**“DESARROLLO DE DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES CON GENERACIÓN ELÉCTRICA ASOCIADA PARA LA CIUDAD DE XALAPA, MÉXICO, INCLUYENDO EL DISEÑO DEL MODELO DE GESTIÓN, EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y FINANCIERA, FACTIBILIDAD LEGAL Y ANÁLISIS AMBIENTAL”**

**INE/WSA División de Agua y Saneamiento**

DF-ME-G1012

**Modelo Institucional y Modelo Financiero**

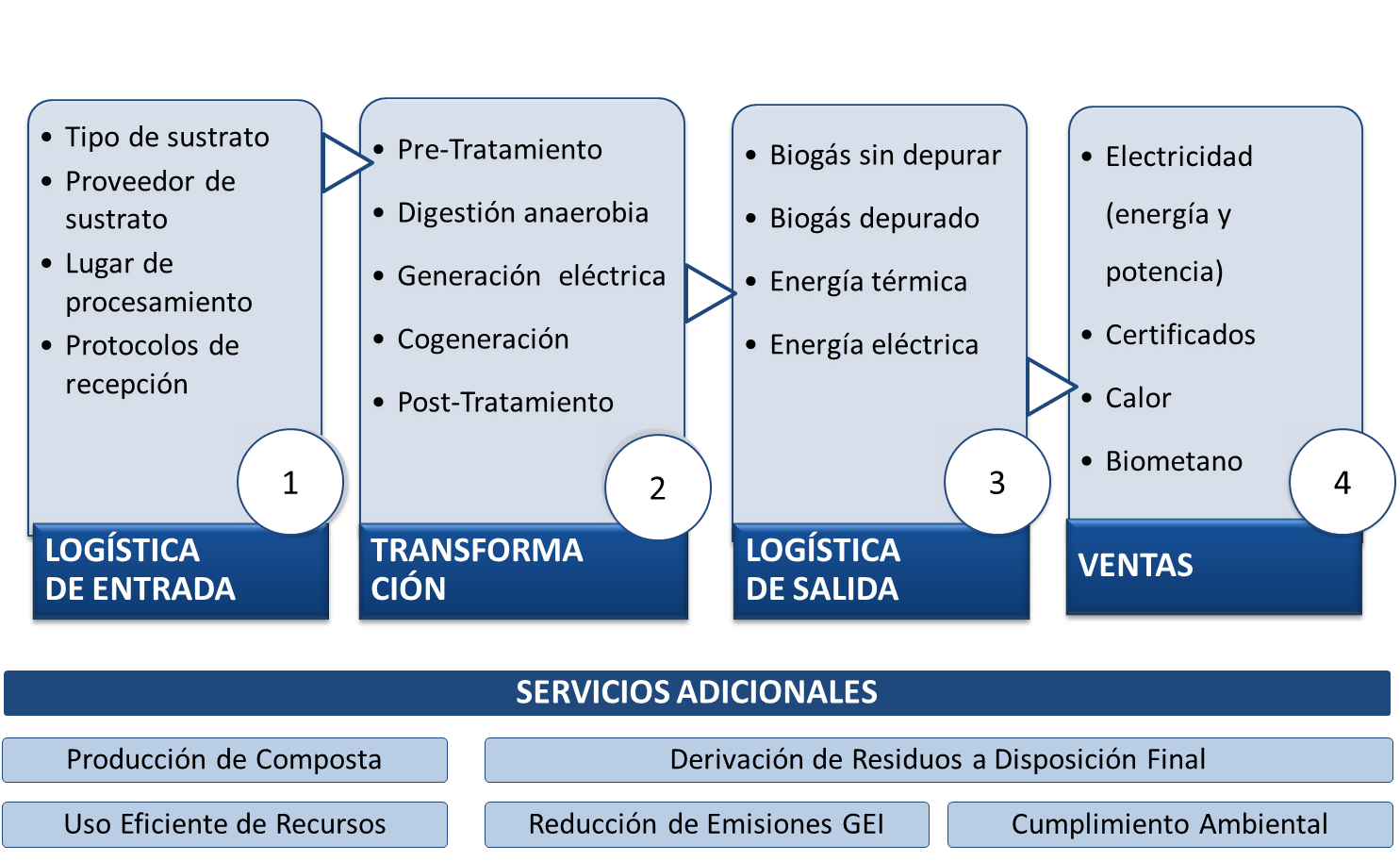
## Modelo Institucional.

#### Cadena de Valor del Biogás.[[1]](#footnote-1)

A nivel mundial, el principal uso del biogás está orientado a la generación de energía eléctrica utilizando motores de combustión interna, ello debido a que generalmente el costo de transportar electricidad es muy inferior al de transportar directamente cualquier gas combustible; además que dicha alternativa permite también aprovechar el calor de los gases de escape de los motores y/o del agua de refrigeración mediante sistemas de cogeneración.

En dicho sentido, la cadena de valor asociada a un sistema de aprovechamiento de biogás como el descrito anteriormente consistiría de cuatro componentes y un grupo de servicios adicionales, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura i.2 Cadena del Valor del Biogás.



Fuente: Adaptado de GAMMA Ingeniería, (2011). Modelos de Negocio que Rentabilicen Aplicaciones de Biogás en Chile y su Fomento.

La primera fase de la cadena en cuestión comprende la logística de entrada, es decir el proceso dónde se adquieren los recursos para el desarrollo del negocio, siendo fundamental en este caso determinar el tipo de sustrato a tratar, quién lo proveería, las condiciones en las que sería recibido y el lugar donde sería procesado.

Posteriormente tendría lugar la etapa de transformación, en la cual el biogás es producido mediante un proceso bioquímico, el cual requiere generalmente de una fase inicial de pre-tratamiento para adecuar el sustrato a ser procesado, así como de fases ulteriores encaminadas al acondicionamiento del biogás en función del uso final que se le vaya a dar (sustituto de otros combustibles o generación de energía térmica/eléctrica) y también al post-tratamiento de los subproductos generados por la digestión en sí.

De suma relevancia para esta etapa de la cadena de valor es la selección de la tecnología apropiada para la producción del biogás, especialmente debido al hecho de que en el mercado existen sistemas con diversos grados de eficiencia, así como proveedores con experiencias heterogéneas, lo cual da pie a cierta incertidumbre durante el proceso de toma de decisión.

Una vez producido el biogás, tiene lugar la logística de salida, es decir, del tipo de producto terminado que tendría un valor para uso propio o para un tercero. En dicho sentido, el producto en cuestión puede comprender:

1. Biogás sin depurar o depurado con el propósito de ser utilizado para sustituir otro tipo de combustibles.
2. Energía eléctrica y/o térmica mediante equipos integrados en la planta, la cual puede estar asociada a consumos propios del productor (autoconsumo) o bien a su venta hacia terceros.

Finalmente, tiene lugar el proceso de venta del producto que se defina obtener, requiriéndose desarrollar los esquemas de comercialización apropiados para minimizar los riesgos económicos del negocio. A continuación, se presentan algunas consideraciones sobre la venta de los distintos productos vinculados a la producción de biogás:

1. Venta de energía y potencia eléctrica:
   1. Si la producción de energía se destina a autoconsumo, los ingresos corresponderán a los ahorros asociados a los menores retiros de energía y potencia que se realicen del sistema eléctrico.
   2. Por otra parte, si lo que se pretende es comercializar en el sistema eléctrico excedentes de generación eléctrica, será necesario familiarizarse con la estructura y regulación del mercado.
2. Venta de certificados asociados a la generación de energía de fuentes renovables y/o energía limpia, lo cual dependerá también de la estructura y regulación del mercado correspondiente.
3. Venta de energía térmica originada por un proceso de cogeneración:
   1. La cogeneración es la alternativa más utilizada hoy en día ya que corresponde al modelo de generación de mayor eficiencia energética, con la valorización de hasta un 86% de la energía que contiene el biogás.
   2. De ser posible valorizar la energía térmica, el riesgo de participar en el mercado eléctrico disminuye por efecto de diversificación de ventas.
4. Venta de biometano para sustitución de otros combustibles:
   1. En este caso la inversión en la infraestructura para el transporte del biometano a su lugar de consumo será determinante para la viabilidad del negocio, así como el costo del combustible que se busca remplazar.

De manera complementaria a los cuatro eslabones descritos previamente, la cadena de valor del biogás cuenta también con ciertos servicios o adicionalidades del negocio, los cuales corresponden principalmente a:

1. Producción de composta:
   1. El material remanente tras el proceso de transformación o digestato, puede ser tratado mediante procesos aeróbicos para producir fertilizante orgánico.
   2. En caso que el fertilizante pretenda ser comercializado, será de suma relevancia contar con un marco normativo que permita controlar y garantizar su calidad, así como la existencia de un mercado maduro para su venta.
2. Derivación de residuos a disposición final.
   1. Los residuos que, como resultado del proceso de tratamiento, dejan de ser confinados en un sitio de disposición final dar lugar a beneficios de tipo indirecto relacionados con ahorros en inversiones y costos de operación, así como en extensión de la vida útil del relleno sanitario en cuestión.
3. Uso eficiente de recursos.
   1. Por otra parte, el aprovechamiento de los residuos sólidos para su transformación en distintos productos derivados del biogás implica que éstos serán reincorporados a procesos productivos, optimizando de este modo el uso de los recursos naturales y reduciendo también su explotación como materia prima virgen.
4. Reducción de emisiones de GEI.
   1. Al ser comparado con una línea base, el sistema de tratamiento podría evitar emisiones de forma directa como resultado de la desviación de residuos a disposición final, así como por la utilización para autoconsumo de la propia energía producida.
   2. También podría tener lugar una reducción adicional de tipo indirecto al generar energía de fuentes renovables o limpias que desplaza una proporción de aquella producida a través de la matriz energética de cada país, ello en función de la participación que los combustibles fósiles tengan en la misma.
5. Cumplimiento ambiental.
   1. Finalmente, un servicio adicional vinculado a la cadena de valor del biogás estaría relacionado al cumplimiento y satisfacción de legislaciones y regulaciones locales en materia de tratamiento de residuos sólidos y generación de energía renovable/limpia.

#### Potencial del Negocio para Xalapa.

Tomando en cuenta que “el modelo de negocios adecuado para un proyecto de biogás debe asegurar, en lo posible, la valorización de todos sus productos”[[2]](#footnote-2), se desprenden las siguientes consideraciones con base en el potencial efectivo de comercialización asociado a las condiciones de la Ciudad de Xalapa:

1. La inexistencia de un marco normativo que defina las especificaciones de composición y calidad para la utilización de biometano como combustible substituto inhibe significativamente la posibilidad de su valorización.
2. Por otra parte, la incertidumbre en los precios vinculados a la venta de fertilizantes orgánicos, debido principalmente al carácter incipiente y poco regulado del mercado en cuestión, implica el tomar con suma reserva su consideración como posible fuente de ingreso.
3. En cuanto al aprovechamiento del calor como un bien comerciable, el hecho de no contar con una demanda específica de este producto por parte de la ciudad, acotaría su utilización exclusivamente con fines de autoconsumo, eso en caso de que la solución tecnológica implementada así lo requiera.
4. Finalmente, serían las condiciones de madurez y estabilidad del mercado eléctrico mexicano, así como las regulaciones e instrumentos específicos para el fomento de la generación de energía de fuentes renovables y/o limpias, las que permitirían identificar a la electricidad y sus certificados asociados como los productos que efectivamente se podrán valorizar comercialmente.

Con base en lo anteriormente expuesto, se puede concluir que el sistema de tratamiento se sustentará en un modelo de negocio cuya principal fuente de ingreso es la venta de energía eléctrica y algunos de sus productos asociados, complementado en caso de ser necesario, por la incorporación de tarifas por concepto de tratamiento y valorización de residuos sólidos.

