones de GEI que se generarían en el proyecto del nuevo Relleno Sanitario en la Sección 3.1.1.2.

### **3.3.2. Aspectos Económicos Relevantes**

Con el objetivo de brindar un marco para analizar la composición de los RSM, debido al consumo de los bienes y servicios por parte de la población y su tendencia de crecimiento a futuro identificamos las principales actividades económicas que se desarrollan en la provincia de Trujillo.

Las cifras recolectadas nos permiten tener una idea más amplia del impacto que tienen estos comercios en la generación de residuos sólidos municipales. Estos comprenderán principalmente materia orgánica, como resultado del comercio de alimentos y restos de restaurantes y servicios; pero una importante fracción será producto de la actividad manufacturera.

#### **3.3.2.1. Principales Actividades Económicas<sup>8</sup>**

##### **▪ Actividad Agrícola**

La provincia de Trujillo es principalmente agrícola, debido a las áreas de producción que dispone. La implementación del Proyecto Especial Chavimochic, el cual provee irrigación a los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama, impulsó la producción agrícola, logrando la exportación de muchos productos agrícolas y agroindustriales al exterior del país, tales como los espárragos, alcachofa, ají páprika, palta, mango, entre otros.

La extensión de la agricultura irrigada provocó un crecimiento expansivo, en especial sobre el cultivo de caña de azúcar. De igual manera, entre los principales productos de exportación destacan los espárragos.

Este sector genera una importante porción de los residuos sólidos orgánicos compostables que totalizan un 56% de la producción de residuos sólidos de la provincia de Trujillo. Estos residuos se componen principalmente de restos de productos mencionados que son consumidos por la población.

<sup>6</sup> <http://www.corpac.gob.pe/app/Meteorologia/TRClimatologicas/Tablas.html>

<sup>7</sup> Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

<sup>8</sup> [http://www.upao.edu.pe/trujillo/?mod=mod\\_vitr&task=288](http://www.upao.edu.pe/trujillo/?mod=mod_vitr&task=288)

## ▪ **Manufactura**

En el sector destaca la industria del calzado, la cual abarca curtiembres, fabricantes de calzado y otros derivados del cuero. Está compuesto principalmente por micro y pequeñas empresas, que se caracterizan por demandar abundante mano de obra y bienes intermedios.

Formalmente registra 1,300 pymes (pequeñas y medianas empresas), las que aportan un significativo 11% al sector. Han logrado posesionar sus productos en el mercado nacional y caracterizar a Trujillo como una ciudad fabricante de calzado. Tiene la particularidad de haber conformado un conglomerado o "clúster" industrial, característica que le brinda una dinámica de producción y comercialización propia, lo que hace este sector un importante productor de residuos sólidos que tendría un crecimiento importante en los próximos años.

## ▪ **Comercio**

El departamento de La Libertad registra 19,859 establecimientos dedicados a la actividad comercial. El 70% se encuentra en la provincia de Trujillo, 6% en la Provincia de Ascope, 5% en Chepén, 5% en Pacasmayo y el 14% restante en las demás Provincias. De los 13,900 establecimientos de la provincia de Trujillo, el 65% se ubican en el distrito de Trujillo.

De los establecimientos comerciales, 12,963 se dedican al comercio, servicios automotores y reparaciones diversas, 2,101 al sector manufacturero y 4,795 a otras actividades. De las 47,000 personas que están laborando en estos establecimientos, 19,270 se ubican en el sector manufacturero (41%), 13,630 en comercio (29%), 2,350 en restaurantes y hoteles (5%) y 11,750 en otras actividades (25%).

### ***3.3.2.2. Análisis del Entorno Económico***

Hemos identificado dos empresas industriales relevantes en un radio de 3 km de la ubicación del nuevo relleno que, de obtener una tarifa atractiva, podrían ser potenciales usuarios de la electricidad generada en el Relleno Sanitario. La más cercana es Postes del Norte, empresa dedicada a fabricar y comercializar postes de cemento que cuenta con dos plantas de producción en El Milagro. Luego, se encuentra la planta de Llamagás, en la cual se envasa gas para uso doméstico e industrial y es comercializado en la zona.

Ampliando el rango de búsqueda a 6 km, hacia el distrito de La Esperanza, ubicamos el Parque Industrial La Esperanza, donde se encuentra Lima Gas, otro distribuidor importante de gas envasado. Además, también hemos podido identificar varias empresas que se dedican a diversas actividades industriales.

Destacan actividades como la de fabricación de carrocerías, con empresas como Metalbus, Factoría Bruce y Mebustrack SAC; fabricación de productos metálicos, A&G Industria Metal Mecánica SAC e Industrias Metálicas Pairazamán (fabrica también carrocerías); y fabricación de plástico como Eurotubo SAC.

Asimismo, se puede encontrar empresas dedicadas al rubro textil, como Trutex y varias otras dedicadas a curtiembre y manufactura de calzado, como es el caso de Curtiembre Cuenca, Curtiembre Ecológica del Norte y Pieles Industriales SAC, entre otras.

## ***3.4. Análisis del Mercado***

### ***3.4.1. Disposición Final de Residuos Sólidos***

La generación de residuos sólidos está íntimamente ligada al número de habitantes, el poder adquisitivo de la población, los hábitos de consumo y a las principales actividades económicas de la Provincia de Trujillo.

La Generación per Cápita (GPC) promedio de residuos sólidos de los distritos seleccionados es de 0.53kg/hab/día. Este dato se ha obtenido estimando el promedio ponderado de la generación domiciliar de todos los distritos versus la población total. Dicho valor es menor al GPC nacional estimado en 0.55

<sup>9</sup> <http://sinia.minam.gob.pe/indicador/1601>

Kg/hab/día<sup>10</sup> al 2017. La información sobre la producción per cápita de cada distrito fue obtenida de los Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos (ECRS)<sup>11</sup>.

Se considera un estimado de 30.7% de generación no domiciliaria y un 13.07% de generación de residuos por actividades de barrido siendo la generación total estimada para el proyecto de 932.92 toneladas al día y de 340,516 toneladas al año (ver Anexo 03). Esta estimación sólo incluye valores de generación, mas no del total de residuos que llegarían al relleno sanitario, pues falta descontar la fracción tratada en programas de segregación, reciclaje y compostaje.

Realizamos proyecciones de generación de RRSS para observar la evolución de la demanda a lo largo del tiempo. Los supuestos empleados para estas estimaciones son relativamente conservadores, característicos de un escenario esperado estándar. Para el caso del incremento poblacional, se asume una tasa de crecimiento anual de 1.8%, basada en el incremento histórico de la región de los últimos 10 años y un incremento del 1% en la generación per cápita (GPC) de residuos sólidos. Del total de residuos sólidos generados, se estima que un porcentaje será destinado a programas de reciclaje y compostaje. Los porcentajes asumidos son de 0.66% y 0.06%, respectivamente, basados en las metas para el año 2019 del MINAM para los distritos en el área de estudio (ver Anexo 04 para el detalle de los supuestos utilizados).

Se puede apreciar que el 52.07% de los RSM corresponde a material orgánico. Ésta se toma de los estudios de caracterización de residuos sólidos realizados por las diferentes municipalidades de la provincia. Dicha información es importante para poder proyectar las cantidades retiradas en actividades de segregación y reaprovechamiento de materiales en la fuente y para estimar las emisiones de GEI y la generación de lixiviados (ver Anexo 05).

La tabla N°01 muestra los resultados obtenidos para la proyección de demanda del relleno sanitario.

**Tabla N° 1. Proyección de demanda del relleno sanitario - Provincia de Trujillo**

| Nº | Población Total (1) | GPC (kg/h/día) (2) | RRSS Domicilio (Ton/día) (3) | RRSS Comercial (Ton/día) (3) | RRSS Barrido (Ton/día) (3) | Generación RRSS Total (Ton/año) (4)=Σ(3)×365 | RRSS Reciclables (Ton/año) (5) | RRSS Compostificables (ton/año) (5) | Demanda total de disposición final (ton/año) (6)=(4)-Σ(5) |
|----|---------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1  | 1,036,693           | 0.550              | 570                          | 310                          | 130                        | 368,801                                      | 2,439                          | 233                                 | 366,129                                                   |
| 2  | 1,055,761           | 0.556              | 587                          | 318                          | 134                        | 379,291                                      | 2,508                          | 240                                 | 376,543                                                   |
| 3  | 1,075,186           | 0.561              | 603                          | 327                          | 138                        | 390,081                                      | 2,580                          | 247                                 | 387,254                                                   |
| 4  | 1,094,977           | 0.567              | 621                          | 337                          | 142                        | 401,180                                      | 2,653                          | 254                                 | 398,273                                                   |
| 5  | 1,115,141           | 0.572              | 638                          | 346                          | 146                        | 412,596                                      | 2,729                          | 261                                 | 409,607                                                   |
| 6  | 1,135,684           | 0.578              | 657                          | 356                          | 150                        | 424,340                                      | 2,806                          | 268                                 | 421,265                                                   |
| 7  | 1,156,614           | 0.584              | 675                          | 366                          | 154                        | 436,420                                      | 2,886                          | 276                                 | 433,258                                                   |
| 8  | 1,177,939           | 0.590              | 695                          | 377                          | 158                        | 448,846                                      | 2,969                          | 284                                 | 445,594                                                   |
| 9  | 1,199,667           | 0.596              | 715                          | 387                          | 163                        | 461,629                                      | 3,053                          | 292                                 | 458,284                                                   |
| 10 | 1,221,805           | 0.602              | 735                          | 398                          | 167                        | 474,778                                      | 3,140                          | 300                                 | 471,338                                                   |
| 11 | 1,244,362           | 0.608              | 756                          | 410                          | 172                        | 488,304                                      | 3,229                          | 309                                 | 484,766                                                   |
| 12 | 1,267,345           | 0.614              | 778                          | 421                          | 177                        | 502,219                                      | 3,321                          | 318                                 | 498,579                                                   |
| 13 | 1,290,764           | 0.620              | 800                          | 433                          | 182                        | 516,532                                      | 3,416                          | 327                                 | 512,790                                                   |
| 14 | 1,314,627           | 0.626              | 823                          | 446                          | 187                        | 531,257                                      | 3,514                          | 336                                 | 527,408                                                   |
| 15 | 1,338,943           | 0.632              | 846                          | 458                          | 192                        | 546,405                                      | 3,614                          | 346                                 | 542,446                                                   |
| 16 | 1,363,721           | 0.638              | 870                          | 471                          | 198                        | 561,988                                      | 3,717                          | 355                                 | 557,916                                                   |
| 17 | 1,388,970           | 0.645              | 895                          | 485                          | 203                        | 578,019                                      | 3,823                          | 365                                 | 573,830                                                   |
| 18 | 1,414,699           | 0.651              | 921                          | 499                          | 209                        | 594,511                                      | 3,932                          | 376                                 | 590,203                                                   |
| 19 | 1,440,918           | 0.658              | 947                          | 513                          | 215                        | 611,477                                      | 4,044                          | 387                                 | 607,046                                                   |
| 20 | 1,467,637           | 0.664              | 975                          | 527                          | 221                        | 628,931                                      | 4,160                          | 398                                 | 624,374                                                   |
| 21 | 1,494,866           | 0.671              | 1,003                        | 542                          | 227                        | 646,888                                      | 4,278                          | 409                                 | 642,201                                                   |

Fuente: (1) Estimación, <http://censos2017inei.gob.pe/redatam/>, (2) Estimación, ECRS de los distritos (3) Estimación, estudio de mercado RRSS Trujillo, (4) Suma de RRSS domiciliario, comercial y barrido, (5) Metas para 2019 de Recuperación de Residuos Orgánicos e Inorgánicos en Trujillo, (6) Generación total de RRSS menos volumen reciclable y volumen compostificable (Ver Anexo 01 para detalle sobre los supuestos)

Con los resultados obtenidos del volumen a disponer en el relleno (ver Anexo 06: Volumen demandado por los residuos sólidos en el relleno sanitario) estimamos la vida útil del Relleno Sanitario teniendo en cuenta

<sup>10</sup> Estimación PwC, en base al Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos (ECRS). Municipalidad de los distritos de la provincia de Trujillo, 2016.

<sup>11</sup> Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos (ECRS). Municipalidad de los distritos de la provincia de Trujillo, 2016.

un diseño general de celdas de 4 niveles de 8 metros de alto cada nivel, concluyendo que con el volumen proyectado el Relleno Sanitario tendría una vida útil de 21 años aproximadamente (para mayor detalle ver la Sección 3.3.1.1).

La demanda por servicios de disposición es la diferencia entre la cantidad de RSM generados y la fracción que es recuperada por los programas de segregación y compostaje mencionados anteriormente. Observamos que, para el año 0, la demanda supera las 300 mil toneladas al año y esta cantidad sigue creciendo durante el horizonte de proyección.

Actualmente existen dos lugares donde se realiza la disposición final de RRSS en el área de interés. Primero existe el ya mencionado botadero “El Milagro”, donde se realiza la disposición de RSM de manera inadecuada.

Otra alternativa de disposición final es el Relleno Sanitario “Cumbre” construido y operado por la empresa Innova Ambiental. Sin embargo, la municipalidad de Trujillo opta por no disponer sus RRSS en esta ubicación debido a que considera que la tarifa de disposición final que esta empresa oferta es muy elevada (S/40 por tonelada dispuesta). Este relleno atiende actualmente a empresas privadas.

Cabe resaltar que ninguna de las dos opciones mencionadas cuenta actualmente con tecnología de quema centralizada de gases para reducir las emisiones de GEI, la cual es requerida por la normativa vigente para rellenos que reciban más de 200 toneladas diarias de residuos.

Tomando en consideración que la primera alternativa no es sostenible (botadero a cielo abierto) y que la segunda alternativa, actualmente no atiende a los municipios dentro del área de estudio, concluimos que la oferta de infraestructura que cuente con lo requerido por la normativa vigente (quema centralizada) y con una tarifa acorde con la expectativa de la Municipalidad es inexistente.

En vista de que no existe un servicio adecuado de disposición final disponible en el área de interés que cubra las necesidades de la Municipalidad (calidad y precio), la brecha corresponde a la totalidad de la demanda de disposición final, debido a que actualmente el 100% de los RSM se disponen en una infraestructura que no cumple con la normativa legal vigente. Esto deja un mercado desatendido el cual podría ser abordado por inversionistas interesados en el sector de gestión de residuos sólidos y generación eléctrica, que además busquen tener un impacto positivo en la comunidad y en el medio ambiente.

### **3.4.2. Generación Eléctrica**

El proyecto considera generar electricidad a partir del uso del biogás generado por la descomposición de los residuos sólidos. La venta directa de esta energía eléctrica producida a alguna empresa privada, bajo las condiciones actuales del mercado, no es considerada como una opción, ya que el costo de la electricidad en Perú es bajo y por lo tanto no resultaría competitiva. Por ello, consideramos en nuestro análisis, la existencia de un mecanismo de subastas RER (Recursos Energéticos Renovables), las cuales permiten fijar un precio de venta en el que se recibe un nivel de subsidio.

Desde el año 2010 el estado peruano convoca a subastas de energía empleando recursos energéticos renovables. En este caso el recurso renovable es la biomasa<sup>12</sup>. La energía eléctrica generada se inyectaría al Sistema Interconectado Nacional (SEIN) dentro del marco de un contrato de venta de energía establecido en el mecanismo de Subasta de Energía Eléctrica con recursos energéticos renovables en la categoría biomasa, promovida por el Estado Peruano con contratos garantizados a 20 años. Se tiene presente este esquema en las proyecciones financieras de la sección 3.4.2.

En este sentido, de acuerdo al COES SINAC (Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional, en adelante COES) en octubre del 2018 la zona norte del Perú tuvo una demanda de 551.01GWh de energía que representa un 4.85% más de lo reportado en octubre del 2017. De esta demanda Trujillo representa el 19.36%<sup>13</sup>. Esto guarda relación con el estudio realizado por el concesionario de energía de la zona norte

<sup>12</sup> <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/subastas/cuarta-subasta>.

<sup>13</sup> <http://www.coes.org.pe/Portal/Publicaciones/Boletines/>

Hidrandina quien establece en su plan de inversiones del 2017 al 2021 una tasa de crecimiento ajustado de 5.57%<sup>14</sup>.

Por otro lado el COES en su plan de transmisión del 2019 al 2028<sup>15</sup> hace una evaluación de la generación eficiente en el SEIN hacia el largo plazo y establece que en el caso del retraso del Gasoducto del Sur (proyecto que busca transportar gas natural desde los lotes de gas en Cuzco hasta Arequipa e Ilo), retraso que hoy es una realidad, la generación eficiente del país estará totalmente cubierta por la demanda en el año 2020 al 2021, y el crecimiento de demanda tendrá que cubrirse con generación ineficiente (generación eléctrica con Diesel), situación que elevaría los costos marginales de la electricidad de un mínimo de 22US\$/MWh hasta un máximo de 284US\$/MWh.

Bajo estas condiciones, promover el uso de energías limpias que permitan cumplir con los compromisos ambientales, es un objetivo que requerirá, en definición, la participación del Estado, a través de los ministerios competentes.

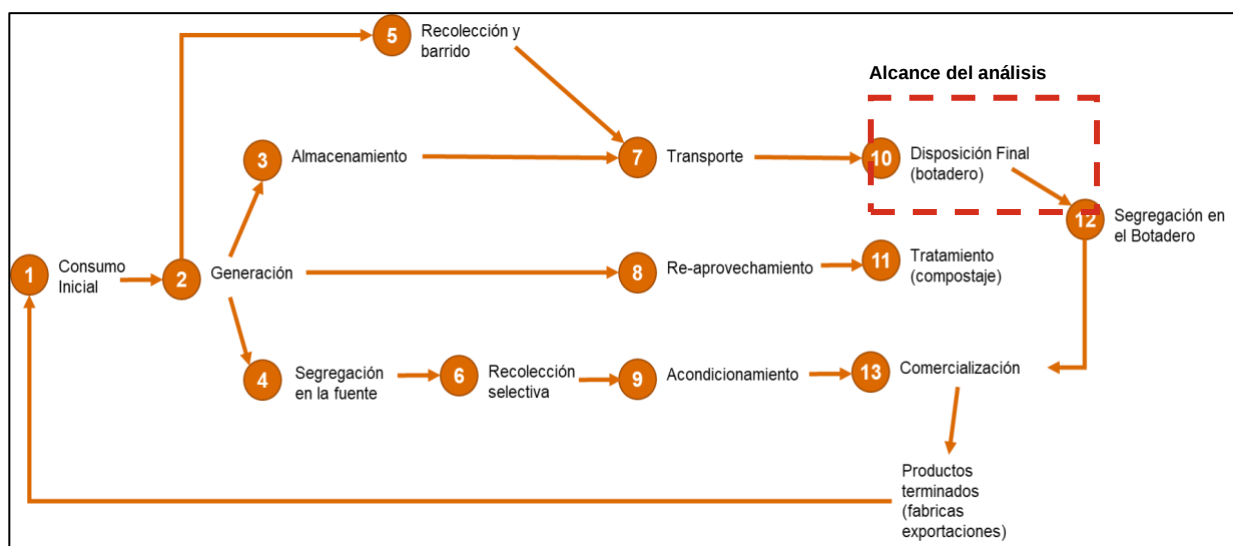
### 3.5. Estado Actual de los Procesos Clave en la Gestión de Residuos Sólidos

El alcance de este análisis es la disposición final de los RSM. En este sentido, no analizamos los procesos de valorización de residuos, pero si consideramos el efecto de las actividades de segregación con fines de reciclaje y compostaje para estimar los volúmenes de residuos sólidos municipales que llegarían a disposición final en el relleno sanitario.

Actualmente en la provincia de Trujillo la mayor parte de las actividades de reciclaje y tratamiento de residuos se realiza informalmente mediante recicladores y segregadores en las calles de la ciudad y en el actual botadero “El Milagro”.

El caso planteado del nuevo Relleno Sanitario y Generación eléctrica usando el gas generado en el relleno se ubican en el proceso de Disposición Final de Residuos sólidos. La Figura N° 2 muestra una visión del flujo de los residuos sólidos en sus diferentes etapas.

**Figura N° 2. Procesos Para la Gestión de los Residuos Sólidos en la Provincia de Trujillo**



Fuente: Elaboración propia.

<sup>14</sup> [http://www2.osinergmin.gob.pe/ProcReg/Proc\\_aprobacion\\_plan\\_inversiones\\_transmision\\_2017\\_2021/a.Present\\_Estud\\_Tec\\_Econo\\_Plan/05%20Hidrandina/000303\\_Tram\\_005062\\_Volumen%20II%20Proyeccion%20de%20Demanda.pdf](http://www2.osinergmin.gob.pe/ProcReg/Proc_aprobacion_plan_inversiones_transmision_2017_2021/a.Present_Estud_Tec_Econo_Plan/05%20Hidrandina/000303_Tram_005062_Volumen%20II%20Proyeccion%20de%20Demanda.pdf)

<sup>15</sup> <http://www.coes.org.pe/Portal/Planificacion/PlanTransmision/ActualizacionPTF>

---

A continuación, se presenta una breve reseña de los procesos más relevantes para el caso de inversión.

### **3.5.1. Recolección y Transporte<sup>16</sup>**

El aspecto más importante en este punto es la cobertura del servicio, la cual es intensiva en zonas urbanas y de menor alcance en los lugares más alejados, esto incluye la recolección de residuos tanto para usuarios domésticos, comerciales, así como micro industria ubicada en la ciudad. La moda del nivel de cobertura del servicio es de 95%, que corresponde a 3 distritos: El Porvenir, Salaverry y Víctor Larco Herrera. Los dos valores más bajos son los de Florencia de Mora con 60% y Huanchaco y Laredo con 80%. Trujillo tiene un porcentaje de recolección casi perfecto con un 99%, mientras que el distrito de la Esperanza alcanza el 100% de cobertura para este servicio.

### **3.5.2. Disposición Final**

La disposición final de los residuos sólidos de los distritos mencionados en la tabla N° 01 se realiza en el botadero controlado “El Milagro”, sin recibir ningún proceso sanitario de por medio. Producto de esta situación la Oficina de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) ha presentado dos denuncias al Ministerio Público y a la Contraloría Nacional<sup>17</sup>.

De acuerdo con el reporte denominado Situación Actual del Botadero Controlado “El Milagro”<sup>18</sup> elaborado por el Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo (SEGAT) en agosto 2016, al botadero ingresan diariamente 1,061 toneladas/día de residuos de los cuales el 31% le corresponde a Trujillo; el 36% a otros distritos siendo el 28% residuos de construcción y 5% residuos vegetales de la poda de árboles. Estos datos son referenciales ya que no se cuenta con una balanza en sitio y se basa en estimaciones visuales. Para mayor detalle sobre la fuente y composición de los residuos ver Anexo 03: Generación de residuos sólidos y Anexo 05: Composición de Residuos Sólidos. En la siguiente sección ahondaremos en la situación actual del botadero controlado “El Milagro” y su problemática.

<sup>16</sup> PIGARS Trujillo 2016-2020

<sup>17</sup> <https://www.oefa.gob.pe/noticias-institucionales/el-oefa-interviene-por-la-inadecuada-disposicion-de-residuos-solidos-en-el-botadero-el-milagro-en-la-provincia-de-trujillo>

<sup>18</sup> <https://es.scribd.com/document/363112412/SITUACION-ACTUAL-DE-LA-DISPOSICION-DE-LOS-RESIDUOS-SOLIDOS-EN-EL-BOTADERO-EL-MILAGRO-docx>

### **3.6. Definición del Problema**

La Provincia de Trujillo no cuenta con infraestructura adecuada de acuerdo a la Normativa Vigente para la disposición final de los residuos sólidos municipales. Ésta se viene realizando desde 1989 en el botadero controlado “El Milagro”, el cual recibe cerca de 1,000 toneladas diarias de residuos sólidos.

Este lugar está ubicado aproximadamente en las coordenadas UTM 715136.620 Este, 911262.31Norte, con un área aproximada de 58 hectáreas, el mismo que actualmente no cuenta con saneamiento físico legal al contar con múltiples propietarios en disputa.

La presencia del botadero ocasiona la aparición de economías informales alrededor de la segregación y comercialización de residuos reciclables. Así, muy cerca del lugar se encuentra el Centro Poblado El Milagro, en el cual viven alrededor de 1,000 familias que subsisten principalmente de recolectar y comercializar los residuos sólidos reciclables que encuentran en el botadero.

La segregación de residuos dentro del botadero tiene efectos negativos sobre la salud de las personas que realizan esta actividad, exponiéndolos a enfermedades infecciosas, además de la proliferación de vectores, lo que extiende el alcance del impacto negativo del botadero sobre la salud de la población.