#### Desarrollo de Modelo de Negocio.

Una vez determinado que el modelo de negocio se sustentará en la venta de electricidad y algunos de sus productos asociados, la presente sección se concentra en describir cómo se integrará la cadena de valor específicamente para el sistema de tratamiento, así como en definir el esquema de comercialización más apropiado para mitigar el riesgo económico para el proyecto y la incidencia que tendrá sobre el mismo el marco legal y regulatorio aplicable.

* + - 1. Cadena de Valor y Mitigación de Riesgos para Xalapa.

Tomando como base la estructuración de la cadena de valor para el biogás anteriormente presentada, el sistema de tratamiento contaría con las siguientes características (ver también figura siguiente):

1. Logística de Entrada.

Los derechos de propiedad y el suministro del sustrato a tratar pertenecerían y serían responsabilidad del Municipio a través de la prestación del servicio de manejo de residuos y particularmente a través de su sistema de recolección, considerando para ello que:

* 1. La materia prima por procesar estaría constituida por los RSU generados en la ciudad.
  2. El proveedor del sustrato y del predio donde tendrá lugar la transformación es el Municipio de Xalapa.
  3. El sustrato podrá ser recibido tras haber sido recolectado de manera mezclada y/o separada en origen, asumiendo que la planta será concebida bajo un concepto flexible.

1. Transformación y Logística de Salida.

La solución tecnológica a implementar será suficientemente robusta y eficiente para tratar RSU y en particular la materia orgánica recuperable (también denominada como mayoritariamente orgánica).

* 1. En cuanto al proceso de transformación se trata, éste integrará cuatro etapas consecutivas: pre-tratamiento, digestión anaerobia, generación eléctrica y post-tratamiento.
  2. Por otra parte, la logística de salida comprenderá a la energía eléctrica como producto terminado.

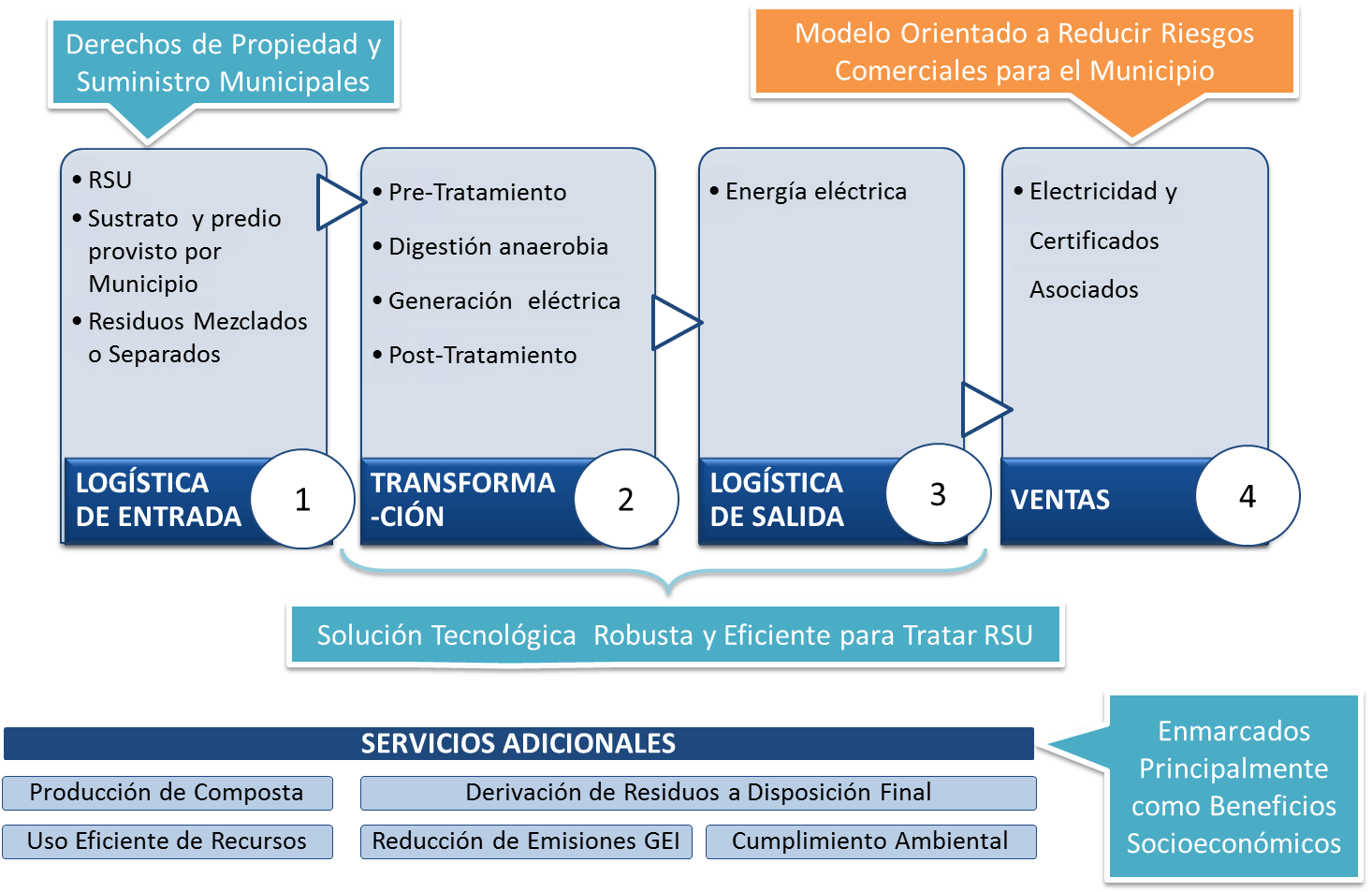
1. Servicios Adicionales.

Las adicionalidades de la cadena de valor serán consideradas principalmente como beneficios socioeconómicos vinculados al sistema de tratamiento, cobrando gran relevancia para la evaluación costo-beneficio del proyecto y teniendo un impacto poco significativo en el caso de la rentabilidad financiera del negocio.

1. Venta.

El producto a vender será la electricidad y algunos de sus productos asociados, para lo cual será necesario contar con un modelo orientado a reducir los riesgos comerciales para el proyecto y el Municipio.

Figura i.3 Cadena del Valor para el Sistema de Tratamiento.



Fuente: Elaboración Propia.

En el tenor de la mitigación de riesgos comerciales y por ende económicos para el sistema de tratamiento, **el modelo de negocio propuesto estará centrado en generar ahorros en el consumo de energía para el Municipio de Xalapa (como resultado de los excedentes producidos por el sistema de tratamiento una vez satisfechos sus requerimientos de autoconsumo), bajo una modalidad de medición neta (net metering)[[3]](#footnote-3) y en la venta de Certificados de Energía Limpia[[4]](#footnote-4), contando como adicionalidad la comercialización de composta.**

Figura i.4 Esquema de Medición Neta.



Fuente: http://generaenergiasolarzeroenergyon.blogspot.mx/2014/09/normativa-de-medicion-neta-net-metering.html.

* + - 1. Marco Legal/Regulatorio Aplicable.

Tras definir el modelo de negocio apropiado para la planta, es necesario indicar la forma en que éste podrá ser efectivamente implementado al tomar en cuenta el marco legal y regulatorio que rigen el mercado donde se comercializarán sus principales productos, existiendo dos aspectos determinantes en dicho sentido: la categoría de generador en la que se circunscribiría, así como la fuente y/o proceso de generación de la electricidad.

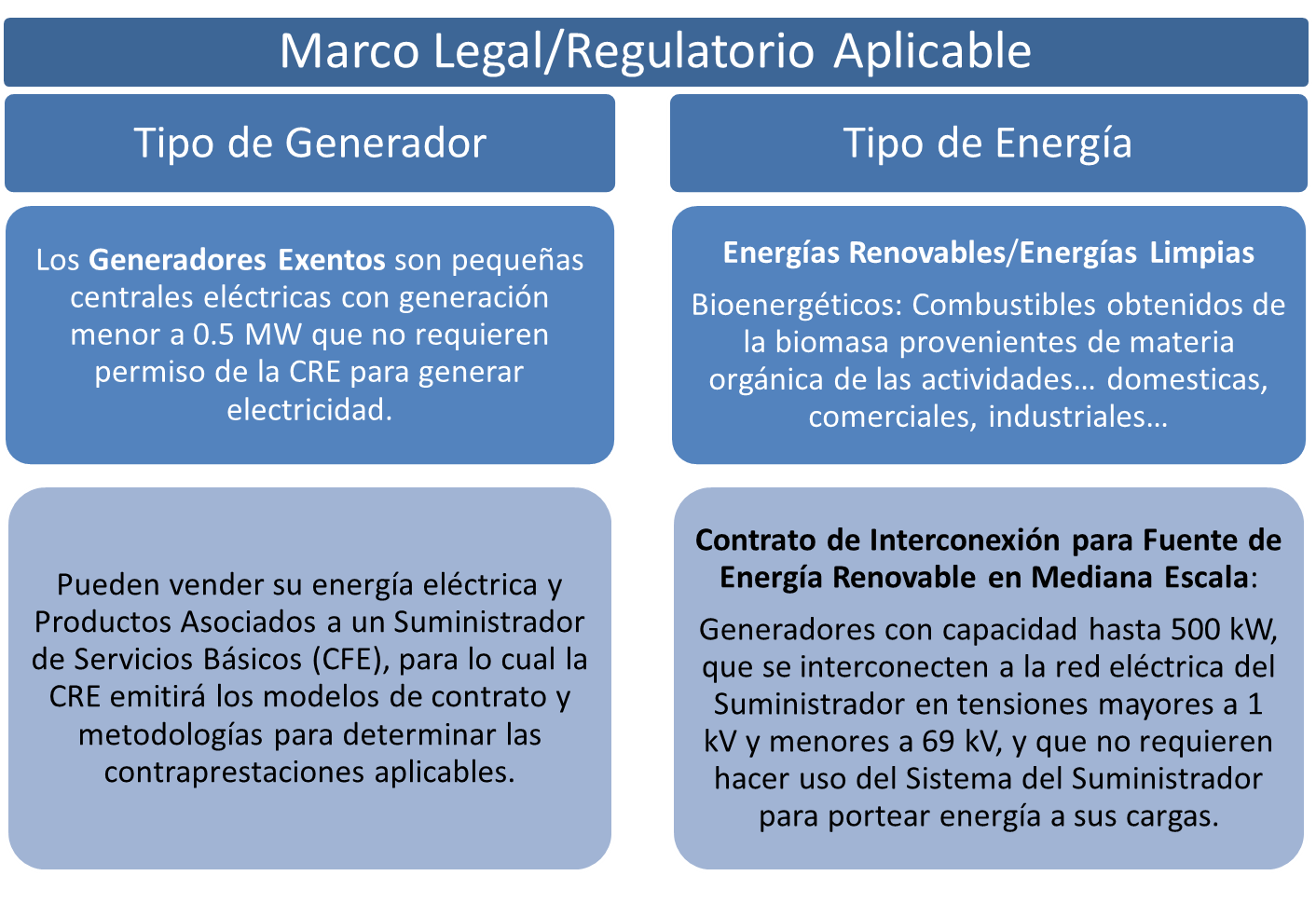
En el primer caso, el tipo de generador define la forma de acceso al mercado eléctrico y por lo tanto la forma de comercializar la energía, así como sus productos asociados, de tal manera que para el sistema de tratamiento se contaría con las siguientes características:[[5]](#footnote-5)