**Figura N° 3. Quema no controlada de RRSS expuestos**



**Figura N° 4. Presencia de segregadores informales**



---

## 4. Formulación

El proyecto se formula siguiendo los estándares habituales que aplican a potenciales inversionistas privados planteando un modelo de negocio atractivo, rentable y sostenible.

La Municipalidad Provincial de Trujillo (en adelante la Municipalidad) ha venido trabajando para dar solución al problema y enfrentar el reto de implementar una disposición final óptima. Así, ha conseguido la donación del Gobierno Regional de un terreno de 67 hectáreas para la construcción de un relleno sanitario con las condiciones adecuadas para la disposición final de los residuos sólidos. Esta transferencia tiene como única finalidad que el terreno sea utilizado para la ejecución de un proyecto integral de tratamiento de RSM, alineado a la Normativa Vigente. Dicho terreno cuenta con un estudio de selección de sitio, así como con un certificado de inexistencia de restos arqueológicos. Por ello, nuestro análisis tomará como punto de partida el desarrollo de un relleno sanitario con tecnologías de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el mencionado terreno.

Como se detalla en esta sección, actualmente existen diversos aspectos relacionados con la implementación del proyecto que aún no están definidos. En algunos casos, el análisis incluye más de una alternativa considerando que no es posible confirmar en la actualidad cuál de ellas será promovida por las autoridades correspondientes. En este sentido, el lector de este informe debe considerar las hipótesis presentadas, así como los resultados obtenidos como referenciales y sujetos a las decisiones que en el futuro se adopten respecto al esquema final de implementación del proyecto. En ese sentido, no se puede considerar que el presente informe constituye una recomendación de inversión ni un aseguramiento de ningún aspecto relativo a la conveniencia de desarrollar el proyecto. Cada inversionista u otro *stakeholder* deberá realizar su propia evaluación para determinar si resulta conveniente participar de la ejecución del proyecto y de la mejor forma de estructurarlo en función a las condiciones que finalmente sean propuestas por las entidades involucradas.

### 4.1. Descripción de la Solución

Dada la definición del problema, y la oferta actual del mercado, resulta razonable la construcción de una infraestructura de Relleno Sanitario que cumpla con la Normativa Vigente, que posteriormente pueda aprovechar el gas generado para implementar una Planta de Generación Eléctrica que maximice la reducción de GEI para poder contribuir con la meta del país, planteadas en las NDC. El Relleno Sanitario planteado sería operado por una empresa privada quien debería cobrar a la Municipalidad una tarifa competitiva en el mercado.

Para dar solución a la situación actual se debe plantear un terreno alternativo al del botadero “El Milagro”. En ese contexto el Gobierno Regional ha donado a la municipalidad Provincial de Trujillo un terreno de 67 hectáreas para la construcción de un nuevo relleno sanitario, el cual cuenta con un estudio de selección de sitio, así como un Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA). Cabe mencionar que se cuenta con un Contrato de Transferencia del Terreno a título gratuito por parte del Proyecto Especial Chavimochic en favor de la Municipalidad provincial de Trujillo. La selección de este terreno cuenta con opinión favorable del estudio de selección por parte del Gobierno Regional de la Libertad otorgado en marzo de 2018.

La figura N° 5 muestra la ubicación del botadero “El Milagro” así como la del terreno para el nuevo relleno sanitario, que se encuentra aproximadamente a 4km de la ubicación del botadero. Ver coordenadas de ubicación en Anexo 9.

**Figura N° 5. Ubicación del Nuevo Relleno Sanitario Trujillo**



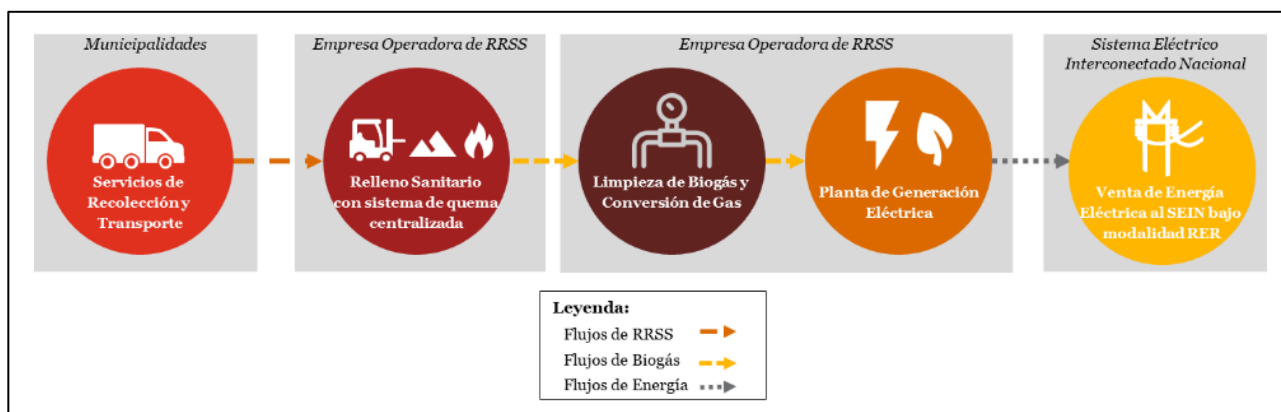
Fuente: Google Earth. Ver coordenadas en Anexo 9.

En este nuevo espacio se puede proyectar la construcción de un relleno sanitario que cumpla con los requisitos técnicos mínimos establecidos en el Reglamento de la Ley 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos respecto a la infraestructura de disposición final, condiciones de ubicación, instalaciones y operaciones mínimas en rellenos sanitarios. En específico bajo esta regulación un relleno sanitario con las características de volumen descritas en las secciones anteriores requiere la implementación de tecnología de captura y quema centralizada de gases, así como la posibilidad de incluir actividades de valorización energética a través de uso del biogás para la generación eléctrica.

Es importante mencionar que, para que todas las estimaciones de generación y reducción de GEI se cumplan, es necesario que el relleno opere de manera óptima y controlada, para evitar que se generen problemas como los observados en “El Milagro”.

A continuación, describiremos el alcance de la solución planteada:

**Figura N° 6. Flujo General del Proyecto**



Fuente: Elaboración Propia

Este Flujo General incluye dos proyectos: Proyecto del Relleno Sanitario (descrito en sección 3.1.1) y Proyecto de Generación Eléctrica (descrito en sección 3.1.2.). Estos proyectos tienen distintas consideraciones durante la implementación y operación que requieren un análisis diferenciado para poder entender su estructura, necesidades de inversión y flujos de efectivo generados. El Relleno Sanitario depende del volumen de residuos que lleguen al relleno para ser dispuestos. Por otro lado, el proyecto de Generación Eléctrica no sólo depende del volumen de residuos, sino también, de su composición, a partir

de la cual se generará distintos volúmenes de gas si no también, por otro lado, el proyecto de Generación Eléctrica tiene como pre-requisito que exista una subasta de Energía (Subasta RER) antes de su inicio y la firma de un contrato con el Estado para inyectar la energía al SEIN (ver sección 2.4.2 donde se analiza el mercado de Generación Eléctrica).

Por otro lado, los plazos de los proyectos son distintos. En el caso del Relleno Sanitario, este tendría una vida útil de 21 años, por lo que el flujo de ingresos tendría esta duración. Por su parte, el proyecto de Generación Eléctrica debe iniciar algunos años después, cuando se genere el suficiente gas en el relleno, y tendrá una duración de 20 años que es la duración estándar de un contrato RER.

Las sinergias que podrían generarse entre ambos proyectos, de consolidarse, no serían significativas como para tenerlo en cuenta como un escenario distinto, es suficiente para el análisis contar con las proyecciones de cada proyecto.

En suma, los riesgos de implementación y operación, condiciones habilitantes, plazos, tipo de contrato y contraparte serían distintas en ambos proyectos por lo que para fines de este análisis vemos de mayor utilidad el presentar los flujos y proyecciones de ambos proyectos por separado, y así poder brindar a los usuarios un análisis individual de la viabilidad de cada proyecto.

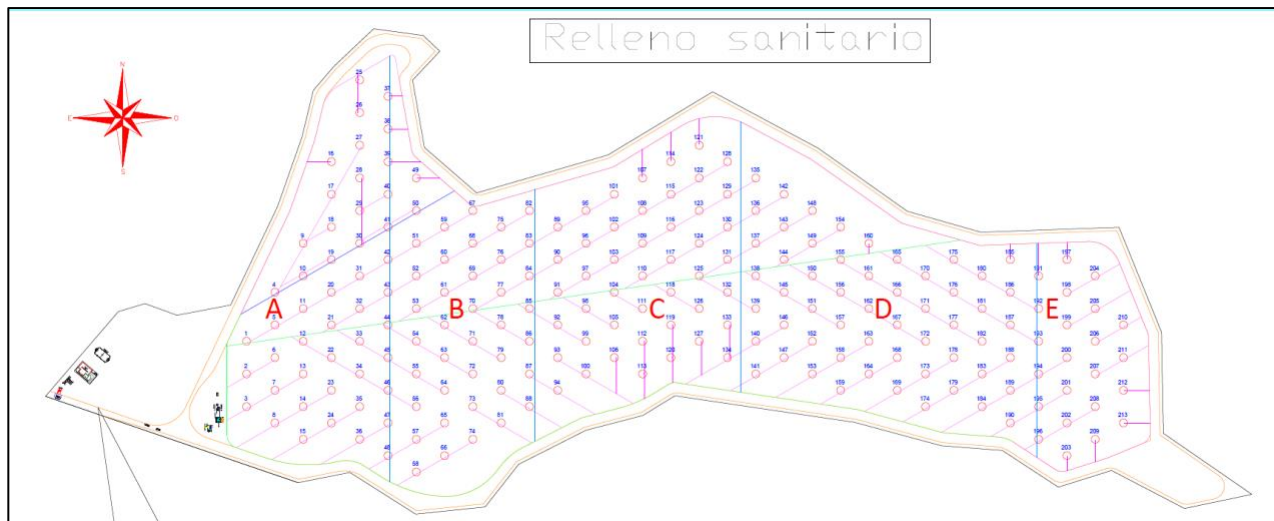
#### **4.1.1. Descripción del Proyecto Relleno Sanitario**

El proyecto integral contempla inversiones iniciales a realizarse dentro y fuera del terreno designado para la construcción del relleno, de modo que no existan inconvenientes técnicos para la fase de operación.

Primero, se plantea la habilitación de una carretera externa de aproximadamente 5km para llegar desde la Av. Miguel Grau hasta el terreno donado por el Gobierno Regional, de modo que no existan inconvenientes para el ingreso de los RSM. Asimismo, deberán habilitarse vías de acceso internas de 2km desde la entrada del relleno sanitario a la primera plataforma. En la entrada al relleno se contará con una balanza de pesaje automática, una cabina de operación y control de la balanza, una cabina de seguridad y oficinas en contenedores para las actividades administrativas. Adicional a esto, el relleno deberá ser cercado perimetralmente para evitar el ingreso y salida de personas no autorizadas. Este cerco perimétrico tendrá un perímetro aproximado de 5km y una altura de 2.5m.

Se plantea la implementación del relleno sanitario en 5 etapas (ver figura N° 07). Las áreas designadas para las tres primeras etapas serían de aproximadamente 11Has; la cuarta etapa sería de 15Has y la última, de 5Has. Estas etapas se habilitarían en distintos momentos del tiempo, de acuerdo con las necesidades de disposición final de residuos.

**Figura N° 7. Etapas de distribución del Relleno Sanitario Trujillo**



| Etapa        | Área (ha)      | Año de Implementación |
|--------------|----------------|-----------------------|
| Etapa A      | 11.2144        | 1                     |
| Etapa B      | 10.5304        | 6                     |
| Etapa C      | 12.1052        | 11                    |
| Etapa D      | 15.1313        | 16                    |
| Etapa E      | 5.2697         | 21                    |
| <b>Total</b> | <b>54.2510</b> | -                     |

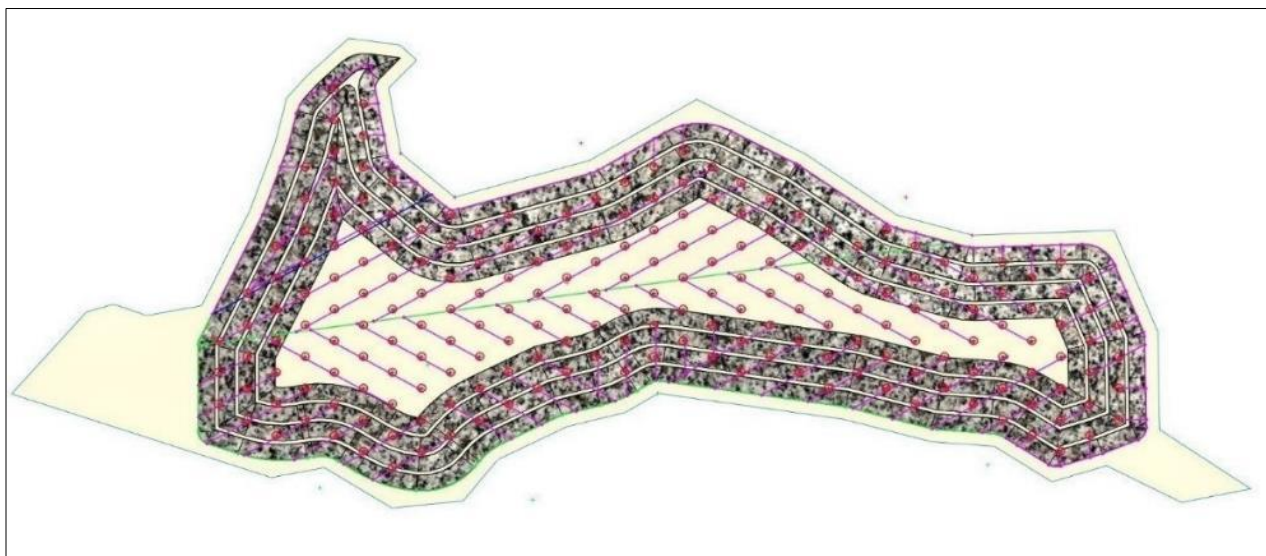
Fuente: Elaboración propia

Con respecto al diseño planteado para la construcción de las celdas correspondientes a cada etapa, se contempla implementar 4 niveles de 8m de altura cada uno, los cuales serán cubiertos con 60cm de material de cobertura (existente en la zona). Este diseño permite a cada celda alcanzar una vida útil estimada de 5 años. Con respecto a la última celda, el área restante disponible sólo permite la construcción de una celda de un año de duración aproximada, que de ser requerido podría ser desarrollada conjuntamente con la Etapa “D”.

Adicional a esto, en cada nivel se construirán pozos de captación de biogás, los cuales se irán extendiendo en altura desde el primer nivel hasta el cuarto, para lo cual se emplearán tuberías de polietileno de alta densidad de 160mm. De manera adicional, cada celda del relleno contará con una base de impermeabilización de geomembrana de 2mm, canales de drenaje de lixiviado que se dirigen hacia una poza de captación de lixiviado centralizada.

Para el tratamiento del biogás, se plantea que cada pozo de captación cuente con un cabezal donde se realizarán las mediciones y regulaciones del caudal de biogás. Estos cabezales se interconectarán con un gasoducto de polietileno con diámetros que varían entre los 110mm, 160mm, 250mm y 350mm. En este trayecto se prevé instalar tanques de condensación para retirar el agua presente en el biogás. El gasoducto se conectará a un sistema de captura y quema de biogás automatizado donde se medirán los parámetros de presión, temperatura, caudal y concentración de biogás el cual registra la destrucción del biogás en el flare (ver Figura N° 8).

**Figura N° 8. Distribución de pozos de captación de biogás Relleno Sanitario Trujillo**



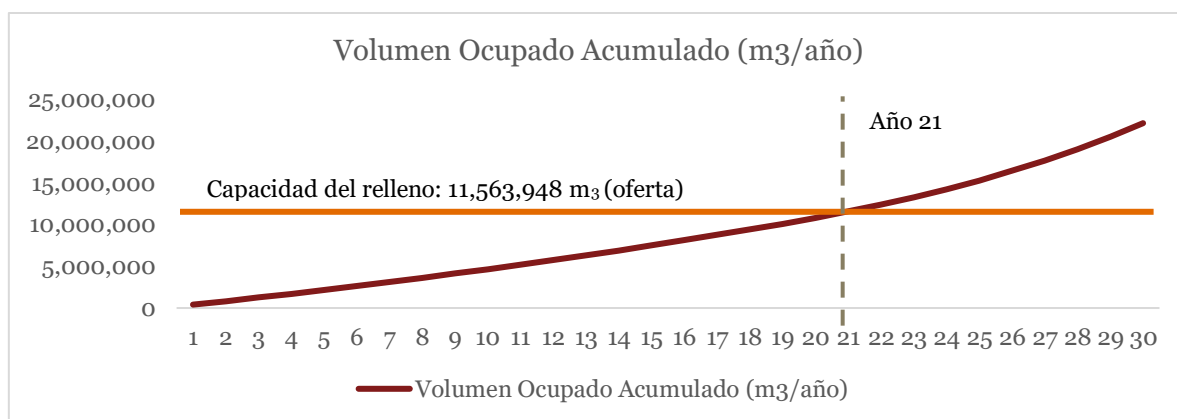
| Etapa        | Volumen de RSU(m3) | Pozos de Biogás |
|--------------|--------------------|-----------------|
| Etapa A      | 1,988,159          | 48              |
| Etapa B      | 2,297,883          | 40              |
| Etapa C      | 2,643,355          | 46              |
| Etapa D      | 3,036,955          | 56              |
| Etapa E      | 796,758            | 23              |
| <b>Total</b> | <b>10,763,110</b>  | <b>213</b>      |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.1. Cálculo de la Vida útil del Relleno Sanitario

Realizamos una proyección a 30 años, por única vez, con el objetivo de establecer una referencia para demostrar la demanda de disposición final y la vida útil del relleno. Una intersección del volumen disponible (oferta) del relleno sanitario con el volumen demandado (demanda) lo cual indica que en el año 21 convergen la oferta con la demanda; siendo esta la vida útil aproximada del relleno sanitario.

**Figura N° 9. Volumen Ocupado de Residuos sólidos**



Fuente: elaboración propia

Se usan los siguientes supuestos para las estimaciones de demanda de disposición final: la densidad del residuo sólido compactado es de 0.55ton/m<sup>3</sup>; se establece una degradación de los residuos del orden del 6% anual que conlleva a una reducción gradual del volumen ocupado en el tiempo; se establece una altura de cada nivel de 8m, contando con un total de 4 niveles y un espesor de material de cobertura de 60 cm.

Para el año 1, los cálculos realizados establecen que el volumen demandado por los residuos sólidos dispuestos sería de 366,129 m<sup>3</sup> y al finalizar el año 21 sería de 10,793,748m<sup>3</sup> (ver Anexo 06).

Para establecer la vida útil del relleno sanitario, se parte de la premisa de que se cuenta con 67 hectáreas disponibles, de las cuales se pueden emplear 54 hectáreas para celdas de relleno sanitario, quedando 13 hectáreas para vías de acceso, zona de amortiguamiento y servicios propios del relleno.

Con el cálculo realizado se concluye que la vida útil del terreno es suficiente para el proyecto planteado.

#### 4.1.1.2. Estimación de Volumen de Gases Generados en el Relleno Sanitario

Para estimar la generación y potencial reducción de emisiones a partir de los RSM emplearemos como referencia las herramientas provistas por el Mecanismos de Desarrollo Limpio (CDM, por sus siglas en inglés: “*Clean Development Mechanisms*”) de la United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)<sup>19</sup>. Esta metodología fue definida por consenso de expertos técnicos (MethPanel) y, si bien el financiamiento por medio de CDM ya no es posible, esta sigue siendo una herramienta apropiada para el cálculo de emisiones de GEI en este tipo de proyectos.

<sup>19</sup> <https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>

Las especificaciones de esta metodología son mostradas en la Tabla N°02 y los supuestos y datos detallados en el Anexo 08:

**Tabla N° 2. Herramientas para el cálculo de emisiones de GEI**

| Methodology and Tools                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACM0001 / Version 15.0.0 "Flaring or use of landfill gas"                                               |
| Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1)                                             |
| Project emissions from flaring" (Version 02.0.0)                                                        |
| Tool to calculate baseline, project and/or leakage emissions from electricity consumption" (Version 01) |

Fuente: UNFCCC

En base al volumen estimado de residuos sólidos, la composición asumida y las características climáticas del lugar, al aplicar estas herramientas al proyecto relleno sanitario de Trujillo podemos estimar que para el primer año de operación del relleno se esperaría tener un volumen de 1,343,750 Nm<sub>3</sub> de Gas de Relleno (LFG por sus siglas en inglés: "Landfill Gas").

A partir de las proyecciones de LFG y conociendo la composición de los residuos se pueden hacer estimaciones sobre la cantidad de GEI emitido por los residuos sólidos. Con esta información se pueden hacer estimaciones sobre cuántas toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes serán destruidas (tCO<sub>2</sub>e).

La tabla N° 03 muestra los resultados estimados durante el periodo de evaluación del proyecto.

**Tabla N° 3. Estimación de LFG generado en el relleno sanitario**

| Año | LFG (Nm <sub>3</sub> /año) | tCO <sub>2</sub> eq reducidas/año | Año | LFG (Nm <sub>3</sub> /año) | tCO <sub>2</sub> eq reducidas/año | Año | LFG (Nm <sub>3</sub> /año) | tCO <sub>2</sub> emitidas/año |
|-----|----------------------------|-----------------------------------|-----|----------------------------|-----------------------------------|-----|----------------------------|-------------------------------|
| 1   | 1,343,750                  | 10,716                            | 11  | 12,229,135                 | 98,495                            | 21  | 21,139,143                 | 170,346                       |
| 2   | 2,625,415                  | 21,051                            | 12  | 13,158,614                 | 105,991                           | 22  | 19,598,624                 | 157,923                       |
| 3   | 3,851,019                  | 30,934                            | 13  | 14,072,965                 | 113,364                           | 23  | 18,175,988                 | 146,451                       |
| 4   | 5,026,139                  | 40,410                            | 14  | 14,974,920                 | 120,637                           | 24  | 16,861,963                 | 135,855                       |
| 5   | 6,155,945                  | 49,521                            | 15  | 15,867,043                 | 127,832                           | 25  | 15,648,015                 | 126,065                       |
| 6   | 7,245,231                  | 58,305                            | 16  | 16,751,744                 | 134,966                           | 26  | 14,526,294                 | 117,020                       |
| 7   | 8,298,447                  | 66,798                            | 17  | 17,631,292                 | 142,058                           | 27  | 13,489,575                 | 108,660                       |
| 8   | 9,319,728                  | 75,034                            | 18  | 18,507,831                 | 149,127                           | 28  | 12,531,208                 | 100,931                       |
| 9   | 10,312,922                 | 83,043                            | 19  | 19,383,387                 | 156,187                           | 29  | 11,645,075                 | 93,786                        |
| 10  | 11,281,611                 | 90,855                            | 20  | 20,259,882                 | 163,255                           | 30  | 10,825,542                 | 87,177                        |

Fuente: Estimación propia

Las proyecciones se realizan hasta el año 30, para tener un periodo de evaluación más amplio para la implementación del proyecto de generación eléctrica. Este proyecto puede implementarse en distintos periodos, dependiendo del volumen de gas disponible.

Bajo el supuesto planteado en la sección 3.2 (Horizonte del Proyecto), se tendría un pico de gases generados en el año 21, luego del cual, la generación bajaría debido a que el Relleno Sanitario dejaría de recibir nuevos residuos, pues habría agotado su vida útil.

En función a las estimaciones de Gas, es posible proponer las etapas de implementación para la planta de generación eléctrica.

#### **4.1.2. Descripción del Proyecto de Generación Eléctrica**

De manera adicional al proyecto de relleno sanitario, se propone la implementación de un proyecto de generación eléctrica a partir del biogás generado. Este proyecto tiene el objetivo de alcanzar una mayor reducción de GEI y de ser una potencial fuente de ingresos adicional para los actores privados interesados. Para llevar esto a cabo, se propone realizar una derivación desde la estación de captura y quema de biogás hacia una estación de compresión y limpieza del biogás. Una vez que el biogás queda seco y limpio de impurezas, es enviado a través de tuberías de polietileno hacia la unidad de generación eléctrica.