1. Se trataría de un Generador Exento, es decir, de una pequeña central eléctrica con generación menor a 0.5 MW, que no requiere permiso de la Comisión Reguladora de Energía para generar electricidad.
2. Los Generadores Exentos sólo pueden vender su energía eléctrica y productos asociados a través de un Suministrador. En el caso del esquema de medición neta, dicha venta puede ocurrir exclusivamente a través de un Suministrador de Servicios Básicos (actualmente, sólo la Comisión Federal de Electricidad cuenta con dicha categoría), para lo cual la CRE emite los modelos de contrato y metodologías a fin de determinar las contraprestaciones aplicables.[[6]](#footnote-6)

Por otra parte, la fuente y/o proceso de generación de la electricidad establecen el modelo de contrato de interconexión que vincula, bajo la modalidad de medición neta, a la central eléctrica con Suministrador de Servicios Básicos. En cuanto a la planta de digestión con generación de energía se trata, ello procede de la siguiente manera:

1. Tanto la definición de energías renovables[[7]](#footnote-7) como de energías limpias[[8]](#footnote-8) incorporan a los bioenergéticos en sus alcances, siendo estos últimos precisados como “**Combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades**, agrícola, pecuaria, silvícola, acuacultura, algacultura, residuos de la pesca, **domesticas, comerciales, industriales**, de microorganismos, y de enzimas, así como sus derivados, producidos, por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente…”[[9]](#footnote-9).
2. Sustentado en lo anteriormente descrito, la CRE expidió un modelo de contrato de interconexión para fuente de energía renovable en mediana escala considerando a generadores con capacidad hasta 500 kW, que se interconecten a la red eléctrica del suministrador en tensiones mayores a 1 kV y menores a 69 kV, y que no requieren hacer uso del Sistema del Suministrador para portear energía a sus cargas.[[10]](#footnote-10)

Figura i.5 Marco Legal y Regulatorio Aplicable al Modelo de Negocio.



Fuente: Elaboración propia.

#### Estructuración del Proyecto.[[11]](#footnote-11)

En términos generales, la estructuración de un proyecto comprende la asignación de responsabilidades, derechos y riesgos a cada una de las partes involucradas en su ejecución (Sector Público y Sector Privado). Esta asignación se definirá detalladamente en un contrato (cuya modalidad podría ser de obra pública tradicional, Asociación Pública Privada o una mezcla de ambos) y regirá su implementación incluyendo la determinación de niveles de desempeño y fechas de pagos, así como las penalidades

El punto de partida de la estructuración es el concepto mismo del proyecto, es decir, el esquema físico del proyecto, la tecnología que se espera utilizar, las responsabilidades y riesgos asumidos por cada una de las partes, los productos o servicios que ofrecerá, y las personas a las que atenderá.

* + - 1. Identificación de Riesgos.

En primera instancia, la estructuración del proyecto consiste en la elaboración de una lista de todos los riesgos asociados al mismo o registro de riesgos, entendiendo como riesgo a “una variación impredecible en el valor del proyecto, desde el punto de vista de algunas o de todas las partes interesadas, proveniente de un factor de riesgo subyacente determinado”[[12]](#footnote-12).

Regularmente, los riesgos se agrupan por categorías, asociándolos a una función particular (como la construcción, operación o financiamiento) o a una etapa determinada del proyecto (como la terminación). En México, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público ha definido una serie de riesgos estándar, independientes de la tipología y sector de la economía donde pueda ser desarrollado el proyecto, aglutinándolos en la siguiente Matriz Estándar General[[13]](#footnote-13):

Tabla i.23 Matriz General Estándar de Riesgos para México.

| **Categoría del Riesgo** | **Etapa** | **Riesgos Estándares** | **Descripción** |
| --- | --- | --- | --- |
| Riesgo de Implementación | Etapa licitación. | Riesgo de adquisición de terrenos. | Dificultad en la entrega del área de contrato en concordancia con un programa previamente definido. |
| Etapa licitación. | Riesgo de demora en la aprobación de la adjudicación del contrato. | El contrato no se suscribe en la fecha programada y retrasa el inicio del proyecto, generando perjuicios financieros. |
| Riesgo de Construcción | Etapa de construcción. | Riesgo de diseño. | El diseño de ingeniería y/o arquitectura establecido para el proyecto puede ser insuficiente, lo que puede generar la realización de nuevas obras y/o complementarias respecto al diseño original. |
| Etapa de construcción. | Riesgo de sobrecostos de la construcción. | Aumento de costos de distintos Ítems en la etapa de construcción debido a incrementos en las cubicaciones, precios de materiales y mano de obra y especificaciones de diseño. |
| Etapa de construcción. | Riesgo de atrasos en el desarrollo de la construcción de las obras. | Aumentos de los costos debido a atrasos en la ejecución de las actividades programadas para la etapa de construcción. |
| Riesgos de Operación y Mantenimiento. | Etapa de explotación | Riesgo operativo. | Aumento no previsto de los costos de operación y/o mantenimiento del proyecto. |
| Etapa de explotación | Riesgo de nivel del servicio. | No se logra alcanzar un nivel de servicio para el proyecto acorde con las especificaciones contractuales. |
| Etapa de explotación | Riesgo en discontinuidad del servicio. | Interrupción parcial o permanente de los servicios que lleva a una pérdida de ingresos y protestas de los usuarios. |
| Riesgos Ambientales | Etapa de construcción/ explotación. | Riesgo ambiental. | Infracción medioambiental a las normas establecidas, obstrucciones geológicas, climáticas, físicas y arqueológicas, entre otras que producen sobrecostos y/o sobreplazos. |
| Riesgos de fuerza mayor. | Todas las etapas del proyecto. | Riesgos de catástrofes naturales. | Hechos de la naturaleza que impiden el desarrollo del proyecto destruyen activos, no permiten su operación y desajustan el balance económico-financiero. |
| Etapa de construcción/explotación. | Riesgo de quiebra. | Impacto de variables macroeconómicas, crisis financieras internacionales o actos terroristas afectan el equilibrio económico- financiero esperado y aumentan la probabilidad de llevar el negocio a la quiebra. |
| Riesgos legales y regulatorios. | Todas las etapas del proyecto. | Riesgos contractuales. | Divergencias entre el mandante y el privado respecto de interpretaciones del contrato. |
| Todas las etapas del proyecto. | Riesgos de determinación de la normatividad aplicable. | Aplicación de la normativa que incorpora ciertas exigencias y requisitos adicionales al proyecto. |
| Riesgos políticos. | Todas las etapas del proyecto. | Riesgo de cambios en la legislación pertinente. | Cambio en la legislación y/o regulación de los estándares (técnicos, ambientales, entre otros) genera efectos en los costos, ingresos e inversiones afectando la viabilidad del proyecto. |
| Todas las etapas del proyecto. | Riesgo de terminación del proceso de contratación. | Por decisiones políticas se deja de desarrollar el proyecto y se genera una terminación anticipada. |
| Riesgos sociales. | Todas las etapas del proyecto. | Riesgo de conflicto social ajeno al proyecto. | Protestas, paros, huelgas y/o aspectos culturales que interfieran con el normal desarrollo del proyecto produciendo plazos y costos mayores a los estimados inicialmente. |
| Todas las etapas del proyecto. | Riesgo de interferencia de tercero. | Aumento de los plazos y daño a las obras debido a interferencias de terceros. |
| Riesgo de ingresos. | Etapa de explotación. | Riesgo de demanda. | La cantidad de demanda de usuarios del servicio es diferente a la prevista, lo que tiene efectos en la dimensión del proyecto y los ingresos percibidos. |
| Riesgo de ingresos. | Etapa de explotación. | Riesgos tarifarios. | El nivel de la tarifa es resistido por los usuarios y los cambios en los ajustes tarifarios no se efectúan en los plazos establecidos y/o no son sustentables de acuerdo a la disposición a pagar por el servicio. |
| Riesgos tecnológicos. | Etapa de explotación. | Riesgos de obsolescencia tecnológica. | Los equipos y tecnología necesarios para la operación, cumplen su ciclo de vida y quedan obsoletos, o no se encuentran operativos para satisfacer los requerimientos del proyecto. |
| Riesgos de mercado. | Etapa construcción/ operación. | Riesgo de incremento en el precio de los insumos. | El precio de insumos necesarios para la construcción de las obras o de la operación del proyecto aumenta debido a contingencias macroeconómicas. |
| Riesgo de nuevas inversiones. | Etapa de explotación. | Riesgo de nuevas inversiones. | El mandante puede juzgar necesario la realización de nuevas inversiones, ya sea en el proyecto que administra el privado o en infraestructura, alternativa que impacta los beneficios del proyecto. |
| Riesgos financieros. | Etapa de licitación. | Riesgo de bancabilidad. | No obtención del financiamiento apropiado (deuda) porque el proyecto no puede levantar los fondos suficientes en los mercados financieros. |
| Etapa operación | Riesgo tasa de interés. | Las tasas de interés fluctúan en forma desfavorable encareciendo los costos financieros. |
| Etapa operación | Riesgo tipo de cambio. | El tipo de cambio entre la moneda del financiamiento y de ingresos fluctúa en forma adversa generando un desajuste cambiario. |

Fuente. SHCP, (2012).

* + - 1. Evaluación y Priorización de Riesgos.

Posteriormente, los riesgos son evaluados y jerarquizados tomando en cuenta principalmente su probabilidad de ocurrencia y la gravedad de su impacto en los resultados del proyecto. Una vez realizado lo anterior, el proceso continúa con la definición de las medidas de mitigación correspondientes, es decir, aquellas medidas que podrían implementarse dentro de las limitaciones del proyecto, que reduzcan la probabilidad o el impacto de cada evento.

Para el caso particular del sistema de tratamiento, se llevó a cabo una valoración de tipo cualitativo a partir de las recomendaciones de la SHCP, la cuales además de los criterios anteriormente señalados considera un valor de borda y una clasificación de cada riesgo en cuestión, cuyas forma de estimación se describen a continuación:

###### Riesgo de Impacto.

El valor mínimo que toma el riesgo de impacto sobre un proyecto es cero, pero las unidades y el valor máximo son propios para cada riesgo. La valoración cualitativa del impacto asigna a cada riesgo un rango de opciones no superpuestas que incluyen todas las consecuencias posibles del riesgo. Las definiciones de estas categorías varían, pero generalmente se relacionan con el objetivo del proyecto de la siguiente manera:

Tabla i.24 Definición y Criterio del Riesgo de Impacto.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Riesgo de Impacto | Impacto | Criterio |
| Crítico (C) | Mayor o igual al 20% | Cualquier impacto que podría llevar a la cancelación del proyecto. |
| Severo (S) | Menor al 20% | Cualquier impacto que coloque en peligro el objetivo de proyecto o que puedan llevar a un impacto significativo en el largo plazo. |
| Moderado (Mo) | Menor al 10% | Cualquier impacto que causaría un cambio en la planificación de manera significativa o que podría conducir a un efecto notable e inoportuno para el proyecto. |
| Mínimo (Mi) | Menor al 5% | Cualquier impacto que puede ser tratado al interior del equipo de proyecto y que no tendría ningún efecto en el largo plazo. |
| Despreciable (D) | Menor al 1% | Cualquier impacto que afecta de manera insignificante o produce algún efecto adverso significativo sobre el ciclo de vida del proyecto. |

Fuente: SHCP (2012)

###### Probabilidad de Ocurrencia.

Se entenderá como la probabilidad de ocurrencia a la probabilidad que un riesgo ocurra por única vez durante todo el ciclo de vida del proyecto. La probabilidad de cualquier riesgo especifico toma valores entre cero (sin posibilidad de ocurrencia) y uno (ocurre inevitablemente). La evaluación de los riesgos por medio de métodos cualitativos divide las opciones en rangos de probabilidad y requiere de una asignación dentro de los rangos definidos. La evaluación cuantitativa del riesgo asigna a cada riesgo una fracción específica entre cero y uno (entre cero y 100 por ciento). En el Manual de la SHCP se empleará un rango lineal para la jerarquización de las probabilidades de ocurrencia de los riesgos, asignando rangos como muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo a cada uno de los riesgos como probabilidades de ocurrencia según corresponda, tal como se describe a continuación:

Tabla i.25 Definición de la Probabilidad de Ocurrencia de Riesgo.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Probabilidad de Ocurrencia. | Probabilidad | Descripción |
| Muy Alto | 100% - 91% | Es muy probable que el riesgo ocurra durante el ciclo de vida del proyecto. |
| Alto | 90% - 61% | Probablemente el riesgo ocurra durante el ciclo de vida del proyecto. |
| Moderado | 60% - 41% | Puede o no ocurrir el riesgo durante el ciclo de vida del proyecto. |
| Bajo | 40% - 11% | Es improbable que el riesgo ocurra durante el ciclo de vida del proyecto. |
| Muy Bajo | 10% - 0% | Es muy poco probable que ocurra el riesgo durante el ciclo de vida del proyecto. |

Fuente: SHCP, (2012)

###### Clasificación.

Además de la probabilidad de ocurrencia y del impacto del riesgo, los riesgos pueden ser clasificados en tres categorías de riesgo: Alto (A), Medio (M) y Bajo (B), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

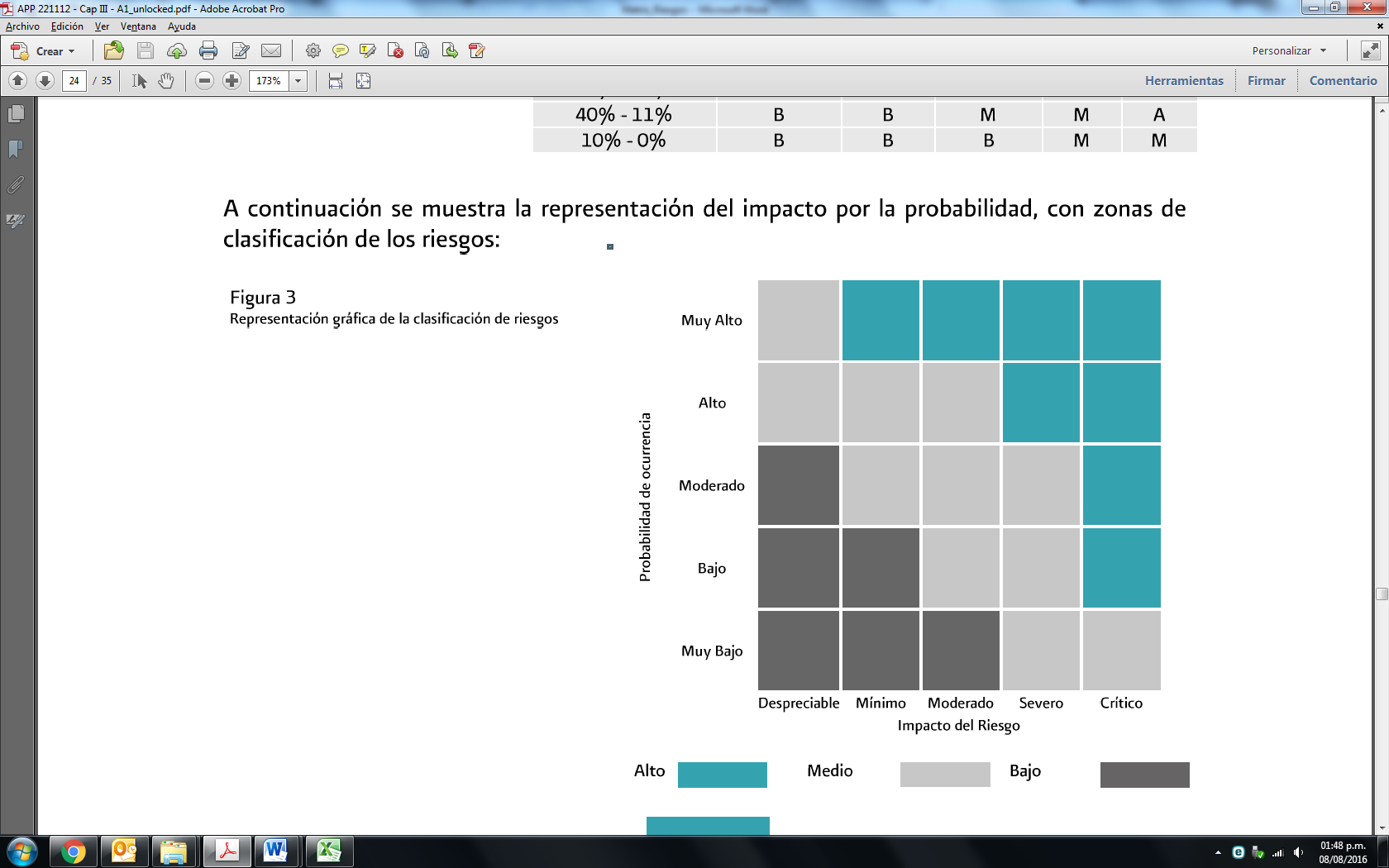
Tabla i.26 Definición de la Clasificación de los Riesgos.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Probabilidad de Ocurrencia. | Riesgo de Impacto | | | | |
| **Depreciable** | **Mínimo** | **Moderado** | **Severo** | **Crítico** |
| 100% - 91% | M | A | A | A | A |
| 90% - 61% | M | M | M | A | A |
| 60% - 41% | B | M | M | M | A |
| 40% - 11% | B | B | M | M | A |
| 10% - 0% | B | B | B | M | M |

Fuente: SHCP, (2012).

A continuación se muestra la representación del impacto por la probabilidad, con zonas de clasificación de los riesgos:

Figura i.6 Representación Gráfica de la Clasificación de Riesgos.



Fuente: SHCP, (2012)

* + - 1. Asignación de Riesgos

En el contexto de la estructuración del proyecto, el proceso de asignación de riesgos implica decidir qué parte del contrato (ente público o privado) asumirá los costos (u obtendrá los beneficios) de un cambio en los resultados del proyecto derivado de cada factor de riesgo. Con dicha finalidad, se consideran dos objetivos principales:

1. Crear incentivos para las partes con el fin de gestionar bien los riesgos y mejorar los beneficios del proyecto o reducir los costos.
2. Reducir el costo total del riesgo del proyecto, asegurando las partes contra los riesgos que no estén dispuestas a asumir

Aunado a lo anterior, se debe aplicar como principio fundamental del proceso de asignación, el hecho de que cada uno debe ser asignado a quien pueda gestionarlo mejor, de tal manera que cada riesgo debe asignarse a la parte:

1. Que mejor pueda controlar la probabilidad de que ocurra el riesgo.
2. Que mejor pueda controlar el impacto del riesgo en los resultados del proyecto, mediante la buena evaluación y anticipación de un riesgo y respondiendo a éste.
3. Que pueda absorber el riesgo al costo más bajo, si la probabilidad e impacto de los riesgos no pueden controlarse.

Sin embargo, también existen limitaciones al llevar a cabo esta actividad, entre las cuales se encuentran:

1. El nivel de detalle de la asignación de riesgos.
2. Riesgos que no se pueden transferir.
3. Grado de transferencia de riesgo a la parte privada.

En el caso mexicano, la SHCP recomienda seguir las siguientes diez reglas, expresadas en términos de preguntas orientadas a la asignación de riesgos:

1. ¿Qué parte tiene el mayor control para evitar o minimizar la ocurrencia y la magnitud del riesgo?
2. ¿Tiene alguna parte el conocimiento especializado relevante y la capacidad para gestionar y administrar el riesgo de tal forma de minimizar el sobrecosto, el sobreplazo y la severidad si éste ocurre?
3. ¿Quién puede absorber mejor el riesgo o lo puede compartir con terceras partes tales como seguros comerciales y/o subcontratistas? ¿Si el riesgo ocurre, puede realmente sostener sus consecuencias?
4. ¿Qué parte recibirá el mayor beneficio (financiero, credibilidad, reputación) al realizar un adecuado manejo del riesgo?
5. ¿Cuál es el marco legal y las limitaciones jurídicas para una transferencia de riesgo de los proyectos?
6. ¿Cuál es el apetito del sector privado por tomar el riesgo? ¿Cuál es el costo por hacerlo, y si es aceptable para el sector público?
7. ¿Cuáles son los costos de transacción para asignar el riesgo, son los activos específicos, son las transacciones frecuentes?
8. ¿Cuál es la costumbre y la mejor práctica que se ha observado en un contrato de características similares respecto a la localización del riesgo?
9. ¿Tiene efectos en la bancabilidad del contrato la asignación en estudio de un riesgo en particular?
10. ¿Qué parte tiene los mayores incentivos para administrar el riesgo en el tiempo?
    * + 1. Matriz de Asignación de Riesgos.

Finalmente, el producto del proceso de asignación de riesgos es una matriz, la cual los enumera, generalmente, por categorías y define quién asume cada riesgo. En dicho sentido, la matriz de asignación de riesgos elaborada para el “Sistema de Tratamiento de Residuos Sólidos Municipales con Generación Eléctrica Asociada para la Ciudad de Xalapa” se presenta en la página siguiente.

* + - 1. Incorporación de la Asignación de Riesgos en la Estructura Contractual.

En fases posteriores al presente estudio de factibilidad, específicamente durante las etapas de diseño contractual, así como administración de la transacción y ejecución del proyecto, la matriz presentada en la sección anterior deberá tomarse en cuenta como una referencia obligada. En cuanto al diseño contractual se trata, la incorporación de la matriz en cuestión se verá traducida en términos de:

1. Requisitos de desempeño: objetivos, monitoreo, consecuencias de incumplimiento y derechos de intervención.
2. Mecanismos de pago: por uso/desempeño (incluyendo bonificaciones y sanciones).
3. Mecanismos de ajuste: equilibrio financiero, cambios en requisitos del servicio, cambios en tarifas, evaluaciones comparativas, refinanciamiento.
4. Procedimientos de resolución de conflictos.
5. Cláusulas de rescisión.