La unidad de generación eléctrica se compone por moto-generadores diseñados para convertir el poder calorífico del biogás en energía eléctrica. Para el caso específico de este relleno, la propuesta consiste en la instalación gradual de cuatro unidades de generación eléctrica de 1 MW cada uno. La instalación de los moto-generadores se realizará en distintos periodos a lo largo de la vida del relleno y dependerán del volumen de biogás que se genere, el cual dependerá directamente de la cantidad de residuos que sean

dispuestos en las celdas del relleno, así como de su composición. Cada unidad de generación estará asociada a una unidad de transformación de voltaje donde se elevará la tensión de 480V hasta 22,900V, de modo que pueda ser transferida al SEIN. Para lograr esto, se propone la instalación de una red eléctrica (sistema de utilización) de aproximadamente 5km, la cual se conectará con la subestación más cercana del distribuidor local permitiendo la entrega de la energía eléctrica al SEIN.

## 4.2. Definición del Horizonte de Evaluación del Proyecto

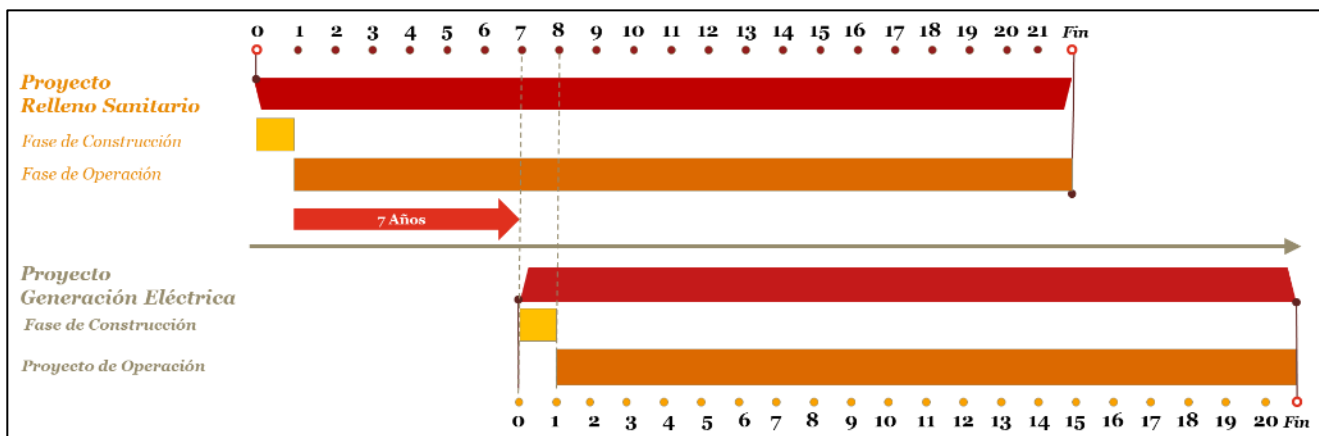
El horizonte de tiempo definido para la operación del relleno sanitario es de 21 años, ya que se trata de un proyecto de inversión con retornos a largo plazo e importante inversión inicial y ampliaciones a lo largo del proyecto. Se propone este horizonte, de manera que sea igual a la vida útil calculada del relleno sanitario. La implementación inicial de la infraestructura tendrá una duración aproximada de 1 año (para mayor detalle ver la el Anexo N°9 donde se detalla el cronograma de implementación).

Por otra parte, el plazo propuesto para el proyecto de generación eléctrica es de 20 años. Se define este horizonte temporal, pues es la duración de los contratos pactados en las subastas de Recursos Energéticos Renovables (RER), de los cuales el proyecto sería un candidato ideal, debido a su naturaleza. La implementación de la infraestructura tendría una duración aproximada de 12 meses (para mayor detalle ver la sección 3.6 donde se detalla el cronograma de implementación).

Cabe recalcar que la inversión inicial e inicio de operaciones de la generación eléctrica es posterior al primer año del proyecto de relleno sanitario. Esto es debido a que, para que el proyecto de generación eléctrica entre en funcionamiento, es necesaria una acumulación de gases suficiente y constante en el relleno.

En la Figura N°10 se muestra el horizonte del proyecto de Relleno Sanitario y del Proyecto de Generación eléctrica, como se puede apreciar, estimamos que, en el año 8 del inicio de las operaciones en el Relleno, se generaría suficiente gas para poder iniciar la generación eléctrica propuesta en las siguientes secciones. Cabe mencionar que el momento oportuno dependerá siempre de la composición de los residuos, volumen dispuesto y condiciones ambientales reales. Ver Cronogramas de Implementación en Anexo N° 09.

**Figura N° 10. Propuesta de Implementación de Proyectos**



Fuente: Elaboración Propia

## 4.3. Presupuesto de Inversión Desagregado

### 4.3.1. Presupuesto del Relleno Sanitario

El presupuesto de inversión inicial para el relleno sanitario es de US\$5.4 millones. Este monto está compuesto, principalmente, por la impermeabilización de la superficie de la primera celda con grava y geomembrana, el sistema de captura y quema de gases, el cerco perimétrico, las vías de acceso y equipos.

El costo de operaciones y mantenimiento estimados para el primer año corresponde a US\$1.2 millones, que incluye principalmente el costo de equipos y gastos de personal operario. A partir del año 2 se inician las inversiones para la captura de gas en el relleno mediante sistema de *piping* y pozos de extracción por US\$87 mil.

En los años siguientes se requerirá inversiones de ampliación de las operaciones en las siguientes celdas que incluyen impermeabilización de la superficie con grava y geomembrana similares a las de la primera celda, así como sistemas de captura que serán canalizados hasta el quemador inicialmente implementado. Estas inversiones serán realizadas aproximadamente en los años 5, 10, 15 y 20. Por otro lado, en el año 10 se requerirá, una compra adicional de equipos para soportar el volumen de residuos que se recibirán.

#### 4.3.1.1. Presupuesto Inicial del Relleno Sanitario

La Tabla N°4 resume las inversiones necesarias para poner en operación el relleno sanitario de Trujillo. Esto incluye construcciones de instalaciones e infraestructuras dentro del terreno designado y otras fuera para asegurar el correcto funcionamiento y llegada de residuos al relleno.

**Tabla N° 4. Presupuesto Inicial Agregado**

| Detalle                                                           | Miles US\$   |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>O. Estudios Previos y MRV</b>                                  |              |
| 0.1. Estudios Básicos para Evaluación Ambiental Preliminar - EVAP | 35           |
| 0.2. Formulación del IGA (EIA Detallado)                          | 86           |
| 0.3. Formulación del Expediente Técnico                           | 24           |
| 0.4. Implementación de MRV                                        | 110          |
| Gastos Generales                                                  | 52           |
| <b>Subtotal</b>                                                   | <b>307</b>   |
| <b>I. Construcciones dentro del Relleno</b>                       |              |
| 1.1. Construcciones en Áreas Administrativas                      | 34           |
| 1.2. Construcción de Vías de Acceso Interiores                    | 20           |
| 1.3. Construcción de Poza de Lixiviados                           | 7            |
| 1.4. Adquisición de Mobiliario y Equipos de Protección            | 4            |
| 1.5. Impermeabilización Primera Celda                             | 2,197        |
| 1.6. Sistema de Succión y Quema de Biogás                         | 526          |
| Gastos Generales                                                  | 573          |
| <b>Subtotal</b>                                                   | <b>3,361</b> |
| <b>II. Construcciones fuera del Relleno</b>                       |              |
| 2.1. Carretera Externa                                            | 939          |
| Gastos Generales                                                  | 193          |
| <b>Subtotal</b>                                                   | <b>1,132</b> |
| <b>III. Otros equipos e instalaciones</b>                         |              |
| 3.1. Equipos, vehículos e Implementación                          | 425          |
| 3.2. Instalaciones Especiales                                     | 22           |
| Gastos generales                                                  | 94           |
| <b>Subtotal</b>                                                   | <b>542</b>   |
| <b>Gastos administrativos pre-operativos</b>                      | <b>80</b>    |
| <b>Total general inversión inicial</b>                            | <b>5,422</b> |

Fuente: Proveedores de Tecnología y Estimaciones de Experto

El presupuesto total asciende a los US\$5.4 millones, incluyendo los costos y gastos generales para construcción de las diversas infraestructuras. Con esto se debería poder operar la primera celda de las 05 celdas propuestas para el servicio de disposición final (celda "A", ver figura N° 07). La propuesta que planteamos es que esta inversión sea financiada en un 20% por capital propio de la Empresa Operadora de RRSS (o algún otro inversionista financiero) y 80% por endeudamiento bancario (ya sea banca comercial o de segundo piso).

#### 4.3.1.2. Costos de Operación, Mantenimiento y Ampliación

Para asegurar la correcta operación del relleno sanitario se debe contar con un staff técnico operativo capacitado. De esta manera, se podrá proveer un servicio de disposición final adecuado y evitar que el relleno termine convirtiéndose en un botadero por mala gestión.

Para este propósito también es necesario adquirir materiales e implementos, así como alquilar maquinaria y pagar por el mantenimiento de maquinarias propias. Estas actividades están en función del volumen de residuos dispuesto. Para el primer año de operación se estima un total de US\$1.3 millones, y a partir del año 2 US\$87 mil a valores actuales. El detalle de este monto se muestra en la Tabla N° 5:

**Tabla N° 5. Costos Operativos Anuales en Relleno**

| Detalle                                                             | Miles US\$   |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>I. OPEX</b>                                                      |              |
| Alquileres de Vehículos y Mantenimiento                             | 631          |
| Personal                                                            | 345          |
| Materiales e Implementos                                            | 15           |
| Otros costos operativos                                             | 105          |
| Gastos administrativos                                              | 159          |
| <b>Subtotal OPEX</b>                                                | <b>1,255</b> |
| <b>II. Inversiones para ampliación anuales (a partir del año 2)</b> |              |
| Piping                                                              | 51           |
| Pozos de Extracción                                                 | 21           |
| Gastos generales                                                    | 15           |
| <b>Subtotal Inversiones para Operación</b>                          | <b>87</b>    |
| <b>Total general costos de operación</b>                            | <b>1,343</b> |

Fuente: Estimación de Experto

Los costos mencionados corresponden al primer año de operaciones, en los años posteriores es posible que estos costos se incrementen debido al efecto de la inflación. Asimismo, las inversiones de ampliación anuales corresponden a la instalación de nuevas tuberías y pozos de extracción que se instalan para capturar un mayor volumen de biogás, producto de un aumento en la capacidad ocupada del relleno.

Con respecto a la ampliación de las operaciones, se requerirá la implementación de 4 celdas más luego de la primera inversión. Se prevé que estas celdas (celdas “B”, “C”, “D” y “E”, ver Figura N° 7) deberían ser construidas en los años 5, 10, 15 y 20, respectivamente, con el objetivo de dar inicio de operaciones en el año siguiente. De manera adicional, en el año 10, se tendrá que adquirir equipamiento para cubrir las necesidades del mayor volumen de residuos que se espera manejar.

**Tabla N° 6. Inversiones de Ampliación – Relleno Sanitario**

| Detalle                          | Miles US\$ |
|----------------------------------|------------|
| <b>Inversiones de ampliación</b> |            |
| Ampliación año 5                 | 2,920      |
| Ampliación año 10                | 3,763      |
| Compra de Equipos año 10         | 659        |
| Ampliación año 15                | 5,312      |
| Ampliación año 20                | 2,209      |

Fuente: Estimación de Experto

Con respecto a las inversiones en los años posteriores, estas serían financiadas íntegramente con deuda, excepto en el año 20. Esta última ampliación será financiada con reinversión de los flujos del proyecto. Estos valores se presentan a valores afectados por inflación.

#### 4.3.2. Presupuesto para Proyecto de Generación de Energía Eléctrica

##### 4.3.2.1. Presupuesto Inicial de Planta de Generación de Energía Eléctrica

Para esta etapa se prevé un presupuesto de US\$4.9 millones, incluyendo costos de suministros y construcción. Este desembolso se ejecutaría en el año 7 del Relleno Sanitario (Ver Figura N°10), debido a que la instalación de los moto-generadores depende del volumen de biogás anual disponible.

**Tabla N° 7. Presupuesto Estimado para Proyecto de Generación de Energía a partir de Biogás**

| Detalle                                                                         | Miles US\$   |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>2.1. Estación de Compresión y Limpieza</b>                                   |              |
| Sistema de Compresión y Limpieza                                                | 238          |
| Transporte                                                                      | 36           |
| Obras Civiles                                                                   | 18           |
| Obras Electromecánicas                                                          | 7            |
| <b>Subtotal</b>                                                                 | <b>298</b>   |
| <b>2.2. Motogeneradores</b>                                                     |              |
| Motogeneradores                                                                 | 1,070        |
| Transporte                                                                      | 18           |
| Obras Civiles                                                                   | 36           |
| Obras Electromecánicas                                                          | 107          |
| <b>Subtotal</b>                                                                 | <b>1,230</b> |
| <b>2.3. Subestación Eléctrica</b>                                               |              |
| Transformadores                                                                 | 53           |
| Celdas                                                                          | 37           |
| Transporte                                                                      | 12           |
| Obras Civiles                                                                   | 36           |
| Obras Electromecánicas                                                          | 27           |
| <b>Subtotal</b>                                                                 | <b>166</b>   |
| <b>Gastos Generales</b>                                                         | <b>356</b>   |
| <b>Sub total (2.1+2.2+2.3+gastos generales)</b>                                 | <b>2,050</b> |
| <b>Sub total (2.1+2.2+2.3+gastos generales) X 2 Motogeneradores en el año 1</b> | <b>4,101</b> |
| <b>Gastos administrativos pre operativos (Anual)</b>                            | <b>32</b>    |
| <b>2.4. Línea de Transmisión 5Km (única vez)</b>                                | <b>719</b>   |
| <b>Total general planta de generación</b>                                       | <b>4,852</b> |

Fuente: Estimación de Experto

Posteriormente se requerirá implementar 2 moto generadores más en los años 5 y 10 respectivamente. Se mantiene una estructura de costos similar a la inversión anterior e incremento por inflación.

**Tabla N° 8. Inversiones de ampliación – Planta de Generación Eléctrica**

| Detalle                                       | Miles US\$ |
|-----------------------------------------------|------------|
| <b>Inversiones de ampliación</b>              |            |
| 3er moto generador y costos de implementación | 2,320      |
| 4to moto generador y costos de implementación | 2,625      |

Fuente: Estimación de Experto

#### *4.3.2.2. Costos Operativos en Planta de Generación de Energía Eléctrica*

La planta de generación de energía se maneja por 05 operarios, quienes realizan las actividades de mantenimiento de la planta de compresión y limpieza de generadores, transformadores y sistema de utilización. Estas actividades son programadas de acuerdo a la ficha técnica de cada componente.

Las tablas N° 9 y 10 muestran los costos de operación y mantenimiento (O&M) de la planta de generación de energía:

**Tabla N° 9. Costos Operativos y Administrativos en Planta de Generación de Energía Eléctrica**

| Cargo                                     | # de Trabajadores | Gastos Mensuales (miles US\$) | Gastos Anuales (miles US\$) |
|-------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Operadores/Ayudantes Mecánicos/eléctricos | 5                 | 8                             | 96                          |
| Planilla Administrativos                  | -                 | -                             | 27                          |

Fuente: Estimación de Experto

**Tabla N° 10. Costos de Mantenimiento Anuales en Planta de Generación de Energía Eléctrica**

| Detalle                                               | Miles US\$ |
|-------------------------------------------------------|------------|
| Mantenimiento de planta de compresión (fijo)          | 21         |
| Mantenimiento LT/SE/Sala de Control (fijo)            | 51         |
| Mantenimiento de Generadores (variable por generador) | 182        |
| Mantenimiento Planta de Tratamiento de Biogás (fijo)  | 4          |
| Mantenimiento de casa de fuerza (fijo)                | 11         |
| <b>Total General</b>                                  | <b>269</b> |

Fuente: Estimación de Experto

También por estar interconectado al SEIN se realizan pagos a los diferentes operadores del SEIN por lo que se tiene presupuestado US\$ 64 mil anuales por este concepto (ver Tabla N° 11).

**Tabla N° 11. Costos Anuales Asociados a la Venta de Energía**

| Detalle                                            | Miles US\$ |
|----------------------------------------------------|------------|
| Pago al Distribuidor por uso de redes              | 30         |
| Monitoreos ambientales /Plan de manejo de residuos | 12         |
| Impuesto OSINERG-DGE (aporte a OSINERG)            | 15         |
| Impuesto COES (Aporte al COES)                     | 6          |
| Pago a Generadores                                 | 5          |
| <b>Total General</b>                               | <b>69</b>  |

Fuente: Estimación de Experto

## 4.4. Proyecciones Financieras

En esta sección se contemplan las proyecciones estimadas para los proyectos de Relleno Sanitario y Generación Eléctrica. Con el objetivo de facilitar la evaluación y visibilidad de los flujos, resultados y beneficios, presentamos el análisis de ambos proyectos por separado.

### 4.4.1. Flujo de Caja del Proyecto – Relleno Sanitario

Se plantean dos alternativas distintas con las que se puede financiar la construcción de la infraestructura inicial de relleno sanitario:

- Opción 1: Licitación a Empresa Privada para Todo el Proyecto de Relleno Sanitario (Project Finance). Empresa Privada se encarga de la Construcción y Operación y Mantenimiento de la Obra de Infraestructura. Se aseguran los flujos de ingresos al asegurar el préstamo del servicio mediante contrato de concesión por parte de las municipalidades.
- Opción 2: Obra Pública para la Inversión Inicial y Licitación a Empresa Privada para la de Operación y Ampliación del Relleno Sanitario

En la sección 4 se entrará más en detalle sobre las opciones de financiamiento sugeridas.

Los resultados principales de este proyecto son los siguientes (los datos monetarios se encuentran a valores futuros afectados por inflación):

**Tabla N° 12. Resultados principales – Relleno Sanitario**

| Datos relevantes del proyecto                     | Opción 1:<br>Project<br>Finance | Opción 2:<br>Obra Pública +<br>Licitación de<br>Operación |
|---------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| TM dispuestas al día                              | 1,003                           | 1003                                                      |
| Tasa de crecimiento de RRSS <sub>20</sub>         | 2.8%                            | 2.8%                                                      |
| Tarifa promedio (PEN/TM)                          | 28.7                            | 27.4                                                      |
| Tarifa MIN (PEN/TM)                               | 22.5                            | 17.1                                                      |
| Tarifa MAX (PEN/TM)                               | 35.9                            | 36                                                        |
| CAPEX inicial (Millones US\$)                     | 5.3                             |                                                           |
| OPEX anual (1er año - Millones US\$)              | 1.3                             | 1.3                                                       |
| Margen Operativo Promedio                         | 27%                             | 30%                                                       |
| <b>Inversiones de Ampliación (Millones US\$):</b> |                                 |                                                           |
| Año 5                                             | 2.9                             | 2.9                                                       |
| Año 10                                            | 4.4                             | 4.4                                                       |
| Año 15                                            | 5.3                             | 5.3                                                       |
| Año 20                                            | 2.2                             | 2.2                                                       |
| % Financiamiento Inversión Inicial                | 80%                             | 0%                                                        |
| Retorno para el accionista                        | 21%                             | -                                                         |
| VAN Económico (Millones US\$)                     | 3.3                             | 2.2                                                       |
| Payback (Años)                                    | 7                               | 1                                                         |

Fuente: Elaboración propia

<sup>20</sup> Resultante de aplicar un crecimiento poblacional de 1.8% y un crecimiento de generación de residuos percapita de 1%, para mayor detalle ver Anexo 04.

Los principales supuestos utilizados para las proyecciones se basan en los presupuestos detallados en la sección 3.4. Por otro lado, utilizamos los supuestos mostrados en la tabla N° 13 que impactan en la proyección de los flujos de caja económico y disponible para el servicio de la deuda:

**Tabla N° 13. Principales Supuestos – Flujo de caja del Proyecto – Relleno Sanitario**

| Detalle                                                      | Supuesto                                | Fuente                                        |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Tipo de Cambio                                               | 3.38                                    | Tipo de Cambio histórico de noviembre de 2018 |
| Gastos Administrativos Año 0 (US\$)                          | 80,000                                  | Estimación propia                             |
| % Seguro                                                     | 6.0%                                    | Análisis de mercado propio                    |
| Inflación                                                    | 2.5%                                    | Supuesto Estándar                             |
| Gastos Administrativos CAPEX                                 | 10.0%                                   | Supuesto Estándar                             |
| % Utilidad CAPEX                                             | 10.0%                                   | Supuesto Estándar                             |
| Impuesto a la Renta                                          | 29.5%                                   | Tasa efectiva de impuesto a la renta Estándar |
| <b>Tarifa</b>                                                |                                         |                                               |
| <b>Opción 1: Licitación por todo el proyecto</b>             |                                         |                                               |
| Tarifa estándar (PEN)                                        | 22 - 24                                 | Valor Propuesto para la rentabilidad deseada  |
| <b>Opción 2: Obra pública + Licitación para ampliaciones</b> |                                         |                                               |
| Tarifa Base 5 primeros años (PEN) – Valores actuales         | 17 - 20                                 | Valor Propuesto para la rentabilidad deseada  |
| Tarifa Ampliaciones años siguientes (PEN) Valores actuales   | 22 - 24                                 | Valor Propuesto para la rentabilidad deseada  |
| <b>Financiamiento</b>                                        |                                         |                                               |
| % Capital Accionistas año 1                                  | 20%                                     | Valor Propuesto                               |
| % Capital Accionistas resto de años u opción 2               | 0%                                      | Valor Propuesto                               |
| Costo de Capital (Ke)                                        | 20%                                     | Operadores de RRSS consultados                |
| Costo de Deuda (Kd)                                          | 7% hasta 5 años,<br>8.6% mayor a 5 años | Supuesto Estándar                             |

Fuente: Elaboración propia

Las tarifas planteadas para las dos opciones en la tabla anterior son bastante razonables si se les compara con los precios ofertados en otros rellenos sanitarios:

**Tabla N° 14. Comparación con tarifas de Mercado**

| Empresa                                                                    | Tarifa (en PEN)                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Petramas - Relleno Sanitario Huaycoloro - Lima                             | 14                                                                    |
| Innova Ambiental – Relleno La Cumbre - Trujillo (tarifa de mercado actual) | 40                                                                    |
| Opción 1 (Licitación por todo el proyecto) – Valores actuales              | 22 - 24                                                               |
| Opción 2 (Obra pública + Licitación para ampliaciones) – Valores actuales  | 17 - 20 primeros 5 años<br>22 - 24 los siguientes años (ampliaciones) |

Fuente: Elaboración propia

La tarifa para el relleno sanitario de Trujillo es mayor a la cobrada en el relleno más grande de Lima (Huaycoloro), debido a su escala, pues Huaycoloro recibe cerca de 5,000 ton/día, mientras que el relleno de Trujillo recibiría tan solo 1,000 ton/día.

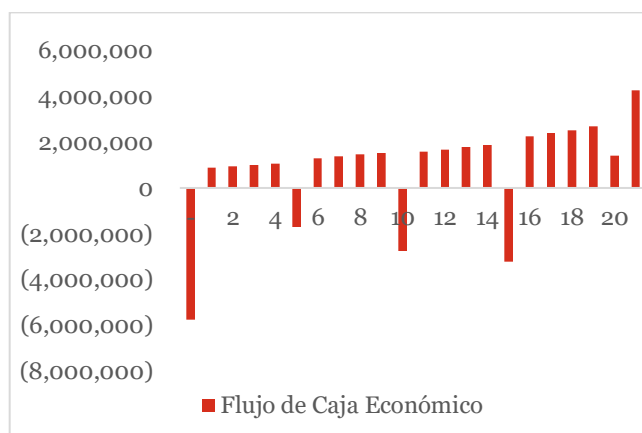
Con respecto a la tarifa cobrada en el otro relleno de Trujillo, “La Cumbre”, de Innova Ambiental, la tarifa para el proyecto planteado en este análisis es considerablemente menor. Esto se explicaría, en parte, por el costo del terreno en el que Innova Ambiental incurrió, mientras que, en el caso de análisis, no se incurre en costos de compra de terreno puesto que, éste es donado por el Gobierno Regional.

#### 4.4.1.1. Opción 1: Licitación a Empresa Privada para Todo el Proyecto de Relleno Sanitario (Project Finance)

##### a. Flujo de Caja Económico

El siguiente gráfico muestra los flujos de caja económicos obtenidos a partir de las proyecciones de flujos de efectivo, los cuales luego son detallados en la Tabla N° 15.

**Figura N° 11. Flujo de Caja Económico – Relleno Sanitario**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 15. Resumen Flujo de Caja Económico – Relleno Sanitario**

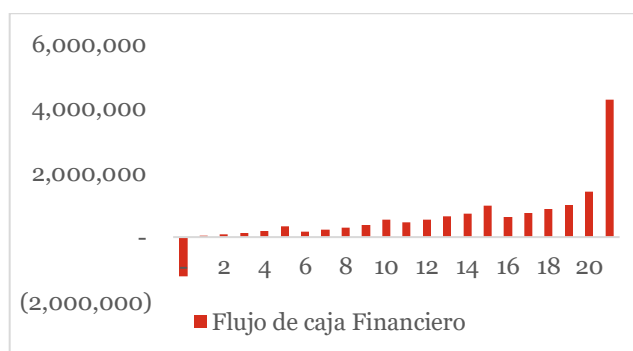
| Flujo de Caja Económico |             |
|-------------------------|-------------|
| Inversión Inicial       | (5,736,208) |
| Año 1                   | 890,105     |
| Año 2                   | 945,339     |
| Año 3                   | 991,052     |
| Año 4                   | 1,066,110   |
| Año 5                   | (1,692,305) |
| Año 6                   | 1,300,732   |
| Año 7                   | 1,374,062   |
| Año 8                   | 1,451,660   |
| Año 9                   | 1,533,764   |
| Año 10                  | (2,740,231) |
| Año 11                  | 1,585,308   |
| Año 12                  | 1,677,913   |
| Año 13                  | 1,776,366   |
| Año 14                  | 1,880,711   |
| Año 15                  | (3,202,113) |
| Año 16                  | 2,256,814   |
| Año 17                  | 2,385,092   |
| Año 18                  | 2,522,942   |
| Año 19                  | 2,672,406   |
| Año 20                  | 1,400,287   |
| Año 21                  | 4,255,760   |

Fuente: Elaboración propia

El flujo contempla cinco periodos de inversión. Estos son: (i) inversión inicial en el año 0, (ii) construcción de la segunda celda en el año 5, (iii) construcción de la tercera celda en el año 10, (iv) construcción de la cuarta celda en el año 15 y (v) construcción de la quinta celda en el año 20. Las primeras 4 inversiones son fácilmente observables en el flujo económico. La cuarta, sin embargo, al ocurrir en un periodo tan cercano al fin de la vida del relleno, se planteó como una inversión propia del operador, sin requerir financiamiento bancario, la cual es cubierta con provisiones realizadas en años anteriores.

#### b. Flujo de Caja Financiero

**Figura N° 12. Flujo de Caja Financiero– Relleno Sanitario**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 16. Resumen Flujo de Caja Financiero – Relleno Sanitario**

| Flujo de Caja Financiero |             |
|--------------------------|-------------|
| Inversión Inicial        | (1,211,242) |
| Año 1                    | 51,455      |
| Año 2                    | 92,971      |
| Año 3                    | 123,786     |
| Año 4                    | 182,666     |
| Año 5                    | 342,769     |
| Año 6                    | 173,680     |
| Año 7                    | 234,611     |
| Año 8                    | 298,825     |
| Año 9                    | 366,482     |
| Año 10                   | 548,652     |
| Año 11                   | 463,177     |
| Año 12                   | 547,986     |
| Año 13                   | 638,097     |
| Año 14                   | 733,516     |
| Año 15                   | 979,908     |
| Año 16                   | 623,855     |
| Año 17                   | 740,077     |
| Año 18                   | 865,028     |
| Año 19                   | 1,000,690   |
| Año 20                   | 1,400,287   |
| Año 21                   | 4,255,760   |

Fuente: Elaboración propia

La tarifa de disposición final, la cual sería pagada por la municipalidad, es calculada como aquel valor que permita al accionista alcanzar una rentabilidad esperada razonable (aproximadamente 20% de retorno) y poder cubrir el costo del financiamiento (ratio de servicio de la deuda mínimo de 1.2). En los años subsiguientes esta tarifa se incrementa por inflación de 2.5% anual. Para este caso, se plantea una tarifa de

equilibrio inicial de **S/22** por tonelada dispuesta de RRSS a valores actuales, tarifa con la cual se obtuvieron los resultados expuestos en la Figura N° 12 y Tabla N° 16. Sin embargo, al existir diversas variables que podría afectar la rentabilidad del proyecto, se propone un rango para la tarifa del proyecto que oscila entre los **S/21.4** y **S/23.5** por tonelada dispuesta en el Relleno.

La fijación de tarifas de equilibrio se realiza de la siguiente manera: se iguala el Valor Actual Neto (VAN) del flujo de caja financiero del proyecto lo más cercano a un valor de US\$0, manteniendo un ratio de cobertura de la deuda de 1.2, de modo que se pueda asegurar la sostenibilidad financiera del negocio y repago del financiamiento, así como que el accionista logre alcanzar una rentabilidad razonable para el sector de 20%. Esta tarifa de equilibrio inicial tendría un ajuste anual por inflación de acuerdo a los supuestos descritos en la Tabla N°13.

Las tarifas resultantes no se ven afectadas por los ingresos generados por el Proyectos de Generación Eléctrica debido a que para el presente análisis se analizan estos proyectos de forma independiente. Ver Sección 3.1 para mayor detalle.

#### ***4.4.1.2. Opción 2: Obra Pública para la Inversión Inicial y Licitación a Empresa Privada para Operación y Ampliación del Relleno Sanitario***

En este caso, se asume que el gobierno es el encargado del financiamiento y construcción de la infraestructura de relleno sanitario (ya sea mediante una inversión directa del gobierno, o mediante un esquema de Obras por Impuestos); posteriormente licita la operación a una Empresa Operadora de RRSS. De manera similar al apartado anterior, la municipalidad es la demandante del servicio de disposición final, para lo cual paga una tarifa previamente pactada.

Cabe resaltar que para el caso en el cual el privado sólo participa de la operación y ampliación del relleno, se contemplan dos fases bien diferenciadas: (i) cuando opera la primera celda ejecutada por el Estado hasta su agotamiento y (ii) cuando realiza las inversiones de ampliación hasta utilizar la totalidad del terreno disponible. Las inversiones de ampliación hacen referencia, únicamente, a la construcción e implementación de las nuevas celdas, necesarias para que el relleno sanitario pueda continuar con su operación. Estas dos fases requieren distintos niveles de tarifas para permitirle al inversionista alcanzar una rentabilidad razonable. La tarifa de la primera fase será menor que la de la segunda fase, pues no se contemplan desembolsos por inversiones en la infraestructura, ya que ésta inversión la realiza el Estado.

Para el presente modelo, se plantean tarifas distintas para las fases descritas previamente, las cuales deben ser pactadas con la Municipalidad mediante un acuerdo a largo plazo:

- (i) Tarifa propuesta inicial: **S/17 – S/20** por Tonelada dispuesta en el Relleno Sanitario a valores actuales. Esta tarifa permite al operador cubrir sus costos operativos y alcanzar un margen operativo razonable de 30%. En los años subsiguientes esta tarifa se incrementa por inflación de 2.5% anual.
- (ii) Tarifa propuesta inicial: **S/22 – S/24** por Tonelada dispuesta en el Relleno Sanitario a valores actuales. El incremento en tarifa se explica porque ahora el operador debe afrontar egresos financieros por efecto de las inversiones de ampliación que realiza. En los años subsiguientes esta tarifa se incrementa por inflación de 2.5% anual.

El cálculo de la tarifa para este caso es distinto a la Opción 1, en la que la inversión inicial está a cargo del inversionista. En este caso, la tarifa es fijada de tal manera que permita obtener un Margen Operativo promedio del proyecto razonable (aproximadamente 30%), esto debido a que, al no haber una inversión inicial, usar el indicador del VAN no es aplicable. El Margen Operativo se define como la diferencia entre el total de los ingresos a lo largo de la vida del proyecto y el total de los costos y gastos. Este último componente incluye todos los costos y gastos operativos, de mantenimiento, administrativos, depreciación y amortización y otros gastos en los que incurra el operador. Por otro lado, la tarifa fijada debe permitir poder cubrir el costo del financiamiento (ratio de servicio de la deuda mínimo de 1.2).

Las tarifas resultantes no se ven afectadas por los ingresos generados por el Proyectos de Generación Eléctrica debido a que para el presente análisis se analizan estos proyectos de forma independiente. Ver Sección 3.1 para mayor detalle.

Para el caso del flujo financiero, se suavizan los periodos de inversión mediante endeudamiento, permitiendo también generar mayor rentabilidad al accionista.

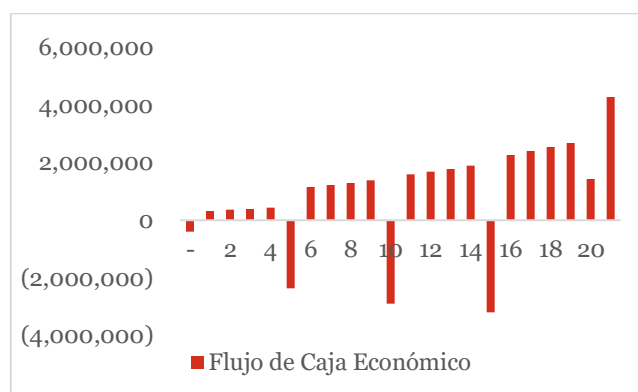
Se propone que el último periodo de endeudamiento sea de sólo 5 años, de modo que se termine de pagar la deuda para el año 19 y los últimos 2 años queden sin ningún tipo de deuda pendiente

Esto disminuye la percepción de riesgos para los bancos, ya que aún quedarían años de operación en los que el accionista puede pagar su deuda, en caso no haya terminado de hacerlo en el periodo pactado inicialmente.

A continuación, se presentan los flujos de caja económicos para el caso en el cual la inversión inicial ocurre como obra pública y se licita la operación y mantenimiento por APP.

#### a. Flujo de Caja Económico

**Figura N° 13. Flujo de Caja Económico – Operación Relleno Sanitario**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 17. Resumen Flujo de Caja Económico – Operación Relleno Sanitario**

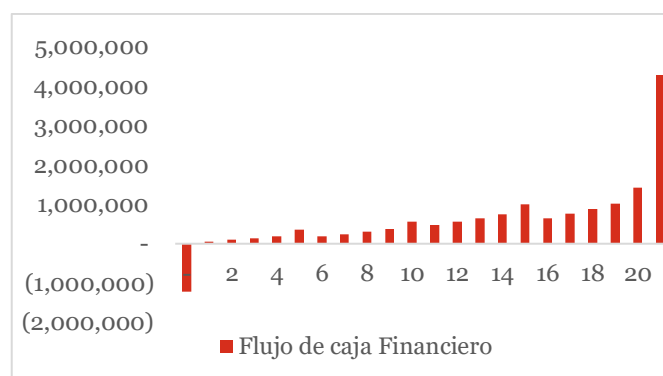
| Flujo de Caja Económico |             |
|-------------------------|-------------|
| Inversión Inicial       | (393,861)   |
| Año 1                   | 323,297     |
| Año 2                   | 356,371     |
| Año 3                   | 378,721     |
| Año 4                   | 429,150     |
| Año 5                   | (2,355,232) |
| Año 6                   | 1,230,838   |
| Año 7                   | 1,290,743   |
| Año 8                   | 1,353,968   |
| Año 9                   | 1,420,686   |
| Año 10                  | (2,869,780) |
| Año 11                  | 1,717,117   |
| Año 12                  | 1,789,178   |
| Año 13                  | 1,865,640   |
| Año 14                  | 1,946,446   |
| Año 15                  | (3,161,575) |
| Año 16                  | 2,415,306   |
| Año 17                  | 2,511,679   |
| Año 18                  | 2,615,379   |
| Año 19                  | 2,728,290   |
| Año 20                  | 1,424,060   |
| Año 21                  | 4,273,429   |

Fuente: Elaboración propia

La principal diferencia respecto al flujo anterior es que no se requeriría una inversión inicial y se podría llegar a obtener una tarifa menor para los primeros años de operación, hasta que se alcance la vida útil de la Celda "A".

## b. Flujo de Caja Disponible para Servicio de la Deuda

**Figura N° 14. Flujo de Caja Financiero – Operación Relleno Sanitario**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 18. Resumen Flujo de Caja Financiero– Operación Relleno Sanitario**

| Flujo de Caja Financiero |           |
|--------------------------|-----------|
| Inversión Inicial        | (142,772) |
| Año 1                    | 323,297   |
| Año 2                    | 356,371   |
| Año 3                    | 378,721   |
| Año 4                    | 429,150   |
| Año 5                    | 580,856   |
| Año 6                    | 414,362   |
| Año 7                    | 483,007   |
| Año 8                    | 555,585   |
| Año 9                    | 632,310   |
| Año 10                   | 824,314   |
| Año 11                   | 473,596   |
| Año 12                   | 558,970   |
| Año 13                   | 649,676   |
| Año 14                   | 745,724   |
| Año 15                   | 992,778   |
| Año 16                   | 637,422   |
| Año 17                   | 754,380   |
| Año 18                   | 880,107   |
| Año 19                   | 1,016,587 |
| Año 20                   | 1,424,060 |
| Año 21                   | 4,273,429 |

Fuente: Elaboración propia

## 4.4.2. Flujo de Caja del Proyecto – Generación de Energía Eléctrica

Los resultados principales de este proyecto son los siguientes (los datos monetarios se encuentran a valores futuros afectados por inflación):

**Tabla N° 19. Resultados principales – Planta de Generación Eléctrica**

| Datos relevantes del proyecto                     |        |
|---------------------------------------------------|--------|
| Generación por generador MWh/año                  | 16,245 |
| Tarifa promedio (US\$/MWh)                        | 120.2  |
| Tarifa MIN (US\$/MWh)                             | 94.1   |
| Tarifa MAX (US\$/MWh)                             | 150    |
| CAPEX inicial (Millones US\$) - Generador 1 y 2   | 4.8    |
| OPEX anual (1er año - Millones US\$)              | 0.56   |
| Margen Operativo Promedio                         | 48%    |
| <b>Inversiones de Ampliación (Millones US\$):</b> |        |
| -Año 5 - Generador 2                              | 2.3    |
| -Año 10 - Generador 3                             | 2.6    |
| % Financiamiento Inversión Inicial                | 80%    |
| Retorno para el accionista                        | 25%    |
| VAN (Millones US\$)                               | 5.2    |
| Payback (Años)                                    | 7      |

Fuente: Elaboración propia

El siguiente análisis contempla únicamente las proyecciones financieras relacionadas al proyecto de generación de energía, de manera independiente a los flujos del relleno sanitario. Se encontró conveniente realizar el ejercicio de esta manera, pues permite entender y evaluar por separado el proyecto y los costos y beneficios propios de cada línea de negocio, de modo que sea más sencillo decidir por qué modelo optar.

Los principales supuestos utilizados para las proyecciones del flujo de caja del proyecto de generación de energía eléctrica se basan en los presupuestos detallados en la sección 3.3.2. Por otro lado, utilizamos los siguientes supuestos adicionales que impactan en la proyección de los flujos de caja relevantes.

**Tabla N° 20. Principales supuestos – Flujo de caja del Proyecto – Planta de Energía**

| Detalle                                        | Supuesto                                | Fuente                                                                                              |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Capacidad por motogeneradora (Mwh)             | 1.14                                    | Cotización de John Zink                                                                             |
| Horas de Operación Anual                       | 8,000                                   | Estimación propia                                                                                   |
| Tipo de Cambio                                 | 3.38                                    | Tipo de Cambio histórico de noviembre de 2018                                                       |
| Autoconsumo                                    | 5%                                      | Estimación propia                                                                                   |
| Pérdidas por Transformación                    | 6%                                      | Estimación propia                                                                                   |
| Inflación                                      | 2.5%                                    | Supuesto Estándar                                                                                   |
| Gastos Administrativos CAPEX                   | 10.0%                                   | Supuesto Estándar                                                                                   |
| % Utilidad CAPEX                               | 10.0%                                   | Supuesto Estándar                                                                                   |
| Impuesto a la Renta                            | 29.5%                                   | Tasa efectiva de impuesto a la renta Estándar                                                       |
| TAX OSINERG-DGE                                | 1.0%                                    | Supuesto Estándar                                                                                   |
| <b>Tarifa</b>                                  |                                         |                                                                                                     |
| Tarifa cobrada (US\$ por Mwh)                  | 94                                      | Valor Propuesto para la rentabilidad deseada. US\$77 a valores actuales, más la inflación de 6 años |
| <b>Financiamiento</b>                          |                                         |                                                                                                     |
| % Capital Accionistas año 1                    | 20%                                     | Valor Propuesto                                                                                     |
| % Capital Accionistas resto de años u opción 2 | 0%                                      | Valor Propuesto                                                                                     |
| Costo de Capital (Ke)                          | 20%                                     | Operadores de RRSS consultados                                                                      |
| Costo de Deuda (Kd)                            | 7% hasta 5 años,<br>8.6% mayor a 5 años | Supuesto Estándar                                                                                   |

Fuente: Elaboración propia

La fijación de tarifas de equilibrio se realiza de la siguiente manera: se iguala el Valor Actual Neto (VAN) del flujo de caja financiero del proyecto lo más cercano a un valor de US\$0, manteniendo un ratio de cobertura de la deuda de 1.2, de modo que se pueda asegurar la sostenibilidad financiera del negocio y repago del financiamiento, así como que el accionista logre alcanzar una rentabilidad razonable para el sector de 20%. Esta tarifa de equilibrio inicial tendría un ajuste anual por inflación de acuerdo a los supuestos descritos en la Tabla N°20.

Luego de realizar el análisis correspondiente con una tarifa de **US\$94**, la tarifa de equilibrio que resulta de este ejercicio se encuentra en el rango de **US\$ 93.3 – US\$97.5**, estos valores representan una tarifa a valores actuales de **US\$76.6 – US\$80**, descontado por la inflación a 8 años, que es cuando el proyecto entraría en operación. Cabe mencionar que esta tarifa debe ser confirmada mediante la subasta RER, y no sería garantizada hasta ese momento.

**Tabla N° 21. Tarifas referenciales de las últimas Subastas RER**

| Proyecto                 | Postor                   | Precio Adjudicado (US\$/Mwh) | Subasta (Año)           |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|
| CT Huaycoloro            | Petramás                 | 110.0                        | 1era Subasta RER (2010) |
| CT La Gringa V           | Consorcio Energía Limpia | 99.9                         | 2da Subasta RER (2011)  |
| CT Biomasa Callao        | Consorcio Energía Limpia | 77.0                         | 4ta Subasta RER (2016)  |
| CT Biomasa Huaycoloro II | Consorcio Energía Limpia | 77.0                         | 4ta Subasta RER (2016)  |

Fuente: Elaboración propia: <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/subastas>

Tomando en consideración la tarifa pagada en la última subasta RER para el tipo de tecnología de generación eléctrica a partir de biogás, con un valor de US\$77 por Mwh, en el Relleno Sanitario de Huaycoloro en Lima, el valor planteado resulta bastante razonable. Estos valores hacen sentido, pues el relleno planteado es de pequeñas dimensiones si se le compara con el relleno al que se le adjudicó la tarifa mencionada (Huaycoloro), el cual recibe cerca de 5,000 ton/día, en comparación a las casi 1,000 ton/día que recibiría el relleno de Trujillo. Cabe resaltar que la implementación del proyecto de generación eléctrica no incide de ninguna forma sobre las tarifas cobradas en el proyecto de disposición final. Ambos proyectos son evaluados de forma independiente, por lo que no se contempla el traslado de los costos inherentes de la planta de generación a los usuarios del servicio de disposición final.

Se plantea la implementación de la planta de generación a partir del Año 7 de evaluación del proyecto de Relleno Sanitario, para lograr el inicio de operaciones en el año 8. De este modo, es posible iniciar con la

<sup>21</sup> <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/subastas>

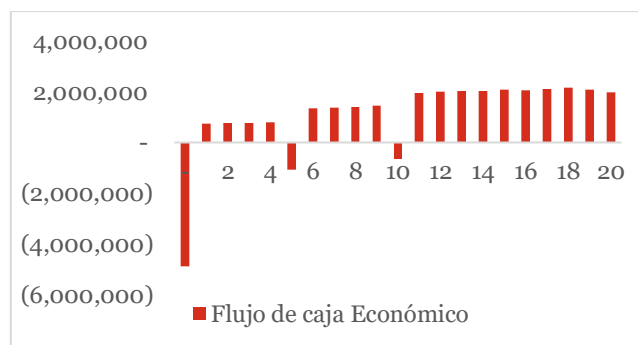
instalación de 2 moto-generadoras desde el inicio. La implementación de las 2 generadoras en el periodo planteado trae ciertas ventajas con respecto a un escenario de implementación temprana, por ejemplo:

- Tener mayor certidumbre sobre el comportamiento del relleno, lo cual influye sobre los volúmenes de biogás generados;
- Contar con un mejor registro y mayor certidumbre sobre los volúmenes de biogás que efectivamente son generados en el relleno;
- Diluir costos de instalación de red e infraestructura de la planta de generación debido a un mayor volumen de Mwh generado.
- Se cuenta con un volumen de gas suficiente para utilizar 2 generadores a alta capacidad.

Esperar hasta el año 8 permite que se llegue a generar una mayor cantidad de LFG, lo cual hará que sea más rápido escalar, instalando una mayor cantidad de generadores y reduciendo una mayor cantidad de GEI, para un periodo de años más largo. Asimismo, el accionista podrá alcanzar una rentabilidad de aproximadamente 20% o más, a una menor tarifa.

#### a. Flujo de Caja Económico

**Figura N° 15. Flujo de Caja Económico – Generación de Energía**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 22. Resumen Flujo de Caja Económico – Generación de Energía**

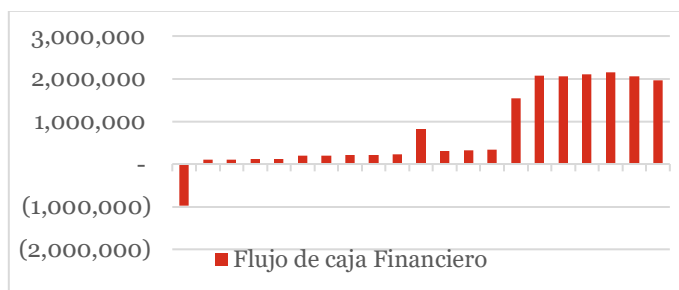
| Flujo de Caja Económico |             |
|-------------------------|-------------|
| Inversión Inicial       | (4,889,959) |
| Año 1                   | 639,072     |
| Año 2                   | 658,430     |
| Año 3                   | 678,941     |
| Año 4                   | 700,703     |
| Año 5                   | (1,152,995) |
| Año 6                   | 1,219,787   |
| Año 7                   | 1,262,669   |
| Año 8                   | 1,308,403   |
| Año 9                   | 1,357,252   |
| Año 10                  | (709,288)   |
| Año 11                  | 1,856,234   |
| Año 12                  | 1,930,014   |
| Año 13                  | 1,987,799   |
| Año 14                  | 2,028,041   |
| Año 15                  | 2,083,970   |
| Año 16                  | 2,063,985   |
| Año 17                  | 2,113,649   |
| Año 18                  | 2,164,554   |
| Año 19                  | 2,075,089   |
| Año 20                  | 1,977,364   |

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°15 se puede observar los años de inversión de 2 generadores en al inicio del proyecto (año 7 del relleno sanitario, iniciando operaciones en el año 8), un generador en el año 5 y un generador más en el año 10.

## b. Flujo de Caja Financiero

**Figura N° 16. Flujo de Caja Financiero – Generación de Energía**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 23. Resumen Flujo de Caja Financiero – Generación de Energía**

| Flujo de Caja Financiero |           |
|--------------------------|-----------|
| Inversión Inicial        | (977,992) |
| Año 1                    | 105,802   |
| Año 2                    | 108,996   |
| Año 3                    | 112,379   |
| Año 4                    | 115,968   |
| Año 5                    | 193,242   |
| Año 6                    | 201,987   |
| Año 7                    | 209,067   |
| Año 8                    | 216,617   |
| Año 9                    | 224,681   |
| Año 10                   | 827,561   |
| Año 11                   | 307,554   |
| Año 12                   | 319,774   |
| Año 13                   | 329,324   |
| Año 14                   | 1,534,455 |
| Año 15                   | 2,071,929 |
| Año 16                   | 2,051,643 |
| Año 17                   | 2,100,998 |
| Año 18                   | 2,151,588 |
| Año 19                   | 2,062,364 |
| Año 20                   | 1,965,256 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las tablas y figuras anteriores se obtuvieron con una tarifa de **US\$ 94.1** por Mwh inyectado al Sistema (US\$77 a valores actuales).