Tabla i.27 Matriz de Asignación de Riesgos para Xalapa.

| **Categoría del Riesgo** | **Etapa** | **Riesgos Estándares** | **Descripción** | **Riesgo de Impacto** | **Probabilidad de Ocurrencia** | | **Clasificación** | **Asignación** | **Medidas de Mitigación** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Riesgo de implementación | Etapa licitación. | Riesgo de adquisición de terrenos. | Dificultad en la entrega del área de contrato en concordancia con un programa previamente definido. | Mo | Moderado | 60% - 41% | Medio | Público |  |
| Etapa licitación. | Riesgo de demora en la aprobación de la adjudicación del contrato. | El contrato no se suscribe en la fecha programada y retrasa el inicio del proyecto, generando perjuicios financieros. | Mi | Bajo | 40% - 11% | Bajo | Público |  |
| Riesgo de Construcción | Etapa de construcción. | Riesgo de diseño. | El diseño de ingeniería y/o arquitectura establecido para el proyecto puede ser insuficiente, lo que puede generar la realización de nuevas obras y/o complementarias respecto al diseño original. | S | Muy Alto | 100% - 91% | Alto | Privado | Priorizar como proceso de contratación para la construcción del sistema de tratamiento, la asignación directa a un solo oferente especializado en la tecnología a implementar que diseñe la infraestructura, a fin de reducir las adecuaciones y/o ajustes del proyecto y minimizar requerimientos de inversión adicional. |
| Etapa de construcción. | Riesgo de sobrecostos de la construcción. | Aumento de costos de distintos Ítems en la etapa de construcción debido a incrementos en las cubicaciones, precios de materiales y mano de obra y especificaciones de diseño. | Mo | Alto | 90% - 61% | Medio | Público-Privado |  |
| Etapa de construcción. | Riesgo de atrasos en el desarrollo de la construcción de las obras. | Aumentos de los costos debido a atrasos en la ejecución de las actividades programadas para la etapa de construcción. | Mo | Muy Alto | 100% - 90% | Alto | Privado - Público | Programar la ministración de recursos para su erogación en tiempo y forma hacia el oferente encargado de la construcción y evitar costos extraordinarios por tiempos muertos de personal y maquinaria, incremento de precios de materiales y suministros. |
| Riesgos de Operación y Mantenimiento. | Etapa de explotación | Riesgo operativo. | Aumento no previsto de los costos de operación y/o mantenimiento del proyecto. | S | Alto | 90% - 61% | Medio | Público |  |
| Etapa de explotación | Riesgo de nivel del servicio. | No se logra alcanzar un nivel de servicio para el proyecto acorde con las especificaciones contractuales. | C | Muy Bajo | 10% - 0% | Medio | Público-Privado |  |
| Etapa de explotación | Riesgo en discontinuidad del servicio. | Interrupción parcial o permanente de los servicios que lleva a una pérdida de ingresos y protestas de los usuarios. | Mo | Moderado | 60% - 41% | Alto | Privado - Público | Monitorear, supervisar y evaluar permanentemente el sistema de alimentación (rutas de recolección), así como del sistema de tratamiento, para reducir fallas en el suministro y operación del mismo. |
| Riesgos Ambientales | Etapa de construcción/ explotación. | Riesgo ambiental. | Infracción medioambiental a las normas establecidas, obstrucciones geológicas, climáticas, físicas y arqueológicas, entre otras que producen sobrecostos y/o sobreplazos. | Mo | Muy Bajo | 10% - 0% | Bajo | Público-Privado |  |
| Riesgos de fuerza mayor. | Todas las etapas del proyecto. | Riesgos de catástrofes naturales. | Hechos de la naturaleza que impiden el desarrollo del proyecto destruyen activos, no permiten su operación y desajustan el balance económico-financiero. | Mo | Muy Bajo | 10% - 0% | Bajo | Público-Privado |  |
| Etapa de construcción/explotación. | Riesgo de quiebra. | Impacto de variables macroeconómicas, crisis financieras internacionales o actos terroristas afectan el equilibrio económico- financiero esperado y aumentan la probabilidad de llevar el negocio a la quiebra. | C | Moderado | 60% - 41% | Alto | Público | En la etapa de explotación, el Ayuntamiento deberá programar recursos económicos para el pago parcial del tratamiento de residuos y generación de energía en caso de variaciones en los precios de los productos a comercializar, tomando en cuenta la asequibilidad fiscal de os mismos. |
| Riesgos legales y regulatorios. | Todas las etapas del proyecto. | Riesgos contractuales. | Divergencias entre el mandante y el privado respecto de interpretaciones del contrato. | Mi | Muy Bajo | 10% - 0% | Bajo | Público - Privado |  |
| Todas las etapas del proyecto. | Riesgos de determinación de la normatividad aplicable. | Aplicación de la normativa que incorpora ciertas exigencias y requisitos adicionales al proyecto. | D | Bajo | 40% - 11% | Bajo | Público |  |
| Riesgos políticos. | Todas las etapas del proyecto. | Riesgo de cambios en la legislación pertinente. | Cambio en la legislación y/o regulación de los estándares (técnicos, ambientales, entre otros) genera efectos en los costos, ingresos e inversiones afectando la viabilidad del proyecto. | Mo | Muy Bajo | 10% - 0% | Bajo | Público |  |
| Todas las etapas del proyecto. | Riesgo de terminación del proceso de contratación. | Por decisiones políticas se deja de desarrollar el proyecto y se genera una terminación anticipada. | C | Bajo | 40% - 11% | Alto | Público | Transparentar todos los procesos que conllevan el diseño, construcción y operación del sistema de tratamiento y sensibilizar a los tomadores de decisiones en los cambios de administración municipal para reducir el riesgo de la terminación anticipada. Adicionalmente, se deben considerar medidas tales como la creación de un Organismo Público Descentralizado encargado del funcionamiento del sistema de manejo de RSU que blinde el proyecto ante los cambios de administración municipal. |
| Riesgos sociales. | Todas las etapas del proyecto. | Riesgo de conflicto social ajeno al proyecto. | Protestas, paros, huelgas y/o aspectos culturales que interfieran con el normal desarrollo del proyecto produciendo plazos y costos mayores a los estimados inicialmente. | S | Muy Alto | 100% - 91% | Alto | Público-Privado | Informar a grupos de interés el desarrollo de las actividades en la etapa de construcción, operación y abandono, para reducir afectaciones al entorno y a la salud pública y así evitar un rechazo social al sistema de tratamiento. De especial interés será la inclusión de instancias académicas y universitarias para la socialización del proyecto. |
| Todas las etapas del proyecto. | Riesgo de interferencia de tercero. | Aumento de los plazos y daño a las obras debido a interferencias de terceros. | Mo | Moderado | 60% - 41% | Medio | Público-Privado |  |
| Riesgo de ingresos. | Etapa de explotación. | Riesgo de demanda. | La cantidad de demanda de usuarios del servicio es diferente a la prevista, lo que tiene efectos en la dimensión del proyecto y los ingresos percibidos. | Mi | Muy Alto | 100% - 91% | Alto | Público | Asegurar el suministro mínimo necesario para la correcta operación de la infraestructura incluso con participación de la iniciativa privada, a través del tratamiento de Residuos de Manejo Especial con características compatibles al sistema de tratamiento. |
| Riesgo de ingresos. | Etapa de explotación. | Riesgos tarifarios. | El nivel de la tarifa es resistido por los usuarios y los cambios en los ajustes tarifarios no se efectúan en los plazos establecidos y/o no son sustentables de acuerdo a la disposición a pagar por el servicio. | Mi | Moderado | 60% - 41% | Medio | Público-Privado |  |
| Riesgos tecnológicos. | Etapa de explotación. | Riesgos de obsolescencia tecnológica. | Los equipos y tecnología necesarios para la operación, cumplen su ciclo de vida y quedan obsoletos, o no se encuentran operativos para satisfacer los requerimientos del proyecto. | S | Muy Bajo | 10% - 0% | Medio | Público |  |
| Riesgos de mercado. | Etapa construcción/ operación. | Riesgo de incremento en el precio de los insumos. | El precio de insumos necesarios para la construcción de las obras o de la operación del proyecto aumenta debido a contingencias macroeconómicas. | C | Alto | 90% - 61% | Alto | Público-Privado | Minimizar el periodo entre la culminación del proyecto ejecutivo y el inicio de la construcción del sistema de tratamiento de residuos, a fin de garantizar la vigencia de los precios estimados; a su vez, el Ayuntamiento deberá prever una partida presupuestal contingente para afrontar variaciones significativas en el precio de los insumos. |
| Riesgo de nuevas inversiones. | Etapa de explotación. | Riesgo de nuevas inversiones. | El mandante puede juzgar necesario la realización de nuevas inversiones, ya sea en el proyecto que administra el privado o en infraestructura, alternativa que impacta los beneficios del proyecto. | Mo | Moderado | 60% - 41% | Medio | Público |  |
| Riesgos financieros. | Etapa de licitación. | Riesgo de bancabilidad. | No obtención del financiamiento apropiado (deuda) porque el proyecto no puede levantar los fondos suficientes en los mercados financieros. | D | Muy Bajo | 10% - 0% | Bajo | Público |  |
| Etapa operación | Riesgo tasa de interés. | Las tasas de interés fluctúan en forma desfavorable encareciendo los costos financieros. | D | Muy Bajo | 10% - 0% | Bajo | Público |  |
| Etapa operación | Riesgo tipo de cambio. | El tipo de cambio entre la moneda del financiamiento y de ingresos fluctúa en forma adversa generando un desajuste cambiario. | D | Muy Bajo | 10% - 0% | Bajo | Público |  |

Fuente: Elaboración Propia con Información de la SHCP, (2012).

## Modelo Financiero.

El presente análisis está orientado a determinar la factibilidad financiera del modelo de negocio diseñado para el sistema de tratamiento de RSU con generación de energía eléctrica de la Ciudad de Xalapa, considerando para ello, además de los ingresos y costos correspondientes, dos casos de análisis: el primero de ellos asumiendo que el proyecto cuenta exclusivamente como fuente de repago la venta de aquellos productos efectivamente comercializables para cubrir sus costos de inversión, así como de operación y mantenimiento (Caso Sin Donación del GEF); mientras que el segundo incorpora un subsidio, en forma de donación, orientado a financiar el 100% de los costos de inversión para la planta (Caso Con Donación del GEF).

#### 2.1Evaluación del Proyecto.

Los supuestos e indicadores utilizados para llevar a cabo la evaluación de la rentabilidad financiera de la planta de tratamiento se presentan a continuación:

* + - 1. Horizonte de Evaluación.

1. El horizonte de análisis es de 15 años a partir de 2017 (limitado por el plazo máximo en el que se puede otorgar un contrato de concesión en el Estado de Veracruz).
2. La unidad monetaria utilizada es dólares norteamericanos a junio de 2016, aplicándose un tipo de cambio de M$18.65 por US$.
   * + 1. Indicadores de Rentabilidad.

Para determinar la rentabilidad del proyecto de digestión, se compararon los costos e ingresos asociados al modelo de negocio para la venta de energía y productos asociados definido previamente, utilizando para ello como como indicadores de rentabilidad el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR).

El VPN se calcula con la fórmula que a continuación se presenta:

Donde:

i Tasa de descuento anual idéntica para cada período.

t Periodo de tiempo (año).

FEt Flujos de efectivo en t.

La decisión dependerá del valor del VPN, por lo que entre mayor sea éste, mayor será la rentabilidad al efectuar el proyecto. Por el contrario, si el VPN resulta negativo, se tendrá una pérdida en términos netos en caso de ser ejecutado.

Por otra parte, la TIR indica la rentabilidad de realizar el proyecto y a su vez es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero. Su fórmula es la siguiente:

La regla de decisión para este indicador, es aceptar los proyectos cuya TIR sea igual o mayor a la tasa de descuento considerada para evaluarlos.

Adicionalmente se tomó en cuenta el Período de Recuperación de la Inversión, el cual permite medir el tiempo requerido para que los flujos netos de efectivo asociados a un proyecto recuperen su costo o inversión inicial, siendo necesario que su valor sea igual o menor a la vida útil del proyecto en cuestión.

De forma complementaria, se incorporó al análisis la estimación del Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía, el cual representa para este caso en particular, el costo mínimo a financiar por tonelada de RSU ingresada a la planta de tratamiento para que el proyecto sea rentable. Este indicador se calculó a partir de la siguiente fórmula:

Donde:

VPC valor presente de los costos al último año de inversión.

i Tasa de descuento anual idéntica para cada período.

t Periodo de tiempo (año).

tont Toneladas de RSU tratadas en t.