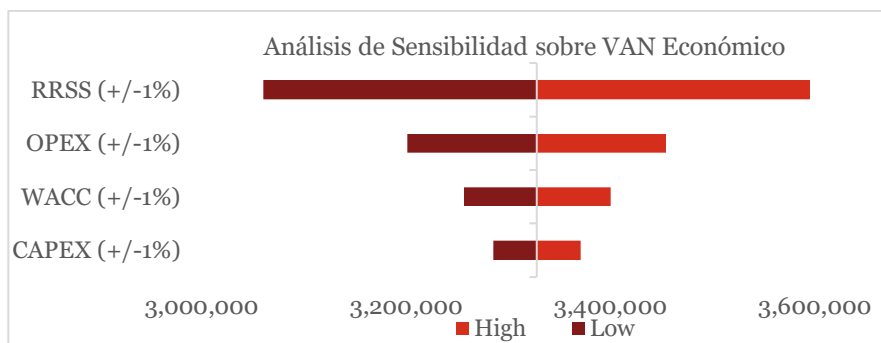
## 4.4.3. Análisis de Sensibilidad

Esta sección contempla diversos análisis de sensibilidad que permitan prever casos en los cuales las variables de interés se comporten de manera diferente a lo esperado.

### 4.4.3.1. Análisis de Sensibilidad – Relleno Sanitario

Entre las principales variables que afectan al proyecto de relleno sanitario están la cantidad de residuos sólidos dispuestos, los costos operativos, la inversión inicial y la tasa de descuento (Costo de Capital Promedio Ponderado – WACC por sus siglas en inglés). Los resultados se muestran en la figura N°17.

**Figura N° 17. Resultados del Análisis de Sensibilidad – Relleno Sanitario**



Fuente: Elaboración propia

Según los resultados de nuestro análisis, la variable que más afecta la rentabilidad del negocio es la cantidad de residuos sólidos dispuestos en el relleno. Esta variable depende de diversos factores, por ejemplo, la tasa de crecimiento poblacional, porcentaje de la población en zonas urbanas, generación per

cápita (GPC) y la fracción recuperada de residuos sólidos, como consecuencia de los planes de reciclaje y compostaje en la región. Una variación del 1% en los RRSS está dentro de la meta del MINAM con respecto a la valorización de los RSM, la cual está en promedio por debajo del 1%, por lo que consideramos esta variación posible.

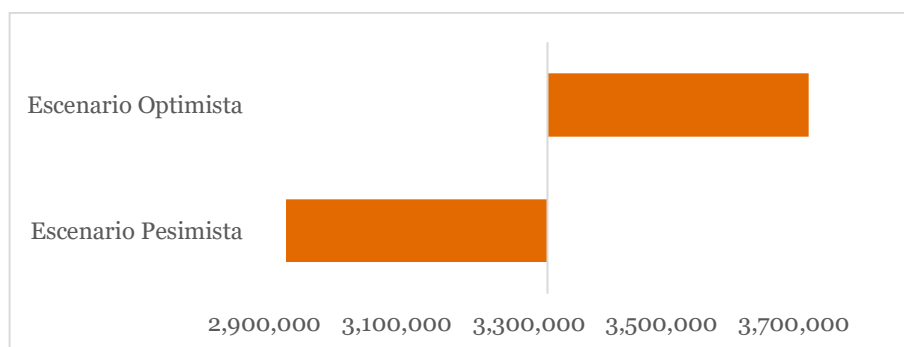
Otras variables importantes son los costos operativos y la WACC. La última variable analizada, Inversiones en activos (CAPEX), No tiene impacto significativo sobre la rentabilidad del proyecto.

Realizamos también un análisis de escenarios basados en la Opción 1 en la cual la Empresa Operadora de RRSS realiza la inversión inicial, con el objetivo de observar el impacto de un Escenario Optimista y de uno Pesimista escenarios posibles.

Estos escenarios se plantearon bajo los supuestos de que las variables que más impactan sobre el rendimiento de la empresa (Costos Operativos y porcentaje de Residuos Sólidos), se comportan de las maneras más optimistas y pesimistas del análisis propuesto en el primer gráfico de esta sección.

Los resultados obtenidos para ambos casos son los siguientes:

**Figura N° 18. Análisis de Escenarios – Relleno Sanitario**



Fuente: Elaboración propia

Los valores expresados en este gráfico, indican el cambio en el VAN económico en ambos escenarios, asumiendo que la tarifa cobrada sigue siendo la del Escenario Base.

Ante el Escenario Optimista, un incremento de 1% de los RRSS dispuestos en el relleno y una reducción de 1% en Costos Operativos, el VAN se acercaría a los US\$3.3 millones (conservando la tarifa de equilibrio inicial). El incremento en la cantidad de residuos, sin embargo, repercute sobre la vida útil del relleno, reduciéndola. La tarifa por tonelada dispuesta de equilibrio en este escenario se encontraría en el rango de **S/. 21.4 – S/22.0**.

En el peor escenario, los resultados indican que, una reducción del 1% en la cantidad de RRSS dispuestos en el relleno, junto con un incremento de 1% en los Costos Operativos a lo largo del proyecto, resultan en un VAN Económico muy por debajo del Escenario Base. Esto, sin embargo, alarga la vida útil del relleno sanitario. Para este caso, la tarifa de equilibrio con la cual el accionista alcanza una rentabilidad al accionista razonable sería de **S/. 22.5 – S/23.5**, aún menor a la última tarifa de disposición final ofertada por el Relleno Sanitario “La Cumbre” de Innova Ambiental.

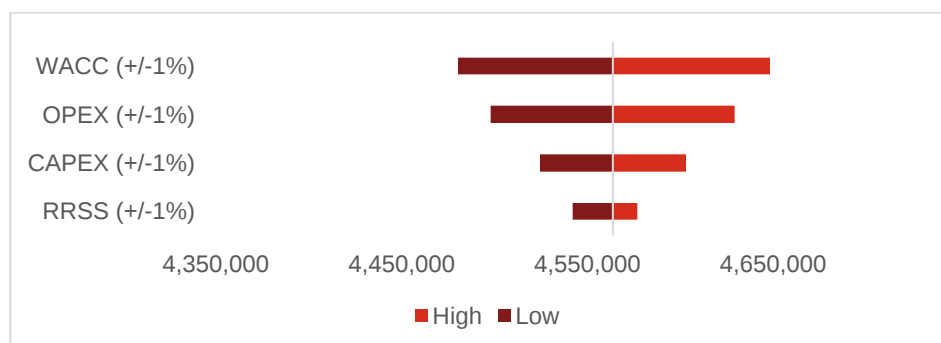
Estos resultados nos demuestran que el modelo es altamente sensible a variaciones, principalmente, en la cantidad de residuos dispuestos y costos operativos.

#### 4.4.3.2. Análisis de Sensibilidad – Planta de Generación Eléctrica

Las variables que se toman en la evaluación de este proyecto son las mismas que las del análisis anterior. Se considera relevante contemplar el impacto que ocasiona una caída/incremento sobre la cantidad de RRSS dispuestos, pues afectan directamente a la producción de biogás en el relleno.

Los resultados de este análisis son cómo siguen:

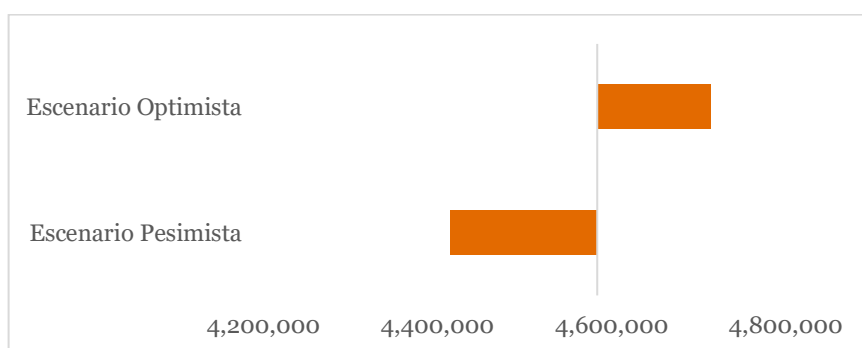
**Figura N° 19 Resultados del Análisis de Sensibilidad - Planta de Generación Eléctrica**



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que las variables que más afectan al modelo son la variación en la tasa de descuento y los incrementos en costos operativos. El impacto de los costos operativos se puede explicar por el fuerte desembolso que implican los gastos de mantenimiento para los generadores. De manera análoga al caso anterior, se analizaron un Escenario Optimista y un Escenario Pesimista, según los criterios del evaluador del proyecto. Estos se construyen combinando los dos “shocks” que más impactan al modelo: WACC y OPEX. La figura N° 20 resume los resultados:

**Figura N° 20. Análisis de Escenarios – Planta de Generación Eléctrica**



Fuente: Elaboración propia

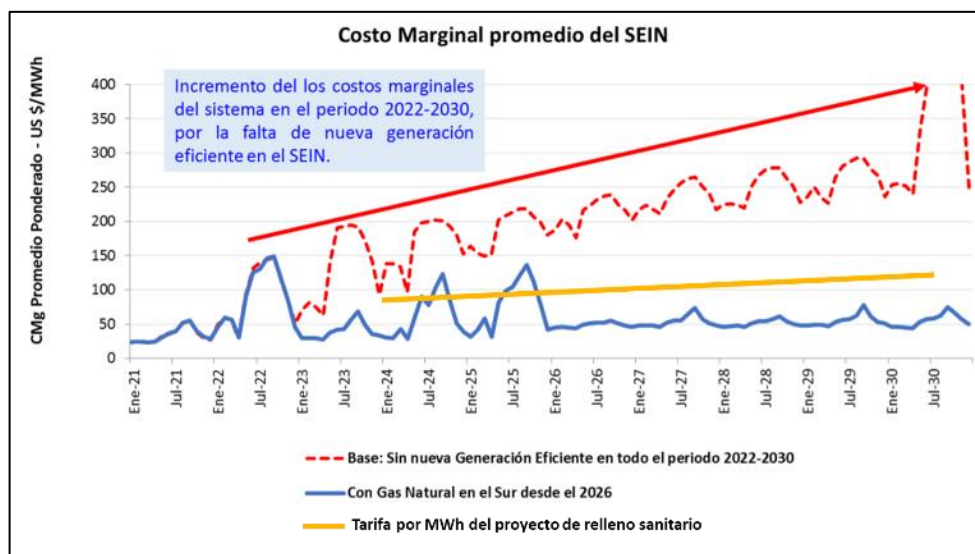
Como se puede observar, el impacto es mayor en el Escenario Pesimista que en el Escenario Optimista. Esto se debe al efecto de la variable de RRSS sobre la utilización de los generadores, puesto que en el Escenario Pesimista habría menos gas disponible al momento de implementar los generadores, esto produce que éstos operen a menor capacidad. En el caso del Escenario Optimista, la utilización de los generadores no varía, pues el volumen incremental de biogás no puede ser explotado en su totalidad, pues supera la capacidad operativa de los generadores, por lo que el gas excedente sería quemado.

El rango de tarifas propuesto para el caso del escenario pesimista oscila entre **US\$78 – US\$ 80** por MWh. Con respecto al escenario optimista, el rango de tarifas que permite alcanzar el equilibrio es de **US\$ 76.6 – US\$77.5** por MWh.

Cabe resaltar que variaciones mayores en la variable de RRSS podría afectar el año de implementación de los generadores, debido a la cantidad generada de biogás, la cual podría beneficiarse de una instalación algo más temprana en escenarios optimistas o del retraso en implementación en escenarios pesimistas.

Como se puede apreciar, las tarifas estimadas son muy competitivas a largo plazo bajo la situación “Sin Gas Natural del Sur” de acuerdo al Informe de diagnóstico de las condiciones operativas del SEIN, periodo 2021-2030 (página 10)<sup>22</sup>, por lo que, el inicio de este proyecto es conveniente para el sistema.

**Figura N° 21. Análisis de Escenarios – Planta de Generación Eléctrica**



Fuente: Informe de diagnóstico de las condiciones operativas del SEIN, periodo 2021-2030- febrero 2019 (elaboración propia)

## 4.5. Identificación y gestión de riesgos del proyecto

Se realiza un análisis de los potenciales riesgos a los que el proyecto se encontrará expuesto en sus distintas etapas, con el objetivo de brindar recomendaciones para mitigarlos.

### 4.5.1. Riesgos en Construcción

El análisis realizado en esta sección aplica tanto para la construcción del relleno sanitario como de la planta de generación eléctrica. Los riesgos en construcción deben ser asumidos y gestionados por los actores a cargo de la construcción dependiendo la opción seleccionada, por ejemplo, si la construcción inicial es realizada por el sector público, estos riesgos deben ser gestionados por éste, mientras que las ampliaciones posteriores deberán ser gestionadas directamente por la Empresa Operadora de RRSS.

**Tabla N° 24. Resumen de Riesgos en Construcción**

| Tipo de Riesgo             | Descripción                                                                                                                      |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riesgo Administrativo      | Retrasos en el inicio de trabajos por la expedición de licencias y autorizaciones por la municipalidad o entidades regulatorias. |
| Riesgo con los Proveedores | Sobrecoste en el montaje por variación de jornada laboral.                                                                       |

<sup>22</sup>[http://www.coes.org.pe/portal/browser/download?url=Planificaci%C3%B3n%2FPlan%20de%20Transmision%2FActualizaci%C3%B3n%20Plan%20de%20Transmisi%C3%B3n%202021%20-%202030%2F02.%20Informe%20de%20Diagn%C3%B3stico%202021-2030%2F%2002.%20Anexos%2FAnexo-H.%20Generaci%C3%B3n%20Eficiente%2FAnexo-H\\_GeneracionEficiente.pdf](http://www.coes.org.pe/portal/browser/download?url=Planificaci%C3%B3n%2FPlan%20de%20Transmision%2FActualizaci%C3%B3n%20Plan%20de%20Transmisi%C3%B3n%202021%20-%202030%2F02.%20Informe%20de%20Diagn%C3%B3stico%202021-2030%2F%2002.%20Anexos%2FAnexo-H.%20Generaci%C3%B3n%20Eficiente%2FAnexo-H_GeneracionEficiente.pdf)

| Tipo de Riesgo   | Descripción                                                                                           |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riesgo Ambiental | Retrasos por emisión de ruidos y polvos.                                                              |
| Riesgo Social    | Paralización de trabajos por amedrentamiento de sindicatos extorsionadores o segregadores informales. |

Fuente: Elaboración propia

Para mitigar riesgos en la etapa de construcción, se recomienda firmar un contrato EPC o “Llave en Mano”, el cual transfiera las responsabilidades de cumplir con los plazos establecidos, bajo un presupuesto pactado y asegurando el nivel de calidad de la construcción al constructor de la obra. Esta opción resulta bastante conveniente, pues ante un incremento en los costos de construcción, la responsabilidad recae sobre el contratista y, en caso el constructor no cumpla con los plazos, deberá pagar una penalidad al cliente.

Otra práctica que sirve para mitigar el riesgo en esta etapa es la contratación de un seguro ante todo riesgo. De esta forma, la empresa se cubre ante cualquier eventualidad que pudiera afectar el desarrollo de la construcción del relleno. El precio de estas pólizas depende del nivel de exposición a riesgos que tenga el proyecto.

### 4.5.2. Riesgos en Operación de Relleno Sanitario

**Tabla N° 25. Resumen de Riesgos en Operación de Relleno Sanitario**

| Tipo de Riesgo             | Descripción                                                                                                                      |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riesgo Regulatorio         | Retrasos en el inicio de trabajos por la expedición de licencias y autorizaciones por la municipalidad o entidades regulatorias. |
| Riesgo con los Proveedores | Sobrecoste en el montaje por variación de jornada laboral.                                                                       |
| Riesgo de Suministros      | Riesgo de no recibir los residuos para disposición final.                                                                        |
| Riesgo de Demanda          | Flujo de residuos dispuestos en el relleno menores a lo estimado.                                                                |
| Riesgo Operativo           | Menores ingresos por caída en precios, bajo rendimiento o mantenimiento de planta y equipos poco cuidadoso.                      |
| Riesgo Social              | Paralización de trabajos por amedrentamiento de sindicatos extorsionadores segregadores informales.                              |

Fuente: Elaboración propia

La primera medida que se usa para mitigar el riesgo en la fase de Operación y Mantenimiento (O&M), es la fijación de una tarifa para la prestación de los servicios de disposición final cercana al límite superior del rango propuesto. De esta manera, el operador solo queda expuesto a las fluctuaciones de sus costos operativos. Tomando en consideración que los costos operativos dependen del volumen de residuos que ingresan al relleno, una disminución en la cantidad de residuos sólidos que llegan, reduciría los ingresos en ese periodo, pero también reduciría los costos asociados a la operación.

Firmar un contrato de concesión sería una solución para el cubrir los Riesgos de Suministros, pues de esta manera las municipalidades (o mancomunidad) se comprometen a entregar los inputs necesarios para la operación del relleno (RRSS).

### 4.5.3. Riesgos en Operación de Planta de Generación Eléctrica

**Tabla N° 26. Resumen de Riesgos en Operación de Planta de Generación Eléctrica**

| Tipo de Riesgo             | Descripción                                                                                                                      |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riesgo Regulatorio         | Retrasos en el inicio de trabajos por la expedición de licencias y autorizaciones por la municipalidad o entidades regulatorias. |
| Riesgo con los Proveedores | Sobrecoste en el montaje por variación de jornada laboral.                                                                       |
| Riesgo de Suministros      | Riesgo de no recibir los residuos para disposición final.                                                                        |

| Tipo de Riesgo    | Descripción                                                                                                 |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riesgo de Demanda | Falta de comprador de la energía producida                                                                  |
| Riesgo Operativo  | Menores ingresos por caída en precios, bajo rendimiento o mantenimiento de planta y equipos poco cuidadoso. |

Fuente: Elaboración propia

De manera similar al caso del relleno, el riesgo en la fase de O&M es mitigado mediante la fijación de una tarifa fija por megavatio/hora, la cual estaría garantizada por el Estado mediante las subastas RER.

Los Riesgos de Suministros también afectan a este negocio, pues ante una menor cantidad de residuos dispuestos, menor será la generación de LFG y, por ende, caerá la producción de energía. El contrato de concesión del otro negocio debería mitigar el riesgo en esta fase.

El Riesgo de Demanda estaría cubierto, pues al ganar una subasta RER, se inyecta la energía directamente al SEIN. Al ganar la cuota de energía, se asegura el “*oftaker*”. Sin embargo, el operador deberá cumplir con los plazos para la construcción de la Planta de Generación, pues si llegase a incumplir con los plazos, se arriesgaría a perder el pago de la prima RER, que es lo que hace rentable este negocio.

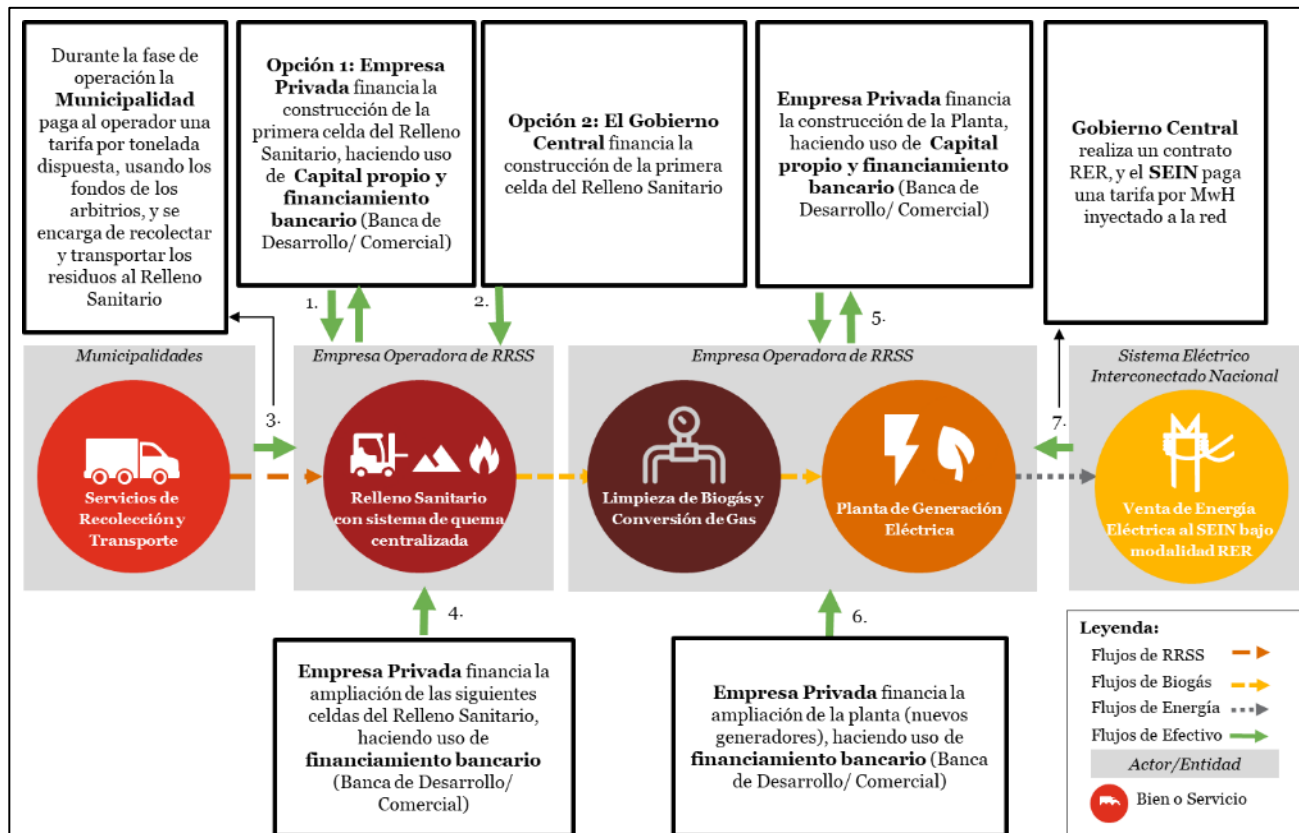
## 5. Operación Financiera Sugerida

El siguiente apartado presenta dos opciones de financiamiento del modelo de negocio propuesto. Ambas involucran la participación de diversos actores públicos y privados. Para las dos opciones propuestas se alcanzan distintos niveles de inversión privada en la infraestructura de disposición final, lo cual incide sobre la rentabilidad del negocio y, por ende, en el nivel de tarifa a cobrar.

### 5.1. Alternativas de Financiamiento

A continuación, mostramos un Flujo General del Proyecto que muestra la diferencia entre las dos alternativas de financiamiento inicial, ya sea que la inversión inicial sea realizada la Empresa Privada (Opción 1), o por el Sector Público/Gobierno Central (Opción 2). La selección de la Opción significaría cambios únicamente en cuanto a la construcción de la primera Celda del Relleno Sanitario, por lo que las ampliaciones posteriores de nuevas Celdas y la construcción de la Planta de Generación Eléctrica se mantendrían bajo el mismo enfoque, bajo responsabilidad de la Empresa Privada (Empresa Operadora de RRSS).

**Figura N° 22. Flujo General del Proyecto y Alternativas de Financiamiento**



Fuente: Elaboración propia

### **5.1.1. Opción 1: Licitación a Empresa Privada para Todo el Proyecto de Relleno Sanitario (Project Finance).**

Lo que se propone en esta alternativa es que el operador del relleno sea el encargado del financiamiento, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura de relleno sanitario (ver sección 3.4.1.1).

Esta alternativa implica menores desembolsos por parte del sector público. El único aporte que realizarían sería la donación del terreno para la construcción del relleno. Sin embargo, a largo plazo, la tarifa pagada por el servicio de disposición final sería mayor, pues se necesitarían mayores flujos de ingreso para que el accionista alcance la rentabilidad esperada.

### **5.1.2. Opción 2: Obra Pública para la Inversión Inicial y Licitación a Empresa Privada para la de Operación y Ampliación del Relleno Sanitario**

Esta opción contempla que la inversión inicial, sea financiada por mecanismos como el de Obras por Impuestos (OxI) o por actores públicos directamente, de modo que la inversión más fuerte no sea afrontada por el operador del relleno. Al contarse con la infraestructura, se pasa a licitar la operación del relleno y las ampliaciones futuras (ver la sección 3.4.1.2).