La aplicación de esta misma fórmula sobre los flujos de efectivo anualizados permitió determinar la Tarifa de Largo Plazo por la prestación de servicio de tratamiento de RSU y Generación de Energía al valorar, durante el análisis de sensibilidad, el impacto de las distintas fuentes de ingreso sobre el desempeño del modelo de negocio objeto de evaluación.

#### Estimación de Ingresos.

Los ingresos considerados para el sistema de tratamiento consideran las siguientes categorías en función de los productos efectivamente comercializables determinados durante el desarrollo del modelo de negocio:

1. Venta de energía eléctrica, conceptualizada como ahorros derivados de la inyección de excedentes de energía una vez que la planta ha satisfecho sus necesidades de autoconsumo.
2. Venta de Certificados de Energía Limpia, vinculados a la producción total de electricidad por parte del proceso de digestión.
3. Venta de composta como un subproducto derivado tras el post-tratamiento del sustrato digerido (aunque el modelo de negocio había considerado a este concepto como un servicio adicional con un carácter de beneficio socioeconómico, se decidió incorporarlo con el objeto de dimensionar su relevancia para la factibilidad financiera del proyecto).

La cuantificación puntual de cada uno de los ingresos identificados se presenta en los siguientes subcapítulos:

* + - 1. Venta de Energía Eléctrica.

La estimación de los ingresos derivados de la venta de excedentes de energía eléctrica se realizó a partir de los siguientes supuestos:

1. A partir de los resultados presentados en el capítulo denominado “Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento” del Alcance Técnico de esta consultoría se determinó la siguiente energía remanente (considerando tanto las pérdidas por eficiencia del sistema de cogeneración, como la aplicación de un factor de planta del 90%[[14]](#footnote-14)):
   1. Recolección mezclada: 2,480.50 MWh/año.
   2. Recolección separada en la fuente: 3,034.20 MWh/año.
2. La cuota por Kilowatt Hora consumido de la Comisión Federal de Electricidad, aplicable en la zona central del país al mes de junio de 2016, con un valor de 0.055 USD/KWh.

La siguiente tabla muestra los ingresos por venta de energía correspondientes a los escenarios analizados:

Tabla i.28 Ingresos por Venta de Energía (USD).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Escenario RSU Mezclados** | **Escenario RSU Separados** |
| **Ingresos** | **Venta de Energía (USD/año)** | **Venta de Energía (USD/año)** |
| 2017 | $0 | $0 |
| 2018 | $0 | $0 |
| 2019 | $0 | $0 |
| 2020 | $0 | $0 |
| 2021 | $136,197 | $166,594 |
| 2022 | $136,197 | $166,594 |
| 2023 | $136,197 | $166,594 |
| 2024 | $136,197 | $166,594 |
| 2025 | $136,197 | $166,594 |
| 2026 | $136,197 | $166,594 |
| 2027 | $136,197 | $166,594 |
| 2028 | $136,197 | $166,594 |
| 2029 | $136,197 | $166,594 |
| 2030 | $136,197 | $166,594 |
| 2031 | $136,197 | $166,594 |

Fuente. Elaboración propia.

* + - 1. Venta de Certificados de Energías Limpias.

Por otra parte, el precio promedio de los CEL por MWh generado se referenció a los resultados obtenidos tras la Primera Subasta de Largo Plazo del Mercado Eléctrico Mayorista 2016, llevada a cabo por el CENACE como parte de las iniciativas enmarcadas en el proceso de reforma energética mexicano.[[15]](#footnote-15), fijado en 19.57 USD/MWh y dando por resultado la siguiente distribución de ingresos a lo largo del horizonte de evaluación:

Tabla i.29 Ingresos por Venta de Certificados de Energías Limpias (USD).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Escenario RSU Mezclados** | **Escenario RSU Separados** |
| **Ingresos** | **Venta de CEL (USD/año)** | **Venta de CEL (USD/año)** |
| 2017 | $0 | $0 |
| 2018 | $0 | $0 |
| 2019 | $0 | $0 |
| 2020 | $0 | $0 |
| 2021 | $77,547 | $79,530 |
| 2022 | $77,547 | $79,530 |
| 2023 | $77,547 | $79,530 |
| 2024 | $77,547 | $79,530 |
| 2025 | $77,547 | $79,530 |
| 2026 | $77,547 | $79,530 |
| 2027 | $77,547 | $79,530 |
| 2028 | $77,547 | $79,530 |
| 2029 | $77,547 | $79,530 |
| 2030 | $77,547 | $79,530 |
| 2031 | $77,547 | $79,530 |

Fuente. Elaboración propia.

* + - 1. Venta de Composta.

Los ingresos asociados a la venta de la producida como resultado del proceso del post-tratamiento aplicado sobre la biomasa digerida por la planta fueron calculados a partir de los siguientes supuestos:

1. La cantidad de composta generada en ton/día se obtuvo de los resultados presentados en el capítulo denominado “Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento” del presente estudio (9,526.5 ton/año para el escenario con recolección mezclada de residuos y 9,709 ton/año en el caso del escenario asociado a la recolección de desechos separados en la fuente).[[16]](#footnote-16)
2. El precio de mercado de referencia considerado para la venta de composta fue recopilado mediante la solicitud de una cotización a la empresa Bio-Sistemas Sustentables (<http://www.biosistemas.com.mx/>), la cual manufactura fertilizantes y mejoradores de suelos orgánicos a partir del tratamiento de RSU[[17]](#footnote-17), ofertando su producto a un precio de 187.66 USD/ton.

Los resultados obtenidos tras la cuantificación de los ingresos debidos a la producción de composta se muestran a continuación:

Tabla i.30 Ingresos por Venta de Composta (USD).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Escenario RSU Mezclados** | **Escenario RSU Separados** |
| **Ingresos** | **Venta de Composta (USD/año)** | **Venta de Composta (USD/año)** |
| 2017 | $0 | $0 |
| 2018 | $0 | $0 |
| 2019 | $0 | $0 |
| 2020 | $0 | $0 |
| 2021 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2022 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2023 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2024 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2025 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2026 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2027 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2028 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2029 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2030 | $1,787,815 | $1,822,064 |
| 2031 | $1,787,815 | $1,822,064 |

Fuente. Elaboración propia.

* + - 1. Resultado de la Estimación de Ingresos.

Las tablas que a continuación se muestran, concentran los resultados obtenidos tras la cuantificación de los tres tipos de ingresos por venta de productos determinados de acuerdo al modelo de negocio para el “Sistema de Tratamiento de Residuos Sólidos Municipales con Generación Eléctrica Asociada para la Ciudad de Xalapa”:

Tabla i.31 Ingresos para el Escenario RSU Mezclados (USD).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ingresos** | **Venta de Energía (USD/año)** | **Venta de**  **CEL (USD/año)** | **Venta Composta (USD/año)** | **Ingresos Totales (USD/año)** |
| 2017 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| 2018 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| 2019 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| 2020 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| 2021 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2022 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2023 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2024 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2025 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2026 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2027 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2028 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2029 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2030 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |
| 2031 | $136,197 | $77,547 | $1,787,815 | $2,001,559 |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla i.32 Ingresos para el Escenario RSU Separados (USD).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ingresos** | **Venta de Energía (USD/año)** | **Venta de**  **CEL (USD/año)** | **Venta Composta (USD/año)** | **Ingresos Totales (USD/año)** |
| 2017 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| 2018 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| 2019 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| 2020 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| 2021 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2022 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2023 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2024 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2025 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2026 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2027 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2028 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2029 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2030 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |
| 2031 | $166,594 | $79,530 | $1,822,064 | $2,068,188 |

Fuente. Elaboración propia.

#### Estimación de Egresos.

Los costos de inversión y de operación (fija y variable) para el “Sistema de Tratamiento de Residuos Sólidos Municipales con Generación Eléctrica Asociada para la Ciudad de Xalapa” fueron determinados en el capítulo denominado “Modelo de Costos” del Alcance Técnico de esta consultoría, siendo calculados para los escenarios con residuos sólidos recolectados tanto de forma mezclada como separada en origen[[18]](#footnote-18) con base en las siguientes consideraciones:

1. Las inversiones totales (consideradas para los primeros cuatro años del horizonte de planeación), alcanzan los USD 7,172,549 y USD 6,965,433.57, para los escenarios con recolección mezclada y separada en origen respectivamente, siendo integradas por los siguientes conceptos:

Tabla . Inversiones para Escenario RSU Mezclados (USD).

|  |  |
| --- | --- |
| **Concepto** | **USD** |
| Estudios Previos | $200,000 |
| Equipamiento de Pre-Tratamiento. | $852,330 |
| Equipo de Digestión y Generación de Energía. | $4,705,633 |
| Equipamiento de Post-Tratamiento. | $299,586 |
| Obra Civil e Instalaciones. | $915,000 |
| Supervisión de Obra | $200,000 |
| Total | $7,172,549 |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla . Inversiones para Escenario RSU Separados (USD).

|  |  |
| --- | --- |
| **Concepto** | **USD** |
| Estudios Previos | $200,000 |
| Equipamiento de Pre-Tratamiento. | $698,508 |
| Equipo de Digestión y Generación de Energía. | $4,838,296 |
| Equipamiento de Post-Tratamiento. | $299,586 |
| Obra Civil e Instalaciones. | $729,043 |
| Supervisión de Obra | $200,000 |
| Total | $6,965,433.57 |

Fuente. Elaboración propia.

1. Los costos de operación fija consideran egresos, tanto por mano de obra como por materiales, oficinas y mantenimiento anual.
2. Los costos de operación variable tienen en cuenta aquellos egresos asociados a la operación horaria de la maquinaria móvil utilizada para el manejo de los residuos a ser tratados (se asume que el consumo de electricidad es cubierto por la generación de energía de la propia planta).
   * + 1. Resultado de la Estimación de Egresos.

El flujo de los costos de inversión y operación en el horizonte de evaluación para el sistema de tratamiento es desplegado en las siguientes tablas:

Tabla i.35 Costos de Inversión y Operación para Escenario RSU Mezclados (USD).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **Egresos (USD)** | | | |
| **Inversiones** | **O&M Fija** | **O&M Variable** | **Costos Totales** |
| 2017 | $100,000 | $0 | $0 | $100,000 |
| 2018 | $100,000 | $0 | $0 | $100,000 |
| 2019 | $3,486,275 | $0 | $0 | $3,486,275 |
| 2020 | $3,486,275 | $0 | $0 | $3,486,275 |
| 2021 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2022 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2023 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2024 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2025 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2026 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2027 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2028 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2029 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2030 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |
| 2031 | $0 | $169,138 | $161,642 | $330,780 |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla i.36 Costos de Inversión y Operación para Escenario RSU Separados (USD).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Año** | **Egresos (USD)** | | | |
| **Inversiones** | **O&M Fija** | **O&M Variable** | **Costos Totales** |
| 2017 | $73,929 | $0 | $0 | $73,929 |
| 2018 | $73,929 | $0 | $0 | $73,929 |
| 2019 | $3,382,717 | $0 | $0 | $2,755,200 |
| 2020 | $3,382,717 | $0 | $0 | $2,755,200 |
| 2021 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2022 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2023 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2024 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2025 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2026 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2027 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2028 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2029 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2030 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |
| 2031 | $0 | $169,138 | $88,285 | $257,423 |

Fuente. Elaboración propia.

* + - 1. Depreciación de Activos Fijos.