El Esquema de Obras por Impuestos (OxI) permite que una Empresa Privada pueda realizar desembolsos para construir determinada infraestructura acordada con el Estado, para posteriormente recuperar estos desembolsos mediante certificados que puede utilizar como crédito para el pago de su Impuesto a la Renta.

Cabe resaltar que, para que se pueda aplicar la modalidad de OxI, tendría que ser una sola municipalidad la que aporte con el crédito, pues según el reglamento, no es posible combinar presupuestos, a no ser que se forme una mancomunidad distrital. Por este motivo se hace la propuesta de crear una mancomunidad para los distritos del área de interés, de modo que el contrato de concesión se firme directamente con la mancomunidad y, ante un cambio de autoridades municipales, el operador del relleno no sufra de la incertidumbre de dejar de recibir residuos y no llegar a materializar los retornos esperados de su inversión. Como ejemplo de relleno por obra pública, tenemos la propuesta de relleno sanitario de los distritos que conforman la Mancomunidad Distrital Lima Sur (Amasur).<sup>23</sup>

Por otro lado, la propuesta de OxI de limpieza pública, según el Invierte.pe, debe ser integral, esto significa, que para que el relleno pueda financiarse con estos fondos, debe plantearse una solución que contemple todos los procesos que componen el proceso de gestión de residuos sólidos (sección 2.5). Una vez concluida la construcción, se licita la operación del relleno a Empresas Operadoras de Residuos Sólidos, mediante Asociación Público-Privada (APP).

La ventaja de utilizar esta opción es que se logra reducir la tarifa cobrada por el operador, pues, al no haber incurrido en la inversión inicial, se alcanza el nivel de rentabilidad deseado a menores costos (la tarifa podría reducirse en 35% para los primeros 10 años de operación).

Para cualquier Opción que se escoja es posible implementar la planta de generación eléctrica a partir del biogás generado en el relleno, el cual, bajo contrato de Recursos Energéticos Renovables (RER), permitiría incrementar la rentabilidad del proyecto y reducir una mayor cantidad de GEI, al contribuir con la generación de energías limpias.

<sup>23</sup> <https://mancomunidadlimasur.wordpress.com/>

## 5.2. Monto

Para el caso de las inversiones en relleno sanitario, se plantea que la primera inversión (en caso la realice el operador) sean financiadas por préstamos bancarios al 80%. Se sugiere que el resto de las inversiones sean financiadas al 100%, de modo que se aproveche al máximo los efectos del apalancamiento sobre los retornos del accionista (ver tabla N°25).

**Tabla N° 27. Estructura de Financiamiento del Relleno Sanitario**

|                              | <b>Año 0</b> | <b>Año 5</b> | <b>Año 10</b> | <b>Año 15</b> |
|------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| <b>Capital US\$ millones</b> | 1.1          |              |               |               |
| <b>Deuda US\$ millones</b>   | 4.6          | 2.9          | 4.5           | 5.4           |
| <b>Total US\$ millones</b>   | 5.7          | 2.9          | 4.5           | 5.4           |

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las inversiones en la planta de generación eléctrica, la estructura de financiamiento es similar al caso del relleno. Los montos desembolsados serán diferentes para cada uno de los escenarios, pues los tiempos de implementación difieren y en el escenario 2 se instala una moto-generadora más que en el primer escenario:

**Tabla N° 28. Estructura de Financiamiento de la Planta de Generación Eléctrica**

|                              | <b>Año 0</b> | <b>Año 5</b> | <b>Año 10</b> |
|------------------------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>Capital US\$ millones</b> | 0.9          |              |               |
| <b>Deuda US\$ millones</b>   | 3.7          | 2.2          | 2.5           |
| <b>Total US\$ millones</b>   | 4.6          | 2.2          | 2.5           |

Fuente: Elaboración propia

## 5.3. Plazo

Para el caso de las deudas de relleno sanitario, se hace la siguiente propuesta con respecto a su financiamiento por deuda.

**Tabla N° 29. Resumen Financiamiento – Relleno Sanitario**

|                                  | <b>Año 0</b> | <b>Año 5</b> | <b>Año 10</b> | <b>Año 15</b> |
|----------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| <b>Tipo de Financiamiento</b>    | 80%          | 100%         | 100%          | 100%          |
| <b>Tasa</b>                      | 8.6%         | 7%           | 7%            | 7%            |
| <b>Plazo (años)</b>              | 10           | 5            | 5             | 4             |
| <b>Cuota Estimada (Promedio)</b> | 0.7          | 0.8          | 1.2           | 1.7           |

Fuente: Elaboración propia

Por el lado de la planta de generación eléctrica, la propuesta es igual para ambos escenarios:

**Tabla N° 30. Resumen Financiamiento – Planta de Generación Eléctrica**

|                                  | <b>Año 0</b> | <b>Año 5</b> | <b>Año 10</b> |
|----------------------------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>Tipo de Financiamiento</b>    | 80%          | 100%         | 100%          |
| <b>Tasa</b>                      | 8.6%         | 8.6%         | 7%            |
| <b>Plazo (años)</b>              | 10           | 5            | 4             |
| <b>Cuota Estimada (Promedio)</b> | 0.7          | 0.5          | 0.8           |

Fuente: Elaboración propia

---

## 5.4. Garantías

La estructura de las garantías que tendrían que ser aportadas en favor de la entidad financiera que apoye el proyecto y de la entidad estatal que promueva la ejecución de la infraestructura de disposición final dependerá en gran medida de la fórmula legal que se utilice para la implementación del proyecto.

Dentro de esta estructura legal, las entidades financieras evaluarán la solidez de los mecanismos de retribución que considere el contrato, el cual podría incluir sólo la operación (en caso la infraestructura se realice por obra pública) o la construcción y operación. En tal sentido, la estructura que se detalla a continuación puede verse afectada en función a la evaluación de riesgos que realice la entidad financiera y a las exigencias que establezca la entidad pública contratante.

En términos generales, en el caso que el proyecto sea financiado bajo una estructura de Project Finance, se anticipa que el promotor privado deberá brindar el paquete de garantías habitual con el objetivo que la entidad financiera logre una seguridad jurídica de su capacidad de repago de la deuda tanto en los escenarios de funcionamiento de la infraestructura como en el caso que se presente algún evento que pudiera derivar en una terminación anticipada de la relación contractual. En ese sentido, es posible que las garantías incluyan:

- Acciones representativas del patrimonio del vehículo utilizado para ejecutar el proyecto.
- Garantías sobre los derechos recibidos a partir de la firma del contrato con el Estado.
- Garantías sobre los flujos generados por el proyecto.
- Garantías respecto a los seguros contratados bajo la coordinación de lo que establezca el contrato con el Estado.
- Garantías especiales durante la fase de construcción como garantías líquidas hasta alcanzar la puesta en operación de la infraestructura.

Adicionalmente, el contrato con el Estado podría incluir cartas fianzas en favor de la entidad contratante que suelen variar entre la fase de construcción y la fase de operación. Asimismo, en el caso que la estructura elegida considere un esquema de fideicomiso, se analizará los detalles de dicha operación para que los flujos disponibles puedan ser utilizados en favor del proyecto o de sus acreedores con el objetivo de solventar cualquier problema de liquidez que se pueda presentar durante la vida del proyecto.

## 6. Actores Relevantes

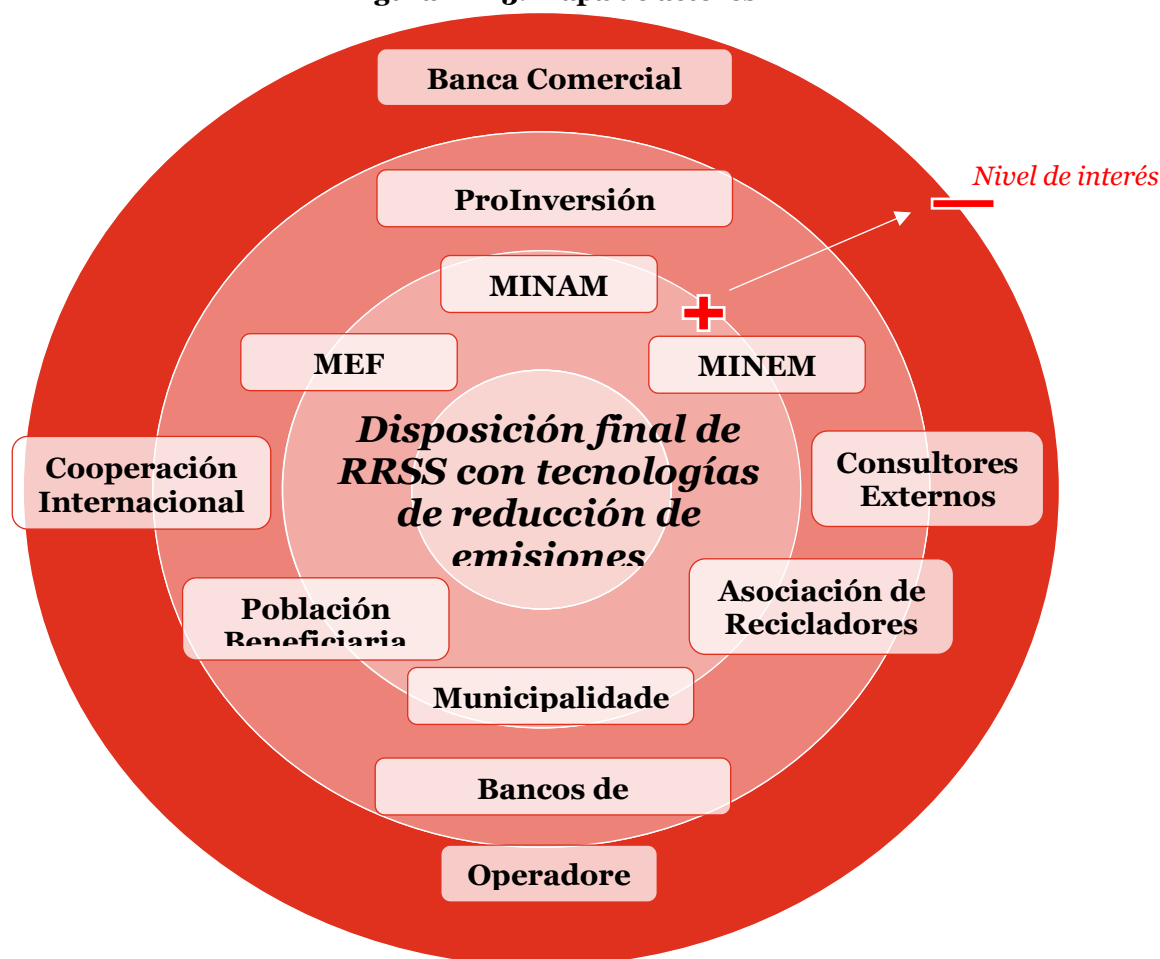
De acuerdo con las entrevistas realizadas a los diferentes actores identificados, se muestra en la figura N° 29 la ubicación de acuerdo al interés mostrado en este tipo de proyectos. El círculo más cercano al proyecto indica mayor nivel de interés y el más alejado, menor interés.

**Tabla N° 31. Resumen de Actores**

| Entidad                            | Rol en el Proyecto                                                                                                                                                |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Autoridades Locales</b>         | Principal interesado y beneficiario de proyectos de Infraestructura de disposición final de RSM.                                                                  |
| <b>Proveedores Financieros</b>     | Financiamiento y asesoría financiera para el proyecto.                                                                                                            |
| <b>Empresas Operadoras de RRSS</b> | Encargadas de la formulación y financiamiento del proyecto, así como de la construcción y Operación de la Infraestructura de disposición final.                   |
| <b>Ministerios</b>                 | Ente Rector, planteamiento de la estrategia general a nivel país, apoyar en la implementación y definir entorno habilitante. Promotor de este tipo de iniciativas |
| <b>Proveedores Tecnológicos</b>    | Proveer maquinaria necesaria para la implementación del proyecto.                                                                                                 |
| <b>Asociación de Recicladores</b>  | Promover la formalización de segregadores del botadero “El Milagro”.                                                                                              |

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 23. Mapa de actores**



Fuente: Elaboración propia

## **6.1. Autoridades Locales**

Las autoridades municipales juegan un rol fundamental, pues son los encargados de la gestión o delegación de los residuos sólidos municipales. Son las encargadas de la velar por la correcta gestión de los residuos sólidos municipales y, por ende, son las encargadas de la contratación de Empresas Operadoras de Residuos Sólidos (EO-RS). Asimismo, les corresponde realizar el pago por los potenciales servicios a ser prestados por las EO-RS. Finalmente, su involucramiento es clave para desarrollar e impulsar proyectos de esta envergadura.

Otra autoridad local clave para el proyecto es el SEGAT (Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo), el cual es un organismo público descentralizado y autónomo. Este organismo es el encargado de integrar los servicios de áreas verdes, limpieza pública, disposición final y tratamiento de residuos, con la finalidad de mejorar estos servicios y el medio ambiente de Trujillo. Por estas razones, sería la contraparte clave del Operador de Residuos Sólidos seleccionado.

## **6.2. Proveedores Financieros**

Los bancos comerciales y los de segundo piso son potenciales proveedores de financiamiento para esta clase de proyectos de impacto social y ambiental (caso APP). La empresa privada también puede ser candidato para proveer financiamiento en el caso en que se realice la obra por la modalidad de Obras por Impuestos.

Los bancos de segundo piso, como la Corporación Andina de Fomento (CAF) y la Corporación Financiera de Desarrollo (COFIDE), manifiestan tener un amplio interés en proyectos de largo plazo y fuerte impacto social y ambiental, como este Relleno Sanitario, pues se alinea a sus objetivos y visión.

Por otro lado, bancos comerciales como BBVA, BCP y Scotiabank muestran interés en proveer financiamiento para infraestructuras. En particular, Scotiabank ha financiado anteriormente proyectos de Rellenos Sanitarios como el de Huaycoloro, el cual cuenta también con una planta de Generación Eléctrica.

## **6.3. Empresas Operadoras de Residuos Sólidos**

Las EO-RS son actores importantes no sólo para la disposición final de residuos, sino también para la recolección y transporte de los mismos.

Existen varias empresas dedicadas a la actividad de gestión de residuos que podrían estar interesadas en desarrollar proyectos de este tipo. Sería conveniente además que estas empresas se involucren desde la fase de diseño del proyecto, pues al contar con el “*know-how*” del negocio se esperaría que brinden un servicio de calidad y cuiden de la infraestructura provista de manera óptima.

Entre las empresas de este rubro que hemos identificado se encuentran Acciona, Innova Ambiental, Kanay KDM, Petramás, Proactiva y Veolia. Las empresas estarán interesadas, principalmente si es que los proyectos involucran el manejo de un volumen grande de residuos sólidos municipales a tratar.

## **6.4. Ministerios**

El principal promotor de esta clase de proyectos es el Ministerio de Ambiente (MINAM). Las dos Direcciones competentes para esta clase de proyectos de mitigación serían la Dirección General de Residuos Sólidos (DGRS) y la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD). El MINAM debe liderar estas iniciativas y promover el consenso entre los actores para definir un plan de acción claro, en que los actores puedan intervenir y aterrizar este tipo de proyectos.

Por otra parte, el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) es otro actor gubernamental importante a considerar, pues es el encargado de velar por las obras de inversión privada (modalidades como OXI, APP y PA). Instituciones como ProInversión, que promueven la inversión privada e incluso, el Gobierno Central, en caso se opte por financiar el relleno con fondos del presupuesto estatal (caso de Obra Pública más APP).

---

## ***6.5. Proveedores de Tecnología***

Hemos identificado empresas que podrían ser potenciales proveedores para las tecnologías seleccionadas. Por el lado de la estación de Quema Centralizada existen proveedores como Abisa, Haug, John Zink, Jorvex, Cidelsa y TDM. Para el caso de generación eléctrica, identificamos a Caterpillar, Jenbacher, Perennial Energy, entre otros.

# 7. Impacto del Proyecto

## 7.1. Impacto Ambiental

La implementación del sistema de captura y quema centralizada permitirá la destrucción de una importante parte del volumen de los GEI generados en el relleno, impactando positivamente sobre el medio ambiente y solucionando el problema de botaderos a cielo abierto para la provincia de Trujillo

La ejecución del proyecto de generación eléctrica incrementaría el impacto positivo sobre el medio ambiente, pues la generación de energía limpia ocasiona un desplazamiento del uso de energías de fuentes convencionales hacia fuentes renovables. Por fuentes convencionales hacemos referencia a energías como la termoeléctrica, que generan GEI. En el caso de la energía generada a partir del biogás, no sólo se destruyen GEI, sino que la utilización de energías limpias ocasiona una reducción de uso de energía convencional.

Este valor adicional de emisiones reducidas indirectamente se calcula multiplicando el total de Mwh generados anualmente por un factor denominado “*Grid Emission Factor*”, el cual es particular para cada país. Para el caso de Perú, el valor utilizado es de 0.45338 tCO<sub>2</sub>e/Mwh<sup>24</sup>, esto quiere decir que cada Mwh generado implica una reducción de 0.45338 tCO<sub>2</sub>e.

**Tabla N° 32. Reducción de emisiones de GEI de ambos proyectos**

| Año  | LFG<br>(Nm <sup>3</sup> /año) | Reducción de Emisiones sin<br>Generación Eléctrica (tCO <sub>2</sub><br>/año) | Reducción de Emisiones con<br>Generación Eléctrica (tCO <sub>2</sub><br>/año) |
|------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 2020 | 1,343,750                     | 10,716                                                                        | 10,716                                                                        |
| 2021 | 2,625,415                     | 21,051                                                                        | 21,051                                                                        |
| 2022 | 3,851,019                     | 30,934                                                                        | 30,934                                                                        |
| 2023 | 5,026,139                     | 40,410                                                                        | 40,410                                                                        |
| 2024 | 6,155,945                     | 49,521                                                                        | 49,521                                                                        |
| 2025 | 7,245,231                     | 58,305                                                                        | 58,305                                                                        |
| 2026 | 8,298,447                     | 66,798                                                                        | 75,459                                                                        |
| 2027 | 9,319,728                     | 75,034                                                                        | 83,694                                                                        |
| 2028 | 10,312,922                    | 83,043                                                                        | 91,703                                                                        |
| 2029 | 11,281,611                    | 90,855                                                                        | 99,515                                                                        |
| 2030 | 12,229,135                    | 98,495                                                                        | 111,053                                                                       |
| 2031 | 13,158,614                    | 105,991                                                                       | 118,981                                                                       |
| 2032 | 14,072,965                    | 113,364                                                                       | 126,355                                                                       |
| 2033 | 14,974,920                    | 120,637                                                                       | 133,628                                                                       |
| 2034 | 15,867,043                    | 127,832                                                                       | 144,286                                                                       |
| 2035 | 16,751,744                    | 134,966                                                                       | 151,853                                                                       |
| 2036 | 17,631,292                    | 142,058                                                                       | 158,946                                                                       |
| 2037 | 18,507,831                    | 149,127                                                                       | 166,447                                                                       |
| 2038 | 19,383,387                    | 156,187                                                                       | 173,508                                                                       |
| 2039 | 20,259,882                    | 163,255                                                                       | 180,576                                                                       |
| 2040 | 21,139,143                    | 170,346                                                                       | 187,666                                                                       |
| 2041 | 19,598,624                    | 157,923                                                                       | 175,244                                                                       |
| 2042 | 18,175,988                    | 146,451                                                                       | 163,771                                                                       |
| 2043 | 16,861,963                    | 135,855                                                                       | 153,175                                                                       |
| 2044 | 15,648,015                    | 126,065                                                                       | 142,520                                                                       |
| 2045 | 14,526,294                    | 117,020                                                                       | 130,010                                                                       |
| 2046 | 13,489,575                    | 108,660                                                                       | 108,660                                                                       |
| 2047 | 12,531,208                    | 100,931                                                                       | 100,931                                                                       |
| 2048 | 11,645,075                    | 93,786                                                                        | 93,786                                                                        |
| 2049 | 10,825,542                    | 87,177                                                                        | 87,177                                                                        |

Fuente: Estimaciones de Experto usando la herramienta Mecanismos de Desarrollo Limpio (CDM, por sus siglas en inglés: “*Clean Development Mechanisms*”) de la United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)<sup>25</sup>

<sup>24</sup> <https://pub.iges.or.jp/pub/iges-list-grid-emission-factors>

<sup>25</sup> <https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>

La reducción de emisiones que alcanzaría este proyecto contribuyen a alcanzar las metas planteadas en las NDC, previstas a alcanzar una reducción del 30% de las emisiones anuales al 2030 (que vendría a ser el año 12 de evaluación del Relleno Sanitario).

De acuerdo con las estimaciones realizadas por el MINAM, en un escenario base BaU (siglas en inglés para “*Business as Usual*”, las emisiones de GEI serían de 298.3 MtCO<sub>2e</sub><sup>26</sup> en el 2030. El compromiso de Perú al 2030, tomando en cuenta que la meta para ese año es de 30%, sería de 89.4 MtCO<sub>2e</sub>.

De acuerdo con la propuesta planteada por MINAM en el “Informe Final del GTM-NDC”, el total de reducción de emisiones correspondientes al sector de Desechos sería de 0.95 MtCO<sub>2</sub>. Este sector comprende los subsectores de RRSS y aguas residuales domésticas con potencial de reducción de emisiones de 0.588 MtCO<sub>2e</sub> y 0.36 MtCO<sub>2e</sub>, respectivamente.<sup>27</sup>

**Tabla N° 33. Aporte del Proyecto a Metas de Reducción de Emisiones al 2030**

|                       | Reducción de Emisiones en 2030 (tCO <sub>2e</sub> ) | % de Metas del Subsector - RRSS | % de Metas del Sector Desechos | % del Compromiso al 2030 |
|-----------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <b>Relleno sin GE</b> | 98,495                                              | 17%                             | 10%                            | 0.11%                    |
| <b>Relleno con GE</b> | 111,052                                             | 19%                             | 12%                            | 0.12%                    |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior, el impacto del proyecto es relativamente importante para las contribuciones planteadas para el sector de RRSS, en especial si se toma en cuenta que se trata de un sólo proyecto.

Este proyecto tiene el potencial de sentar un precedente a nivel nacional, pues sería el primer relleno sanitario fuera de Lima, financiado y operado por actores privados. Esto podría facilitar la construcción de otras infraestructuras de disposición final de privados para cerrar la brecha de infraestructura de disposición final de RRSS con tecnologías de reducción de GEI. Esto podría resultar conveniente para alcanzar la cuota del subsector de RRSS al 2030.

## 7.2. Impacto Social

Los beneficiarios inmediatos del proyecto serían las personas que viven cerca y se dedican a actividades de segregación dentro del botadero “El Milagro”. Al construirse el relleno, se clausuraría el botadero, por lo que estas personas dejarían de realizar actividades de segregación, dejando también de estar expuestas a la contaminación directa de los RRSS y vectores infecciosos que habitan allí.

Los pobladores de las provincias del área de interés serían también beneficiarios directos, ya que sería posible hacer una correcta disposición de los residuos sólidos que se generan diariamente. Existirán incentivos para que la cobertura de los servicios de recolección y transporte sea la mayor posible, ya que la rentabilidad del proyecto dependerá casi exclusivamente de la cantidad de RRSS que ingresan al relleno.

## 7.3. Impacto Económico

Con respecto a los aspectos económicos, cabe resaltar que la implementación del modelo de negocio planteado tiene un impacto positivo, pues incentiva el incremento en recaudación de arbitrios por parte de la municipalidad.

El factor de movilización de inversiones privadas para un sector que previamente estaba desatendido por ser poco atractivo es también importante, pues incrementa la inversión en la región y permite creación de empleo en las fases constructivas y operativas.

Por otro lado, este proyecto proporcionará una estructura de financiamiento y modelo comercial para la inversión privada y la colaboración público- privada en la construcción y operación de rellenos sanitarios,

<sup>26</sup> MtCO<sub>2</sub>: millones de tCO<sub>2e</sub>.

<sup>27</sup> [http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/127/2019/01/190107\\_Informe-final-GTM-NDC\\_v17dic18.pdf](http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/127/2019/01/190107_Informe-final-GTM-NDC_v17dic18.pdf)

---

tecnologías de reducción de emisiones y generación de energía a partir de gas de relleno sanitario que no existía anteriormente fuera de Lima. En este sentido este proyecto puede ser potencialmente un caso de estudio para movilizar la inversión privada hacia tecnologías de reducción de emisiones y en el sector de residuos sólidos.

---

## 8. Conclusiones

Cuando se trata de la gestión de residuos sólidos, el sector privado puede aportar con conocimientos técnicos, capacidad de organización y flexibilidad en la operación. Sin embargo, en la gestión de residuos de competencia municipal, el sector público debe involucrarse y poner reglas de juego claras, de modo que pueda realizarse una eficiente distribución de riesgos entre las partes y sacar adelante proyectos de gestión integral de residuos sólidos a través de APP's.

Construir infraestructuras provinciales (o regionales) de disposición final para residuos sólidos resultan más baratas para construir y operar infraestructuras distritales, pues a mayor cantidad de residuos dispuestos, se reducen los costos de operación y, por ende, la tarifa cobrada por el servicio. Además, estos proyectos de infraestructuras regionales resultan más atractivos para el sector privado.

Entre las principales limitaciones para la implementación de este tipo de proyectos, está la capacidad de las municipalidades de establecer y recaudar los fondos necesarios para cubrir los costos de operación del relleno. Si bien lo ideal sería que “el generador de residuos pague” y lo cobrado a los ciudadanos debería ser suficiente para hacer frente a los gastos de disposición final, la realidad es que los índices de morosidad en el pago de arbitrios son muy altos y se necesita, primero, mejorar el nivel de recaudación y, segundo, contar con fondos provisionales del gobierno central o alguna otra entidad que sirva de garante para que el sector privado encuentre un escenario de riesgo/retorno aceptable para participar.

Con respecto al negocio de generación eléctrica a partir del biogás del relleno, este no es un negocio sostenible por sí solo. Para el caso de un país como Perú, donde los costos de energía eléctrica son bajos en comparación a economías desarrolladas, la única forma de viabilizar este negocio es mediante un subsidio. Para el caso particular de un relleno de las dimensiones del de Trujillo, el valor de este subsidio deberá ser mayor que para el caso de un relleno grande, como los de Lima.

Bajo ambas premisas podemos concluir, que ambos proyectos son viables desde el punto de vista económico y financiero, si se reúnen las condiciones necesarias para su desarrollo e implementación, para lo cual, el Estado y MINAM tienen un rol fundamental como ente rector en el sector RRSS. Este tipo de proyectos debería ser de especial atención considerando que, en el caso de Trujillo con unas 1,000 toneladas dispuestas al día se puede contribuir en un 16% y 18% a la meta de reducción de emisiones al 2030 en el sub-subsector de RRSS.

Sin embargo, en la actualidad se presentan una serie de barreras que deben ser superadas para que este tipo de proyectos se desarrollen e implementen. Según los actores privados consultados para el presente estudio, estas barreras hacen que las empresas no contemplen en el corto plazo implementar proyectos de este tipo, por la falta de visibilidad y predictibilidad. Debido a este motivo, buscar soluciones a estas brechas debería ser de prioritaria atención por parte del Estado y MINAM.

## 9. Recomendaciones

### 9.1. Construcción del Relleno Sanitario

Es posible optimizar los costos de construcción y operación del relleno sanitario para lo cual se recomienda hacer una ingeniería a nivel de detalle sobre la construcción. Si bien es cierto existe un gran movimiento de tierras por hacer, creemos que esto se puede desarrollar gradualmente para poder conformar la primera celda y poner en operación el relleno sanitario lo más pronto posible. Las actividades de cerco perimétrico y otras implementaciones pueden irse desarrollando en modo paralelo.

También se recomienda desarrollar los planes operacionales a nivel de detalle para garantizar la adecuada disposición final de los residuos, así como los planes de monitoreo ambiental.

Al implementarse la etapa de destrucción de GEI debe trabajarse en la metodología de registro, certificación y verificación de las emisiones reducidas.

### 9.2. Generación Eléctrica

Esta es una etapa futura que incrementara la estabilidad energética en la zona, por lo que se recomienda hacerlo gradualmente y buscar una alianza estratégica con el distribuidor eléctrico de la zona con la finalidad de definir el punto de entrega de la energía. Constructivamente se recomienda trabajar con empresas especializadas y tecnologías probadas en el mercado.

En vista de que este proyecto requiere de un subsidio, se debe trabajar una agenda coordinada con el MINEM. Si se toma en consideración que otras formas de energías renovables requieren subsidios cada vez menores por sus bajos costos de implementación, podría ser necesaria trabajar la promoción de energías de este tipo, las cuales no ven mejoras tecnológicas que permitan una reducción en sus costos.

### 9.3. Mejorar la Recaudación Fiscal

Para viabilizar un proyecto de esta naturaleza, es necesario trabajar algunos temas que, de no tratarse, podrían desincentivar por completo la participación de actores privados en el sector de gestión de residuos sólidos.

Un punto clave con el que se debe lidiar para que el proyecto planteado pueda ocurrir, es asegurar el pago por los servicios de disposición final ofrecidos. Los servicios de limpieza pública y disposición final son financiados mediante el cobro de Arbitrios de Seguridad Ciudadana, Limpieza Pública y Áreas Verdes. Sin embargo, la tasa de morosidad es superior al 60% para la mayoría de distritos del área de interés<sup>28</sup>. Sin un flujo de retornos seguro por la prestación del servicio, la entrada de actores privados al sector es poco probable.

Como solución a esta problemática, se plantea incrementar la recaudación por el concepto de estos arbitrios, mediante un mecanismo que permita incorporar el cobro de los Arbitrios de Limpieza Pública al cobro de otros servicios públicos<sup>29</sup>, como actualmente se viene haciendo para el caso del relleno sanitario de Chancay<sup>30</sup>. El cobro del arbitrio está amarrado al servicio de agua.

### 9.4. Mitigar el Riesgo de Mercado

Un riesgo al que se encontraría expuesto un operador privado es el de construir la infraestructura de disposición final, pero que finalmente las municipalidades encargadas decidan enviar sus residuos a otro

<sup>28</sup> PIGARS Trujillo 2016-2020.

<sup>29</sup> Artículo 70 del D.L. 1278: Decreto Legislativo que aprueba la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

<sup>30</sup> <http://plataforma.ipnoticias.com/Landing?cac=Gw9foRXbesWZOaammKndpQ%3d%3d&i=8rjVc38Q1fmQN9n3eazhjw%3d%3d&pm=4Jpq4%2bSL9MeYY%2fsQdZtKaQ%3d%3d&c=iyGbOtvppVQWcUAugR6mMKX6SE4XiQLahohrliI%2bujE%3d>

lugar. Por esta razón, se propone la firma de un contrato de concesión, de modo que se pueda asegurar “*offtakers*” para la prestación de este servicio.

Una limitación para esta propuesta es que cada una de las 10 municipalidades distritales es autónoma y, por tanto, podría desviarse del acuerdo inicial. Por este motivo se hace la propuesta de crear una mancomunidad para los distritos del área de interés, de modo que el contrato de concesión se firme directamente con la mancomunidad y, ante un cambio de autoridades municipales, el operador del relleno no sufra de la incertidumbre de dejar de recibir residuos y no llegar a materializar los retornos esperados de su inversión. Como ejemplo de relleno por obra pública, tenemos la propuesta de relleno sanitario de los distritos que conforman la Mancomunidad Distrital Lima Sur (Amasur).<sup>31</sup>

## **9.5. Analizar la Situación de la Limpieza Pública**

Para poder llevar a cabo este proyecto mediante la modalidad de Obras por Impuestos, es necesario que sea un Proyecto Integral, esto es, que la propuesta brinde una solución para todos los eslabones previos a la disposición final. Si bien los servicios de recolección y transporte muestran ratios de cobertura bastante altos, sería conveniente llegar a realizar un estudio más a detalle, de modo que se pueda dar solución a estas etapas previas y el proyecto pueda concentrarse específicamente en la construcción y operación del relleno sanitario.

También es recomendable iniciar en modo paralelo la clausura del botadero El Milagro, toda vez que mientras se va construyendo el Nuevo Relleno Sanitario se va ejecutando los trabajos para la clausura del botadero, de tal manera que coincidan en plazo las actividades de clausura total con el inicio de operaciones del nuevo relleno sanitario.

Se recomienda empadronar y contabilizar a todos los segregadores que viven del botadero con la finalidad de formar una asociación formalizada que les permita desarrollar esta actividad de un modo controlado.

<sup>31</sup> <https://andina.pe/agencia/noticia-distritos-lima-sur-tendran-relleno-sanitario-ubicado-pachacamac-376382.aspx>

## 10. Anexos

### Anexo 01: Población beneficiaria nuevo relleno Trujillo

| Distritos            | Población 2017 |
|----------------------|----------------|
| Trujillo             | 314,939        |
| El Porvenir          | 190,461        |
| La Esperanza         | 189,206        |
| Huanchaco            | 68,409         |
| Víctor Larco Herrera | 68,506         |
| Florencia de Mora    | 37,262         |
| Laredo               | 37,206         |
| Moche                | 37,436         |
| Salaverry            | 18,944         |
| Santiago de Cao      | 19,204         |
| <b>Total</b>         | <b>981,573</b> |

Fuente: INEI Censos Nacionales 2017: XII de población y VII de vivienda<sup>32</sup>

### Anexo 02: Temperatura y precipitación en Trujillo

| Mes          | Media de las temperaturas mínimas diarias (°C) | Media de las temperaturas máximas diarias (°C) | Media de las temperaturas diarias (°C) | Precipitación total media (mm) |
|--------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|
| Ene          | 19                                             | 25                                             | 22                                     | 5                              |
| Feb          | 21                                             | 26                                             | 23.5                                   | 6                              |
| Mar          | 20                                             | 26                                             | 23                                     | 7                              |
| Abr          | 19                                             | 25                                             | 22                                     | 8                              |
| May          | 18                                             | 23                                             | 20.5                                   | 4                              |
| Jun          | 18                                             | 23                                             | 20.5                                   | 0                              |
| Jul          | 17                                             | 22                                             | 19.5                                   | 0                              |
| Ago          | 17                                             | 21                                             | 19                                     | 0                              |
| Sep          | 17                                             | 21                                             | 19                                     | 2                              |
| Oct          | 17                                             | 22                                             | 19.5                                   | 3                              |
| Nov          | 17                                             | 23                                             | 20                                     | 3                              |
| Dic          | 18                                             | 24                                             | 21                                     | 3                              |
| <b>Total</b> | <b>18.2</b>                                    | <b>23.4</b>                                    | <b>20.8</b>                            | <b>41</b>                      |

### Anexo 03: Generación de residuos sólidos -Provincia de Trujillo

| Distritos            | Población 2017 (1) | Generación per cápita (kg/hab/día) (2) | Generación RRSS Domiciliarios (Ton/Día) (3) | Generación RRSS Comerciales (Ton/Día) (3) | Generación RRSS Barrido (Ton/Día) (3) | Generación RRSS (Ton/Día) | %             |
|----------------------|--------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------|
| Trujillo             | 314,939            | 0.511                                  | 160.950                                     | 87.970                                    | 37.473                                | 286.393                   | 30.7%         |
| El Porvenir          | 190,461            | 0.560                                  | 106.658                                     | 58.296                                    | 24.833                                | 189.786                   | 20.3%         |
| La Esperanza         | 189,206            | 0.536                                  | 101.414                                     | 55.429                                    | 23.612                                | 180.456                   | 19.3%         |
| Huanchaco            | 68,409             | 0.640                                  | 43.782                                      | 23.930                                    | 10.193                                | 77.905                    | 8.4%          |
| Víctor Larco Herrera | 68,506             | 0.410                                  | 28.087                                      | 15.352                                    | 6.539                                 | 49.978                    | 5.4%          |
| Florencia de Mora    | 37,262             | 0.570                                  | 21.239                                      | 11.609                                    | 4.945                                 | 37.793                    | 4.1%          |
| Laredo               | 37,206             | 0.529                                  | 19.682                                      | 10.757                                    | 4.582                                 | 35.022                    | 3.8%          |
| Moche                | 37,436             | 0.590                                  | 22.087                                      | 12.072                                    | 5.142                                 | 39.302                    | 4.2%          |
| Salaverry            | 18,944             | 0.600                                  | 11.366                                      | 6.212                                     | 2.646                                 | 20.225                    | 2.2%          |
| Santiago de Cao      | 19,204             | 0.470                                  | 9.026                                       | 4.933                                     | 2.101                                 | 16.061                    | 1.7%          |
| <b>TOTAL</b>         | <b>981,573</b>     | <b>0.53</b>                            | <b>524.29</b>                               | <b>286.56</b>                             | <b>122.07</b>                         | <b>932.92</b>             | <b>100.0%</b> |

Fuentes: (1) INEI<sup>33</sup>, (2) ECRS de cada distrito, (3) Estimación, estudio de mercado RRSS Trujillo,

Fuente: CORPAC y [Weather Spark](https://es.weatherspark.com/y/19239/Clima-promedio-en-Trujillo-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o)<sup>34</sup>

<sup>32</sup> <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>

<sup>33</sup> <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>

<sup>34</sup> <https://es.weatherspark.com/y/19239/Clima-promedio-en-Trujillo-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

## Anexo 04: Supuestos estimación demanda de disposición final de residuos sólidos

| Supuesto                                 | Estimación              | Fuente de las estimaciones                                                                                             |
|------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Crecimiento Poblacional                  | 1.8%                    | Crecimiento Anual Promedio <a href="http://censos2017.inei.gob.pe/redatam">http://censos2017.inei.gob.pe/redatam</a>   |
| Crecimiento GPC                          | 1%                      | Supuesto Conservador                                                                                                   |
| Volumen RRSS Domiciliarios               | 56.15%                  | Estudio de caracterización de RRSS municipales                                                                         |
| Volumen RRSS Comercial                   | 30.69%                  | Estudio de caracterización de RRSS municipales                                                                         |
| Volumen RRSS Barrido                     | 13.97%                  | Estudio de caracterización de RRSS municipales                                                                         |
| Volumen EESS Reciclables                 | 0.66%                   | Meta del MINAM para el 2019 para los distritos en el área de estudio (2,371.7 Ton / 358,603 Ton generadas actualmente) |
| Volumen EESS Compostable                 | 0.6%                    | Meta del MINAM para el 2019 para los distritos en el área de estudio (226.8 Ton / 358,603 Ton generadas actualmente)   |
| Densidad RRSS Municipales Compactado     | 0.55 ton/m <sup>3</sup> | Supuesto estándar                                                                                                      |
| Reducción del volumen por estabilización | 6% anual                | Supuesto estándar                                                                                                      |

## Anexo 05: Composición de los residuos sólidos -

|                                 | Trujillo | El Porvenir | La Esperanza | Huanchaco | Víctor Larco | Florencia de Mora | Laredo | Moche | Salaverry | Santiago de Cao | Promedio |
|---------------------------------|----------|-------------|--------------|-----------|--------------|-------------------|--------|-------|-----------|-----------------|----------|
| Materia orgánica                | 53.56    | 46.94       | 50.1         | 72.17     | 30.55        | 53.56             | 52.8   | 58.63 | 53.88     | 53.23           | 52.07%   |
| Madera, follaje                 | 1.62     | 1.6         | 1.22         | 4.23      | 6.74         | 3.57              | 1.72   | 1.6   | 0.97      | 7.29            | 2.22%    |
| Papel                           | 2.6      | 3.07        | 2.01         | 2.34      | 9.51         | 2.15              | 2.62   | 4.75  | 3.51      | 3.06            | 3.01%    |
| Cartón                          | 3.02     | 2.97        | 1.64         | 0.86      | 3.65         | 3.77              | 2.91   | 2.64  | 5.25      | 1.23            | 2.62%    |
| Vidrio                          | 2.77     | 2.79        | 2.23         | 2.74      | 0.74         | 4.74              | 4.78   | 2.68  | 2.27      | 2.03            | 2.70%    |
| Plástico PET                    | 1.43     | 1.19        | 1.45         | 1.19      | 3.69         | 1.79              | 3.1    | 0.98  | 3.3       | 2.34            | 1.60%    |
| Plástico duro                   | 2.15     | 3.01        | 2.5          | 6.36      | 3.55         | 1.99              | 1.75   | 1.98  | 1.66      | 1.62            | 2.76%    |
| Bolsas                          | 7.45     | 7.14        | 1.21         | 1.19      | 0.83         | 0.62              | 6.32   | 3.2   | 5.75      | 2.96            | 4.67%    |
| Tetra pack                      | 0.6      | 0.84        | 0.18         | 0.32      | 1.85         | 0.46              | 0.83   | 0     | 0.62      | 0.45            | 0.58%    |
| Tecnopor y similares            | 1.2      | 0           | 0.15         | 0.08      | 1.57         | 0.54              | 0.85   | 0.16  | 0.7       | 0.64            | 0.57%    |
| Metal                           | 1.8      | 1.03        | 3.05         | 0.36      | 6.51         | 1.88              | 1.42   | 1.75  | 1.35      | 1               | 1.97%    |
| Telas, textiles                 | 0.79     | 3.14        | 2.14         | 0.78      | 2.49         | 1.36              | 1.41   | 1.78  | 0.87      | 1.87            | 1.73%    |
| Caucho, cuero, jebe             | 0.23     | 1.53        | 1.58         | 0.24      | 3.23         | 1.54              | 1.2    | 0.59  | 1.28      | 0.18            | 1.04%    |
| Pilas                           | 0.03     | 0.01        | 0.35         | 0.04      | 0.05         | 0.02              | 0.06   | 0.05  | 0.08      | 0.11            | 0.09%    |
| Restos de medicina, focos, etc. | 0.13     | 0.08        | 0.4          | 0.04      | 0.83         | 0.11              | 0.32   | 0     | 0.3       | 0.03            | 0.20%    |
| Residuos sanitarios             | 12.54    | 7.88        | 8.61         | 7.06      | 15.74        | 6.97              | 7.89   | 9.92  | 8.25      | 7.48            | 9.82%    |
| Residuos inertes                | 8.05     | 15.76       | 19.39        | 0         | 7.84         | 14.83             | 9.6    | 7.62  | 9.94      | 14.34           | 11.66%   |
| Otros (especificar)             | 0.03     | 1.02        | 1.79         | 0         | 0.63         | 0.1               | 0.42   | 1.67  | 0.02      | 0.18            | 0.68%    |

Fuente: PIGARS Trujillo 2016-2020

## Anexo 06: Volumen demandado por los residuos sólidos en el relleno sanitario

| Nº | Año  | Población Total | RS Acumulado (ton/año) | RS Compactados (m³/año) | RS Estabilizado (m³) | Altura plataforma RS (m) | Espesor Cobertura (m) | Material de Cobertura (m³/año) | Volumen Total (m³/año) | Volumen Ocupado Acumulado (m³/año) |
|----|------|-----------------|------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| 1  | 2020 | 1,036,693       | 366,129                | 665,689                 | 358,550              | 8                        | 0.6                   | 49,927                         | 408,477                | 408,477                            |
| 2  | 2021 | 1,055,761       | 742,672                | 684,623                 | 368,748              | 8                        | 0.6                   | 51,347                         | 420,095                | 828,572                            |
| 3  | 2022 | 1,075,186       | 1,129,926              | 704,099                 | 379,238              | 8                        | 0.6                   | 52,807                         | 432,046                | 1,260,618                          |
| 4  | 2023 | 1,094,977       | 1,528,199              | 724,132                 | 390,029              | 8                        | 0.6                   | 54,310                         | 444,339                | 1,704,956                          |
| 5  | 2024 | 1,115,141       | 1,937,805              | 744,739                 | 401,128              | 8                        | 0.6                   | 55,855                         | 456,983                | 2,161,939                          |
| 6  | 2025 | 1,135,684       | 2,359,071              | 765,937                 | 412,545              | 8                        | 0.6                   | 57,445                         | 469,990                | 2,631,930                          |
| 7  | 2026 | 1,156,614       | 2,792,328              | 787,741                 | 424,289              | 8                        | 0.6                   | 59,081                         | 483,370                | 3,115,300                          |
| 8  | 2027 | 1,177,939       | 3,237,922              | 810,171                 | 436,370              | 8                        | 0.6                   | 60,763                         | 497,133                | 3,612,433                          |
| 9  | 2028 | 1,199,667       | 3,696,206              | 833,243                 | 448,797              | 8                        | 0.6                   | 62,493                         | 511,291                | 4,123,724                          |
| 10 | 2029 | 1,221,805       | 4,167,544              | 856,978                 | 461,581              | 8                        | 0.6                   | 64,273                         | 525,854                | 4,649,578                          |
| 11 | 2030 | 1,244,362       | 4,652,310              | 881,393                 | 474,731              | 8                        | 0.6                   | 66,104                         | 540,836                | 5,190,414                          |
| 12 | 2031 | 1,267,345       | 5,150,889              | 906,508                 | 488,259              | 8                        | 0.6                   | 67,988                         | 556,247                | 5,746,661                          |
| 13 | 2032 | 1,290,764       | 5,663,679              | 932,345                 | 502,175              | 8                        | 0.6                   | 69,926                         | 572,101                | 6,318,762                          |
| 14 | 2033 | 1,314,627       | 6,191,086              | 958,923                 | 516,490              | 8                        | 0.6                   | 71,919                         | 588,410                | 6,907,171                          |
| 15 | 2034 | 1,338,943       | 6,733,532              | 986,265                 | 531,217              | 8                        | 0.6                   | 73,970                         | 605,187                | 7,512,358                          |
| 16 | 2035 | 1,363,721       | 7,291,448              | 1,014,392               | 546,367              | 8                        | 0.6                   | 76,079                         | 622,446                | 8,134,804                          |
| 17 | 2036 | 1,388,970       | 7,865,278              | 1,043,328               | 561,952              | 8                        | 0.6                   | 78,250                         | 640,202                | 8,775,006                          |
| 18 | 2037 | 1,414,699       | 8,455,481              | 1,073,096               | 577,986              | 8                        | 0.6                   | 80,482                         | 658,468                | 9,433,474                          |
| 19 | 2038 | 1,440,918       | 9,062,527              | 1,103,720               | 594,480              | 8                        | 0.6                   | 82,779                         | 677,259                | 10,110,733                         |
| 20 | 2039 | 1,467,637       | 9,686,901              | 1,135,225               | 611,449              | 8                        | 0.6                   | 85,142                         | 696,591                | 10,807,325                         |
| 21 | 2040 | 1,494,866       | 10,329,101             | 1,167,637               | 669,050              | 8                        | 0.6                   | 87,573                         | 756,623                | 11,563,948                         |
| 22 | 2041 | 1,522,615       | 10,989,642             | 1,200,983               | 732,082              | 8                        | 0.6                   | 90,074                         | 822,156                | 12,386,103                         |
| 23 | 2042 | 1,550,895       | 11,669,051             | 1,235,289               | 801,057              | 8                        | 0.6                   | 92,647                         | 893,704                | 13,279,807                         |
| 24 | 2043 | 1,579,716       | 12,367,872             | 1,270,584               | 876,537              | 8                        | 0.6                   | 95,294                         | 971,831                | 14,251,638                         |
| 25 | 2044 | 1,609,089       | 13,086,665             | 1,306,896               | 959,136              | 8                        | 0.6                   | 98,017                         | 1,057,154              | 15,308,792                         |
| 26 | 2045 | 1,639,026       | 13,826,005             | 1,344,256               | 1,049,526            | 8                        | 0.6                   | 100,819                        | 1,150,346              | 16,459,138                         |
| 27 | 2046 | 1,669,537       | 14,586,487             | 1,382,693               | 1,148,443            | 8                        | 0.6                   | 103,702                        | 1,252,145              | 17,711,283                         |
| 28 | 2047 | 1,700,635       | 15,368,719             | 1,422,241               | 1,256,692            | 8                        | 0.6                   | 106,668                        | 1,363,360              | 19,074,642                         |
| 29 | 2048 | 1,732,332       | 16,173,330             | 1,462,930               | 1,375,154            | 8                        | 0.6                   | 109,720                        | 1,484,874              | 20,559,516                         |
| 30 | 2049 | 1,764,639       | 17,000,967             | 1,504,794               | 1,504,794            | 8                        | 0.6                   | 112,860                        | 1,617,654              | 22,177,170                         |

Fuente: (1) Estimación, <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>, (2) Estimaciones propias, (3) Volumen del material de cobertura, (4) Cálculo del volumen total, producto de la suma de RRSS estabilizado más volumen de material de cobertura

## Anexo 07: Volumen disponible para confinamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario

| Celdas Proyectadas | Niveles por celda | Altura por Plataforma (m) | % Área de servicio | Volumen Disponible (m³) |
|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|
| Etapas A           | 4                 | 8.0                       | 85%                | 1,988,159               |
| Etapas B           | 4                 | 8.0                       | 85%                | 2,297,883               |
| Etapas C           | 4                 | 8.0                       | 85%                | 2,643,355               |
| Etapas D           | 4                 | 8.0                       | 85%                | 3,036,955               |
| Etapas E           | 4                 | 8.0                       | 85%                | 796,758                 |
| <b>Total</b>       |                   |                           |                    | <b>10,793,748</b>       |