La depreciación de activos fijos tomó en cuenta los por cientos máximos autorizados por la Ley del Impuesto sobre la Renta en función de los siguientes artículos:

1. Artículo 34. Los por cientos máximos autorizados, tratándose de activos fijos por tipo de bien son los siguientes:
   1. 5% Obra Civil.
   2. 100% para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente.[[19]](#footnote-19)
2. Artículo 35.Para la maquinaria y equipo distintos de los señalados en el artículo anterior, se aplicarán, de acuerdo a la actividad en que sean utilizados, los por cientos siguientes:
3. 5% en la generación, conducción, transformación y distribución de electricidad; en la molienda de granos; en la producción de azúcar y sus derivados; en la fabricación de aceites comestibles; en el transporte marítimo, fluvial y lacustre.
4. 10% en otras actividades no especificadas en este artículo.

Finalmente, se hace mención en el Art. 9 que “Las personas morales deberán calcular el impuesto sobre la renta, aplicando al resultado fiscal obtenido en el ejercicio la tasa del 30%.”

Tabla i.37 Tasas de Depreciación para Activos Fijos (USD).

|  |  |
| --- | --- |
| **Concepto** | **Tasa** |
| Equipamiento de Pre-Tratamiento. | 10% |
| Equipo de Digestión y Generación de Energía. | 100% |
| Equipamiento de Post-Tratamiento. | 10% |
| Obra Civil e Instalaciones. | 5% |

Fuente. Ley del Impuesto sobre la Renta.

#### Análisis Financiero y Sensibilidad del Caso Sin Donación del GEF.

Los indicadores de rentabilidad obtenidos al aplicar una tasa de descuento del 12% para los dos escenarios evaluados fueron:

1. Escenario con recolección mezclada de residuos sólidos:

VPN = -$19,862 USD

TIR= 12%

PRI = 9.52 años

Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía= -$12.03 USD/ton

1. Escenario con recolección separada de residuos sólidos:

VPN = $490,364 USD

TIR= 14%

PRI = 8.94 años

Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía= -$31.77 USD/ton

El análisis financiero anualizado, correspondiente a la comparación de ingresos y costos en el horizonte de evaluación para la obtención de los indicadores de rentabilidad anteriormente señalados, se muestra en las tablas siguientes:

Tabla i.38 Análisis Financiero para Determinación de Indicadores de Rentabilidad del Escenario RSU Mezclados Sin Donación del GEF (USD).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ingresos** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **2017** | **2018** | **2019** | **2020** | **2021** | **2022** | **2023** | **2024** | **2025** | **2026** | **2027** | **2028** | **2029** | **2030** | **2031** |
| Ingreso por Ahorro de Energía (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 |
| Ingreso por CEL (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 |
| Ingreso por Composta (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 |
| Total Ingresos (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 |
| **Costos** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Inversión T1 (USD) | $100,000 | $100,000 | $3,486,275 | $3,486,275 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| Operación Fija T2 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 |
| Inversión Variable T3 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 |
| Total Costos (USD) | $100,000 | $100,000 | $3,486,275 | $3,486,275 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 |
| **Depreciación** | $0 | $0 | $0 | $0 | $4,866,575 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $45,750 |
| **Utilidad Operacional** | -$100,000 | -$100,000 | -$3,486,275 | -$3,486,275 | -$3,195,796 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,625,029 |
| **Impuestos Ajustados a la Operación (30%)\*** | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $487,509 |
| **Utilidad Neta Operativa Después de Impuestos** | -$100,000 | -$100,000 | -$3,486,275 | -$3,486,275 | -$3,195,796 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,137,520 |
| **Depreciación** | $0 | $0 | $0 | $0 | $4,866,575 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $45,750 |
| **Flujo Neto de Efectivo** | -$100,000 | -$100,000 | -$3,486,275 | -$3,486,275 | $1,670,779 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,183,270 |
| **Flujo Neto de Efectivo Acumulado** | -$100,000 | -$200,000 | -$3,686,275 | -$7,172,549 | -$5,501,770 | -$4,283,943 | -$3,066,115 | -$1,848,287 | -$630,459 | $587,369 | $1,805,197 | $3,023,024 | $4,240,852 | $5,458,680 | $6,641,950 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **VPN (USD)** | -$19,862 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **TIR (%)** | 12% |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **PRI (años)** | 9.52 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía (USD/ton)** | -$12.03 |  | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla i.39 Análisis Financiero para Determinación de Indicadores de Rentabilidad del Escenario RSU Separados Sin Donación del GEF (USD).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ingresos** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **2017** | **2018** | **2019** | **2020** | **2021** | **2022** | **2023** | **2024** | **2025** | **2026** | **2027** | **2028** | **2029** | **2030** | **2031** |
| Ingreso por Ahorro de Energía (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $166,594 | $166,594 | $166,594 | $166,594 | $166,594 | $166,594 | $166,594 | $166,594 | $166,594 | $166,594 | $166,594 |
| Ingreso por CEL (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $79,530 | $79,530 | $79,530 | $79,530 | $79,530 | $79,530 | $79,530 | $79,530 | $79,530 | $79,530 | $79,530 |
| Ingreso por Composta (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 |
| Total Ingresos (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 |
| **Costos** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Inversión T1 (USD) | $100,000 | $100,000 | $3,382,717 | $3,382,717 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| Operación Fija T2 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 |
| Inversión Variable T3 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 |
| Total Costos (USD) | $100,000 | $100,000 | $3,382,717 | $3,382,717 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 |
| **Depreciación** | $0 | $0 | $0 | $0 | $4,974,558 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $36,452 |
| **Utilidad Operacional** | -$100,000 | -$100,000 | -$3,382,717 | -$3,382,717 | -$3,163,793 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,774,313 |
| **Impuestos Ajustados a la Operación (30%)\*** | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $532,294 |
| **Utilidad Neta Operativa Después de Impuestos** | -$100,000 | -$100,000 | -$3,382,717 | -$3,382,717 | -$3,163,793 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,242,019 |
| **Depreciación** | $0 | $0 | $0 | $0 | $4,974,558 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $36,452 |
| **Flujo Neto de Efectivo** | -$100,000 | -$100,000 | -$3,382,717 | -$3,382,717 | $1,810,765 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,278,471 |
| **Flujo Neto de Efectivo Acumulado** | -$100,000 | -$200,000 | -$3,582,717 | -$6,965,434 | -$5,154,668 | -$3,846,254 | -$2,537,840 | -$1,229,426 | $78,988 | $1,387,402 | $2,695,816 | $4,004,230 | $5,312,645 | $6,621,059 | $7,899,530 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **VPN (USD)** | $490,364 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **TIR (%)** | 14% |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **PRI (años)** | 8.94 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía (USD/ton)** | -$31.77 | Costo Anual Equivalente/Toneladas Tratadas en el Período | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fuente. Elaboración propia.

Adicionalmente se llevó a cabo un análisis de sensibilidad a partir de las siguientes consideraciones:

1. Los costos de inversión pueden presentar un rango de variación de ± 20% sobre los valores base.
2. Los costos de operación y mantenimiento variable pueden presentar un rango de variación de ± 20% sobre los valores base.
3. Los ingresos asociados a la venta de energía y CEL varían en ± 20% sobre los valores base.
4. Los ingresos asociados a la venta de composta varían en ± 20% sobre los valores base.

La tabla que a continuación se presenta muestra los principales resultados del análisis de sensibilidad respecto a la TIR y el Costo Nivelado de los escenarios evaluados:

Tabla i.40 Análisis de Sensibilidad sobre la TIR y Costo Nivelado Sin Donación del GEF (%).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Valor Base** | **Inversión (T1)** | | **Operación Fija y Variable (T2&T3)** | | **Ingresos Energía & CEL** | | **Ingresos por Composta** | |
|  |  | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** |
| **RSU Mezclados** | VPN (USD) | **-$19,862** | -$993,074 | $953,349 | -$205,872 | $166,148 | $100,334 | -$140,059 | $985,494 | -$1,025,218 |
| TIR (%) | **12%** | 8% | 17% | 11% | 13% | 12% | 11% | 16% | 7% |
| Costo Nivelado (USD/ton) | **-$12.03** | -$13.94 | -$15.34 | -$12.52 | -$11.54 | -$12.03 | -$12.03 | -$12.03 | -$12.03 |
|  |  | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** | **(-20%)** |
| **RSU Separados** | VPN (USD) | **$490,364** | -$454,943 | $1,435,670 | $345,605 | $635,122 | $628,768 | $351,959 | $1,514,979 | -$534,252 |
| TIR (%) | **14%** | 10% | 19% | 14% | 15% | 15% | 14% | 18% | 10% |
| Costo Nivelado (USD/ton) | **-$31.77** | -$37.04 | -$26.50 | -$32.86 | -$30.69 | -$31.77 | -$31.77 | -$31.77 | -$31.77 |

Fuente. Elaboración propia.

Debido a que el proyecto se encuentra en el límite de la rentabilidad para los escenarios evaluados, la aplicación de los supuestos sobre los parámetros de control modifica su estatus original algunos puntos porcentuales por encima y por debajo del valor base considerado. Especial impacto generan sobre la TIR las variaciones asociadas a los requerimientos de inversión en infraestructura y equipo, así como aquellos ingresos por venta de composta.

#### Análisis Financiero y Sensibilidad del Caso con Donación del GEF.

Los indicadores de rentabilidad obtenidos al aplicar una tasa de descuento del 12% y considerar un subsidio del 100% sobre las inversiones para los dos escenarios evaluados fueron:

1. Escenario con recolección mezclada de residuos sólidos:

VPN = $4,846,195 USD

TIR= -

PRI = 0 años

Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía= -$2.46USD/ton

1. Escenario con recolección separada de residuos sólidos:

VPN = $5,216,898 USD

TIR= -

PRI = 0 años

Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía= -$5.42USD/ton

El análisis financiero anualizado, correspondiente a la comparación de ingresos y costos en el horizonte de evaluación para la obtención de los indicadores de rentabilidad anteriormente señalados, se muestra en las tablas siguientes:

Tabla i.41 Análisis Financiero para Determinación de Indicadores de Rentabilidad del Escenario RSU Mezclados Con Donación del GEF (USD).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ingresos** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **2017** | **2018** | **2019** | **2020** | **2021** | **2022** | **2023** | **2024** | **2025** | **2026** | **2027** | **2028** | **2029** | **2030** | **2031** |
| Ingreso por Ahorro de Energía (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 | $136,197 |
| Ingreso por CEL (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 | $77,547 |
| Ingreso por Composta (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 | $1,787,815 |
| Total Ingresos (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 | $2,001,559 |
| **Costos** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Inversión T1 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| Operación Fija T2 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 |
| Inversión Variable T3 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 | $161,642 |
| Total Costos (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 | $330,780 |
| **Depreciación** | $0 | $0 | $0 | $0 | $4,866,575 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $45,750 |
| **Utilidad Operacional** | $0 | $0 | $0 | $0 | -$3,195,796 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,509,837 | $1,625,029 |
| **Impuestos Ajustados a la Operación (30%)\*** | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $452,951 | $487,509 |
| **Utilidad Neta Operativa Después de Impuestos** | $0 | $0 | $0 | $0 | -$3,195,796 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,056,886 | $1,137,520 |
| **Depreciación** | $0 | $0 | $0 | $0 | $4,866,575 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $160,942 | $45,750 |
| **Flujo Neto de Efectivo** | $0 | $0 | $0 | $0 | $1,670,779 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,217,828 | $1,183,270 |
| **Flujo Neto de Efectivo Acumulado** | $0 | $0 | $0 | $0 | $1,670,779 | $2,888,607 | $4,106,435 | $5,324,263 | $6,542,090 | $7,759,918 | $8,977,746 | $10,195,574 | $11,413,402 | $12,631,229 | $13,814,500 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **VPN (USD)** | $4,846,195 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **TIR (%)** | #¡NUM! |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **PRI (años)** | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía (USD/ton)** | -$2.46 |  | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fuente. Elaboración propia.

Tabla i.42 Análisis Financiero para Determinación de Indicadores de Rentabilidad del Escenario RSU Separados Con Donación del GEF (USD).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ingresos** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **2017** | **2018** | **2019** | **2020** | **2021** | **2022** | **2023** | **2024** | **2025** | **2026** | **2027** | **2028** | **2029** | **2030** | **2031** |
| Ingreso por Ahorro de Energía (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $166,593.77 | $166,593.77 | $166,593.77 | $166,593.77 | $166,593.77 | $166,593.77 | $166,593.77 | $166,593.77 | $166,593.77 | $166,593.77 | $166,593.77 |
| Ingreso por CEL (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $79,529.82 | $79,529.82 | $79,529.82 | $79,529.82 | $79,529.82 | $79,529.82 | $79,529.82 | $79,529.82 | $79,529.82 | $79,529.82 | $79,529.82 |
| Ingreso por Composta (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 | $1,822,064 |
| Total Ingresos (USD/año) | $0 | $0 | $0 | $0 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 | $2,068,188 |
| **Costos** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Inversión T1 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 |
| Operación Fija T2 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 | $169,138 |
| Inversión Variable T3 (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 | $88,285 |
| Total Costos (USD) | $0 | $0 | $0 | $0 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 | $257,423 |
| **Depreciación** | $0 | $0 | $0 | $0 | $4,974,558 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $36,452 |
| **Utilidad Operacional** | $0 | $0 | $0 | $0 | -$3,163,793 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,674,504 | $1,774,313 |
| **Impuestos Ajustados a la Operación (30%)\*** | $0 | $0 | $0 | $0 | $0 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $502,351 | $532,294 |
| **Utilidad Neta Operativa Después de Impuestos** | $0 | $0 | $0 | $0 | -$3,163,793 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,172,153 | $1,242,019 |
| **Depreciación** | $0 | $0 | $0 | $0 | $4,974,558 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $136,262 | $36,452 |
| **Flujo Neto de Efectivo** | $0 | $0 | $0 | $0 | $1,810,765 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,308,414 | $1,278,471 |
| **Flujo Neto de Efectivo Acumulado** | $0 | $0 | $0 | $0 | $1,810,765 | $3,119,179 | $4,427,593 | $5,736,008 | $7,044,422 | $8,352,836 | $9,661,250 | $10,969,664 | $12,278,078 | $13,586,492 | $14,864,963 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **VPN (USD)** | $5,216,898 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **TIR (%)** | #¡NUM! |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **PRI (años)** | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía (USD/ton)** | -$5.42 |  | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fuente. Elaboración propia.

También en este caso se llevó a cabo un análisis de sensibilidad a partir de las siguientes consideraciones:

1. Los costos de operación y mantenimiento variable pueden presentar un rango de variación de ± 20% sobre los valores base.
2. Los ingresos asociados a la venta de energía y CEL varían en ± 20% sobre los valores base.
3. Los ingresos asociados a la venta de composta varían en ± 20% sobre los valores base.

La tabla que a continuación se presenta muestra los principales resultados del análisis de sensibilidad respecto a la TIR y el Costo Nivelado de los escenarios evaluados:

Tabla i.43 Análisis de Sensibilidad sobre la TIR y Costo Nivelado Con Donación del GEF (%).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Valor Base** | **Operación Fija y Variable (T2&T3)** | | **Ingresos Energía & CEL** | | **Ingresos por Composta** | | |
|  |  | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** | **(-93.5%)** |
| **RSU Mezclados** | VPN (USD) | **$4,846,195** | $4,660,185 | $5,032,205 | $4,966,391 | $4,725,999 | $5,851,551 | $3,840,839 | $0 |
| TIR (%) | **-** | - | - | - | - | - | - | 12% |
| Costo Nivelado (USD/ton) | **-$2.46** | -$2.95 | -$1.96 | -$2.46 | -$2.46 | -$2.46 | -$2.46 | -$2.46 |
|  |  |  | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** | **(+20%)** | **(-20%)** | **(-99.4%)** |
| **RSU Separados** | VPN (USD) | **$5,216,898** | $5,072,139 | $5,361,656 | $5,355,302 | $5,078,493 | $6,241,513 | $4,192,282 | $0 |
| TIR (%) | **-** | - | - | - | - | - | - | 12% |
| Costo Nivelado (USD/ton) | **-$5.42** | -$6.50 | -$4.33 | -$5.42 | -$5.42 | -$5.42 | -$5.42 | -$5.42 |

Fuente. Elaboración propia.

Como puede ser observado, debido al impacto generado por el subsidio al 100% de los costos de inversión (donación GEF), la aplicación de los supuestos sobre los parámetros de control no modifica el estatus de rentabilidad del proyecto para los escenarios evaluados. Por otra parte, la importancia relativa de los ingresos producidos por la venta de composta queda en evidencia al estimar la disminución porcentual requerida para que el proyecto iguale a la tasa de descuento (12%) y se mantenga en límite de rentabilidad, siendo necesaria una reducción para el cumplimiento de dicha condición del 93.5% para el escenario con recolección mezclada de residuos y del 99.4% en el caso de recolección separada en origen.

Finalmente el análisis de sensibilidad se concentró en la valoración de la incidencia de las fuentes de ingresos consideradas sobre la Tarifa de Largo Plazo que debería pagar el Municipio en caso de no contar con dichas ventas. Los resultados mostrados en la siguiente tabla indican que para el escenario con residuos recolectados de forma mezclada, la tarifa unitaria por “Tratamiento de RSU y Generación de Energía” en caso de no contar con aquellos ingresos asociados a la venta de composta sería de $0.87 USD/ton, la cual se vería incrementada a $1.44 USD/ton al dejar de percibir ingresos por colocación de CEL, para finalmente alcanzar el valor del “Costo Nivelado por Tratamiento de RSU y Generación de Energía” de $2.46 USD/ton si tampoco se dan ingresos por venta de excedentes energéticos. En cuanto al escenario con residuos recolectados de forma separada, las tarifas anteriormente descritas alcanzarían valores de $0.24 USD/ton, $1.91 USD/ton y 5.42 USD/ton, respectivamente.

Tabla i.44 Análisis de Sensibilidad sobre la Tarifa de Largo Plazo Con Donación del GEF (%).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Valor Base** | **Sin Ingresos por Composta** | **Sin Ingresos por Composta & Ingresos por CEL** | **Sin Ingresos por Composta & Ingresos por CEL & Ingresos por Energía** |
|  |  | **(-100%)** | **(-100%)** | **(-100%)** |
| **RSU Mezclados** | VPN (USD) | **$4,846,195** | -$441,637 | -$734,262 | -$1,248,203 |
| TIR (%) | **-** | - | - | - |
| Costo Nivelado (USD/ton) | **-$2.46** | -$2.46 | -$2.46 | -$2.46 |
| Tarifa de Largo Plazo (USD/ton) | **NA** | -$0.87 | -$1.44 | -$2.46 |
|  |  |  | **(-100%)** | **(-100%)** | **(-100%)** |
| **RSU Separados** | VPN (USD) | **$5,216,898** | -$42,637 | -$342,744 | -$971,389 |
| TIR (%) | **-** | - | - | - |
| Costo Nivelado (USD/ton) | **-$5.42** | -$5.42 | -$5.42 | -$5.42 |
| Tarifa de Largo Plazo (USD/ton) | **NA** | -$0.24 | -$1.91 | -$5.42 |

Fuente. Elaboración propia.

1. GAMMA Ingeniería, (2011) y GIZ Cooperación Alemana en Chile, (2012).

   GIZ Cooperación Alemana en Chile, (2012). [↑](#footnote-ref-1)
2. GIZ Cooperación Alemana en Chile, (2012). [↑](#footnote-ref-2)
3. Renewable Waste Intelligence, (2013) señala al net metering como uno de los tres tipos de Power Purchase Agreements generalmente utilizados por plantas de digestión con generación de energía, especificando que “under net metering systems, the operator of the facility pays the electricity utility for the net amount of electricity consumed. This allows facilities to offset electricity consumption costs by sending electricity to the grid at any time and to use it as required. Net metering allows facility operators to cover on-site electricity demand as and when it occurs”. [↑](#footnote-ref-3)
4. La Ley de la Industria Eléctrica define como “Certificado de Energías Limpias: Título emitido por la CRE que acredita la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de Energías Limpias y que sirve para cumplir los requisitos asociados al consumo de los Centros de Carga”, de tal manera que los generadores recibirán un CEL por cada Megawatt-hora de energía limpia generado para vender en el mercado eléctrico. [↑](#footnote-ref-4)
5. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, (2014). Ley de la Industria Eléctrica.

   Comisión Reguladora de Energía. Preguntas Frecuentes sobre la nueva Regulación en Temas Eléctricos. [↑](#footnote-ref-5)
6. Los Generadores Exentos también pueden vender energía eléctrica y productos asociados a través de un Suministrador de Servicios Calificados, siempre y cuando las centrales eléctricas no compartan su medición con el centro de carga de un Usuario de Suministro Básico, razón por la cual el esquema de medición neta no es aplicable. [↑](#footnote-ref-6)
7. Energías Renovables: Aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, (2015). Ley de Transición Energética.) [↑](#footnote-ref-7)
8. Energías Limpias: Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, (2014). Ley de la Industria Eléctrica.) [↑](#footnote-ref-8)
9. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, (2008). Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. [↑](#footnote-ref-9)
10. Secretaría de Energía, (2010). Resolución por la que la Comisión Reguladora de Energía expide el Modelo de Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en Mediana Escala, y sustituye el Modelo de Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala por el Modelo de Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en Pequeña Escala. [↑](#footnote-ref-10)
11. Banco Interamericano de Desarrollo, (2015). Asociaciones Público Privadas: Implementando Soluciones en Latinoamérica y El Caribe, Módulo IV, Estructuración de Proyectos y Diseño se Contratos APP. [↑](#footnote-ref-11)
12. Banco Interamericano de Desarrollo, (2015). [↑](#footnote-ref-12)
13. Secretaría de Hacienda y Crédito Público, (2012). Manual que Establece las Disposiciones para Determinar la Rentabilidad Social, así como la Conveniencia de Llevar a Cabo un Proyecto Mediante el Esquema de Asociación Público-Privada. [↑](#footnote-ref-13)
14. GIZ Cooperación Alemana en Chile, (2012). Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile y Renewable Waste Intelligence, (2013). Business Analysis of Anaerobic Digestion in the USA: Commercial Feasibility [↑](#footnote-ref-14)
15. Precio promedio de referencia precisado en: CMS Cameron McKenna LLP y Woodhouse Lorente Ludlow, (2016). [↑](#footnote-ref-15)
16. Consultar específicamente los archivos: Diagrama Proceso RSU Mezclados y Diagrama Proceso RSU Separados. [↑](#footnote-ref-16)
17. Ver archivo: Cotizacion Bio-Sistemas Sustentables [↑](#footnote-ref-17)
18. Ver archivos de Excel: Modelo de Costos RSU Mezclados y Modelo de Costos RSU Separados. [↑](#footnote-ref-18)
19. **Para los efectos del párrafo anterior, son fuentes renovables aquéllas que por su naturaleza o mediante un aprovechamiento adecuado se consideran inagotables, tales como** la energía solar en todas sus formas; la energía eólica; la energía hidráulica tanto cinética como potencial, de cualquier cuerpo de agua natural o artificial; la energía de los océanos en sus distintas formas; la energía geotérmica**,** y **la energía proveniente de la biomasa o de los residuos**. Asimismo, se considera generación la conversión sucesiva de la energía de las fuentes renovables en otras formas de energía. [↑](#footnote-ref-19)