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 08: Supuestos para estimación de emisiones

| Physical parameters of compounds |                                     |           |                                                                                              |                                                                                                                                  |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parameters                       | Unit                                | Value     | Explanation                                                                                  | Source                                                                                                                           |
| $\Phi$                           | -                                   | 0.75      | Model correction factor to account for model uncertainties                                   | According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1)", page 2                                           |
| F                                | %                                   | 0.0       | Fraction of CH <sub>4</sub> captured to the SWDS                                             | Considered 0 since the Tool - Annex 13 also considers an Adjustment Factor                                                       |
| GWP (1st Crediting Period)       | tCO <sub>2</sub> e/tCH <sub>4</sub> | 25        | Global Warming Potential                                                                     | According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 2                                            |
| GWP (2nd Crediting Period)       | tCO <sub>2</sub> e/tCH <sub>4</sub> | 25        | Global Warming Potential                                                                     | According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 2                                            |
| OX                               | -                                   | 0.1       | Oxidation factor                                                                             | According to the "Tool v.6" page 3, considering the material utilized for covering the landfill (at the closure)                 |
| F                                | %                                   | 0.5       | Fraction of CH <sub>4</sub> in the SWDS gas                                                  | According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 2                                            |
| DOC <sub>i</sub>                 | %                                   | 0.5       | Fraction of degradable organic carbon that can decompose                                     | According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 3                                            |
| MCF                              | -                                   | 1.0       | Methane Correction Factor                                                                    | According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1) page 4, considering the management of the landfill |
| $\rho_{CH_4}$                    | tonnes/m <sup>3</sup>               | 0.0007168 | Density CH <sub>4</sub>                                                                      | According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 9 (density of methane at normal conditions)  |
| OX <sub>top_layer</sub>          | -                                   | 0.1       | Fraction of methane that would be oxidized in the top layer of the SWDS in the baseline      | Consistent with how oxidation is accounted for in the methodological tool "Emissions from solid waste disposal sites"            |
| CH <sub>4</sub> (%v/v)           | %                                   | 50%       | CH <sub>4</sub> concentration                                                                | To be monitored (this value as a default per PDD calculations)                                                                   |
| Equipment Details                |                                     |           |                                                                                              |                                                                                                                                  |
| Parameters                       | Unit                                | Value     | Explanation                                                                                  | Source                                                                                                                           |
| $\eta_{PJ}$                      | %                                   | 0.75      | GCE of the equipment installed                                                               | Default value as per page 10/23 of ACM0001 / Version 13.0.0 "Flaring or use of landfill gas"                                     |
| Blower                           | HP                                  | 30        | 1 blower engine 60HP; 3,600 RPM; 03Phase; 60HZ                                               | Project Developer                                                                                                                |
| Compressor                       | HP                                  | 4.00      | 1 compressor INGERSOLL RAND; 7.5HP; 1,800 RPM; 480V; 03 Phase; 60HZ                          | Project Developer                                                                                                                |
| Blower purge                     | HP                                  | 0.50      | 1 blower purge that functions only when the system is operating: 3/4 HP; 1,800 RPM; 01 Phase | Project Developer                                                                                                                |
| Cooler                           | HP                                  | 1.50      | 1 cooling system of 3 HP                                                                     |                                                                                                                                  |
| Electronic System                | kW                                  | 2         | Various                                                                                      | Project Developer                                                                                                                |
| EC <sub>PJ,y</sub>               | MWh/yr                              | 252.7     | Electricity Consumption, yearly                                                              | Calculated                                                                                                                       |
| $\eta_{flare,m}$                 | %                                   | 1.0       | Flare Efficiency in the minute m                                                             | Default value according to the tool "Project emissions from flaring" version 02.0.0                                              |
| CEG                              | MW                                  | 1.14      | Capacity of Each Generator                                                                   | Project Developer                                                                                                                |
| GE                               | %                                   | 40.20%    | Generator efficiency                                                                         | "ESTUDIO DE DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA EFECTIVA Y RENDIMIENTO DE LOS GRUPOS CAT 1, 2 Y 3 DE LA CENTRAL TÉRMICA HUAYACOLORO"    |
| FLGE                             | m <sup>3</sup> /h                   | 510.74    | Flow LFG each generator                                                                      | Calculated                                                                                                                       |
| T <sub>cn</sub>                  | m <sup>3</sup> /h                   | 0         | Thermal Consumption                                                                          | NA                                                                                                                               |
| $\epsilon_{boiler}$              | %                                   | 0         | Boiler efficiency                                                                            | NA                                                                                                                               |
| Electrical considerations        |                                     |           |                                                                                              |                                                                                                                                  |
| Parameters                       | Unit                                | Value     | Explanation                                                                                  | Source                                                                                                                           |
| EF <sub>grid,y</sub>             | tCO <sub>2</sub> e/MWh              | 0.45338   | Grid Emission Factor                                                                         | Provided to DOE as per the "Tool to calculate the emission factor for an electricity system" Version 4.0                         |
| TDL <sub>y</sub>                 | ratio                               | 5.00%     | Technical losses in the grid                                                                 | Default value                                                                                                                    |
| Working times                    |                                     |           |                                                                                              |                                                                                                                                  |

| Parameters                  | Unit                             | Value      | Explanation                                                           | Source                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------|----------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Helec                       | h/year                           | 8,000      | Hours of generators                                                   | Project developer                                                                                                                                                                                                                   |
| Hbl                         | h/year                           | 8,000      | Hours of blowers                                                      | Project developer                                                                                                                                                                                                                   |
| Hth                         | h/year                           | 0          | Hours of thermal consumption                                          | NA                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Other parameters</b>     |                                  |            |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                     |
| Parameters                  | Unit                             | Value      | Explanation                                                           | Source                                                                                                                                                                                                                              |
| PEFC <sub>i,y</sub>         | tCO <sub>2</sub> e/year          | CALCULATED | Emissions from heat consumption by the project activity               | Project evaluator                                                                                                                                                                                                                   |
| CH <sub>4</sub> LHV         | KJ/mol                           | 890        | Methane LHV                                                           | IPCC                                                                                                                                                                                                                                |
| FC <sub>i,j,y</sub>         | m <sup>3</sup> /year             | 0.0000     | Fuel consumption                                                      | Project developer                                                                                                                                                                                                                   |
| NCV <sub>i,y</sub>          | GJ/ m <sup>3</sup>               | 26.3000    | Weighted average net calorific value of the fuel type i (LPG)         | Values from the fuel supplier will be used.                                                                                                                                                                                         |
| EFCO <sub>2i,y</sub>        | tCO <sub>2</sub> /GJ             | 0.0656     | Weighted average CO <sub>2</sub> emission factor of fuel type i (LPG) | Values from the fuel supplier will be used.                                                                                                                                                                                         |
| <b>Site characteristics</b> |                                  |            |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                     |
| Parameters                  | Unit                             | Value      | Explanation                                                           | Source                                                                                                                                                                                                                              |
| MAT                         | °C                               | 20.79      | Mean Average Temperature                                              | <a href="http://www.worldweather.org/029/c00108.htm">http://www.worldweather.org/029/c00108.htm</a>                                                                                                                                 |
| MAP                         | mm/year                          | 41.00      | Mean average Precipitation                                            | <a href="http://www.worldweather.org/029/c00108.htm">http://www.worldweather.org/029/c00108.htm</a>                                                                                                                                 |
| PET                         | mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup> | 48.80      | Potential evapotranspiration                                          | <a href="http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/graphover.show?id=12739&amp;fname=aridity_index.gif&amp;access=public">http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/graphover.show?id=12739&amp;fname=aridity_index.gif&amp;access=public</a> |
| Waste basis                 | -                                | wet        | Waste basis (wet / dry)                                               | Project developer                                                                                                                                                                                                                   |

Fuente: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>. Datos planteados de acuerdo a las características del relleno

## Anexo 9: Coordenadas de ubicación del terreno del proyecto propuesto

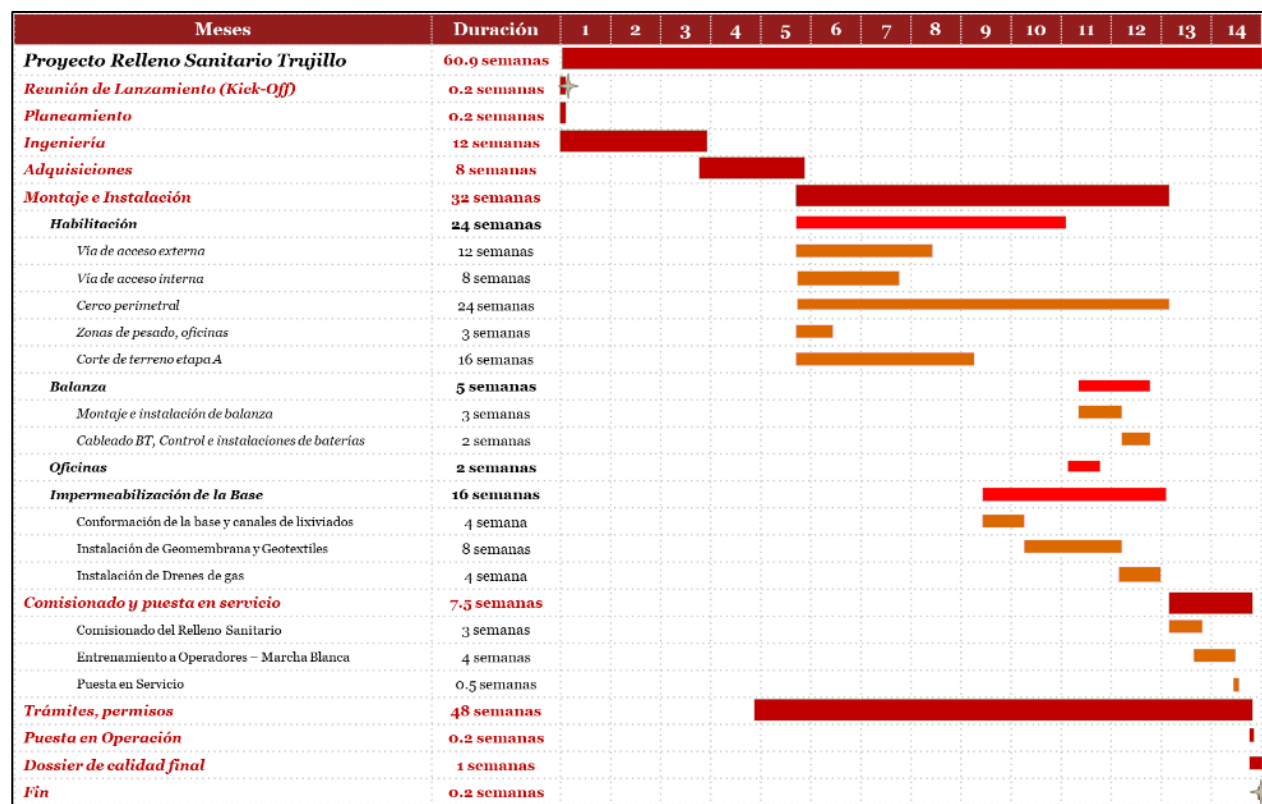
| Num | Codigo | Vertice | Este        | Norte         | DIST. (mts) |
|-----|--------|---------|-------------|---------------|-------------|
| 1   | V-1    | 1       | 718,851.899 | 9,114,458.064 | ---         |
| 2   | V-2    | 2       | 718,927.445 | 9,114,447.735 | 76.249      |
| 3   | V-3    | 3       | 718,953.062 | 9,114,423.727 | 35.109      |
| 4   | V-4    | 4       | 718,911.318 | 9,114,379.380 | 60.903      |
| 5   | V-5    | 5       | 718,929.561 | 9,114,276.215 | 104.766     |
| 6   | V-6    | 6       | 719,009.716 | 9,114,206.772 | 106.053     |
| 7   | V-7    | 7       | 719,210.147 | 9,114,264.667 | 208.625     |
| 8   | V-8    | 8       | 719,370.659 | 9,114,361.465 | 187.441     |
| 9   | V-9    | 9       | 719,532.078 | 9,114,275.222 | 183.014     |
| 10  | V-10   | 10      | 719,668.755 | 9,114,178.587 | 167.389     |
| 11  | V-11   | 11      | 719,796.575 | 9,114,150.736 | 130.819     |
| 12  | V-12   | 12      | 719,992.691 | 9,114,154.192 | 196.146     |
| 13  | V-13   | 13      | 720,057.735 | 9,113,993.853 | 173.030     |
| 14  | V-14   | 14      | 720,060.635 | 9,113,838.763 | 155.117     |
| 15  | V-15   | 15      | 720,196.120 | 9,113,745.337 | 164.574     |
| 16  | V-16   | 16      | 720,092.973 | 9,113,723.714 | 105.389     |
| 17  | V-17   | 17      | 719,981.237 | 9,113,781.949 | 126.001     |
| 18  | V-18   | 18      | 719,899.942 | 9,113,756.349 | 85.231      |
| 19  | V-19   | 19      | 719,814.066 | 9,113,812.520 | 102.615     |
| 20  | V-20   | 20      | 719,720.691 | 9,113,819.773 | 93.656      |
| 21  | V-21   | 21      | 719,588.301 | 9,113,855.563 | 137.142     |
| 22  | V-22   | 22      | 719,312.995 | 9,113,896.297 | 278.303     |
| 23  | V-23   | 23      | 719,263.844 | 9,113,866.145 | 57.662      |
| 24  | V-24   | 24      | 719,176.573 | 9,113,843.463 | 90.170      |
| 25  | V-25   | 25      | 719,073.691 | 9,113,791.346 | 115.329     |
| 26  | V-26   | 26      | 719,022.330 | 9,113,726.023 | 83.097      |
| 27  | V-27   | 27      | 718,915.993 | 9,113,715.066 | 106.900     |
| 28  | V-28   | 28      | 718,815.410 | 9,113,778.869 | 119.112     |
| 29  | V-29   | 29      | 718,736.179 | 9,113,763.253 | 80.755      |
| 30  | V-30   | 30      | 718,349.350 | 9,113,895.414 | 408.782     |
| 31  | V-31   | 31      | 718,460.844 | 9,114,025.034 | 170.974     |
| 32  | V-32   | 32      | 718,501.579 | 9,114,037.435 | 42.581      |
| 33  | V-33   | 33      | 718,550.573 | 9,114,019.519 | 52.167      |
| 34  | V-34   | 34      | 718,632.821 | 9,114,035.191 | 83.728      |
| 35  | V-35   | 35      | 718,704.801 | 9,114,186.398 | 167.466     |
| 36  | V-36   | 36      | 718,742.132 | 9,114,292.608 | 112.580     |
| 37  | V-37   | 37      | 718,759.438 | 9,114,362.803 | 72.297      |
| 38  | V-38   | 38      | 718,791.498 | 9,114,401.034 | 49.894      |

Fuente: “Estudio de selección de área proyecto de infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales para la provincia de Trujillo”. SEGAT, diciembre 2017.

## Anexo 10: Cronogramas de Implementación de Proyectos

Respecto del relleno sanitario se ha estimado un plazo de 14 meses para su implementación, siendo las etapas de habilitación e impermeabilización de la base las más críticas desde el punto de vista de la implantación; desde el punto de vista de la gestión, la aprobación de permisos es una tarea que debería resolverse en este tiempo con ayuda del MINAM y la municipalidad provincial de Trujillo toda vez que estas gestiones por su naturaleza pueden demorar mucho más tiempo.

**Figura N° 24. Cronograma y etapas de implementación – Relleno Sanitario**

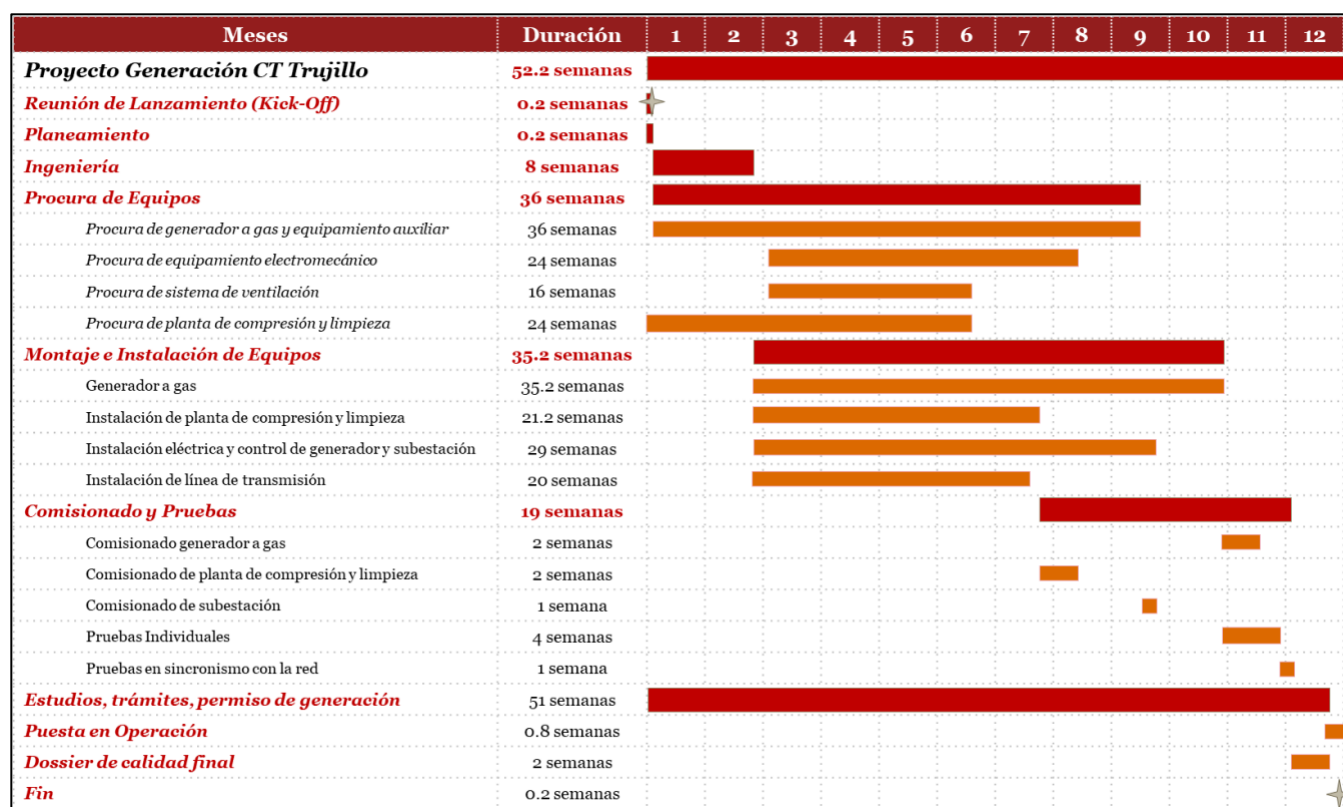


Fuente: Elaboración propia

Las adquisiciones en esta etapa se refieren principalmente a la procura de la geomembrana para impermeabilizar la base de las celdas. También se incluyen las contrataciones correspondientes para la habilitación de las vías de acceso (internas y externas), el cerco perimetral, balanza, maquinaria, corte de terreno y de áreas administrativas,

Respecto de la Estación de Generación Eléctrica se ha estimado un plazo de 12 meses para su implementación, siendo las etapas de procura de equipos y ejecución de línea de transmisión las más críticas desde el punto de vista de la implementación desde el punto de vista de la gestión, la aprobación de permisos es una tarea que debería resolverse en este tiempo con ayuda del MEM, OSINERGMIN y la Municipalidad Provincial toda vez que estas gestiones por su naturaleza pueden demorar mucho más tiempo.

**Figura N° 25. Cronograma y etapas de implementación – Generación Eléctrica**



Fuente: Elaboración propia

Las adquisiciones en esta etapa hacen referencia a la procura de las generadoras de gas, equipamiento auxiliar y electromecánico, sistema de ventilación y planta de compresión y limpieza de biogás.

---

## **Anexo 11: Vacíos de Información**

El presente estudio muestra un análisis rápido en base a la información recogida para este fin y el diseño conceptual del relleno sanitario e instalación de planta de generación eléctrica a partir de biogás. Sin embargo, se tiene vacíos de información a considerar para incluir en el estudio de pre-factibilidad.

### **Etapas de Estudio**

- El estudio de suelos disponible no asegura la distancia en la cual se ubica la napa freática. No hay un estudio hidrológico del lugar del terreno.
- Falta estudio topográfico y modelamiento a nivel de detalle del relleno sanitario, para ver si el diseño del relleno realmente se ajuste a las características del suelo.
- No hay precisión sobre la cantidad de RRSS que realmente ingresan al botadero El Milagro, pues no hay una balanza en el sitio.
- No se cuenta con el detalle del plan de segregación y recuperación de residuos por parte de la municipalidad que permita estimar como se reducirá la disposición final de residuos sólidos.
- No se cuenta con un estudio de impacto ambiental, vial y social
- No se tiene un estudio de pre-operatividad y operatividad para el caso de la generación eléctrica.
- No se cuenta con un estudio socioeconómico de recicladores en el botadero “El Milagro” y un plan de transición.

### **Etapas de Construcción**

- No hay información sobre el impacto económico generado por la paralización de obra por la existencia de sindicatos extorsionadores
- No hay información sobre el impacto económico generado por la paralización de la obra por retrasos en la expedición de licencias.
- No hay información sobre el impacto económico generado por la paralización de la obra por los recicladores como consecuencia de la clausura del botadero el milagro, creemos que ambas actividades deben realizarse en modo paralelo, así como desarrollar un plan de concientización social.
- No se tiene la topografía del terreno desde el relleno sanitario hasta la subestación de recepción para ejecutar la línea de transmisión.
- No se tiene la información sobre el pago de tasa por servidumbre en la línea de transmisión.
- No se tiene definida formalmente la ubicación de la subestación de recepción. Se ha considerado como aceptado el hecho de conectarlo a la SE más próxima.

### **Etapas de Operación**

- No se tiene contemplado el coste de las actividades contempladas en el estudio de impacto ambiental.



Federal Ministry  
for the Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety

This document is an output from the Mobilising Investment project, an initiative of the Climate and Development Knowledge Network (CDKN) and Low Emission Development Strategies Global Partnership (LEDS GP) contracted through SouthSouthNorth (SSN).

The Mobilising Investment project is funded by the International Climate Initiative (IKI) of the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), on the basis of a decision adopted by the German Bundestag. Delivery partners for the project include the National Renewable Energy Laboratory (NREL), Overseas Development Institute (ODI) and PriceWaterhouseCoopers UK (PwC).

The views expressed are not necessarily those of, or endorsed by, BMU or any of the entities delivering the Mobilising Investment project, who can accept no responsibility or liability for such views or information, or for any reliance placed on them. This publication has been prepared for general guidance on matters of interest only, and does not constitute professional advice. You should not act upon the information contained in this publication without obtaining specific professional advice. No representation or warranty (express or implied) is given as to the accuracy or completeness of the information contained in this publication, and, to the extent permitted by law, the entities managing the delivery of the Mobilising Investment project do not accept or assume any liability, responsibility or duty of care for any consequences of you or anyone else acting, or refraining to act, in reliance on the information contained in this publication or for any decision based on it.

## Contacts



**Ian Milborrow**

[milborrow.p.ian@pwc.com](mailto:milborrow.p.ian@pwc.com)



**Yasomie Ranasinghe**

[yasomie.ranasinghe@pwc.com](mailto:yasomie.ranasinghe@pwc.com)



**Guillermo Guerrero**

[guillermo.guerrero@pwc.com](mailto:guillermo.guerrero@pwc.com)

At PwC, our purpose is to build trust in society and solve important problems. We're a network of firms in 158 countries with more than 236,000 people who are committed to delivering quality in assurance, advisory and tax services. Find out more and tell us what matters to you by visiting us at [www.pwc.com](http://www.pwc.com).

This publication has been prepared for general guidance on matters of interest only and does not constitute professional advice. You should not act upon the information contained in this publication without obtaining specific professional advice. No representation or warranty (express or implied) is given as to the accuracy or completeness of the information contained in this publication, and, to the extent permitted by law, PwC does not accept or assume any liability, responsibility or duty of care for any consequences of you or anyone else acting, or refraining to act, in reliance on the information contained in this publication or for any decision based on it.

© 2019 PwC. All rights reserved. "PwC" refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see [www.pwc.com/structure](http://www.pwc.com/structure) for further details.