

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN



FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA OPERACIÓN DE
UN RELLENO SANITARIO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS ODS.

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN

PRESENTA

GLADYS GUILLERMINA PEREDO MUNGUÍA

DIRECTORA DE TESIS

DRA. LOURDES EVELYN APODACA DEL ÁNGEL

TIJUANA, B. C. 9 MAYO DE 2023

Tijuana, B.C. a 9 de mayo de 2023

Dr. Ismael Plascencia López
Director de la Facultad de Contaduría y Administración
De la Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, B.C.
Presente.

Con relación a la revisión del proyecto de tesis denominado **"FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS ODS."** que presenta "Gladys Guillermina Peredo Munguía" para efecto de obtener el Grado de Maestro en Administración, manifiesto a usted, que después de haber leído dicho documento detenidamente y hecho las observaciones que a mi juicio consideré pertinentes, no tengo inconveniente de emitir mi VOTO APROBATORIO.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi consideración y respeto.

Muy Atentamente



Dra. Lourdes Evelyn Apodaca del Angel
Sinodal Presidente

Formato de votos

Tijuana, B.C. a 9 de mayo de 2023

Dr. Ismael Plascencia López
Director de la Facultad de Contaduría y Administración
De la Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, B.C.
Presente.

Con relación a la revisión del proyecto de tesis denominado **“FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS ODS.”** que presenta “Gladys Guillermina Peredo Munguía” para efecto de obtener el Grado de Maestro en Administración, manifiesto a usted, que después de haber leído dicho documento detenidamente y hecho las observaciones que a mi juicio consideré pertinentes, no tengo inconveniente de emitir mi VOTO APROBATORIO.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi consideración y respeto.

Muy Atentamente



Dra. Silvia Hernández Solís
Sinodal Secretario

Formato de votos

Tijuana, B.C. a 9 de mayo de 2023

Dr. Ismael Plascencia López
Director de la Facultad de Contaduría y Administración
De la Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, B.C.
Presente.

Con relación a la revisión del proyecto de tesis denominado **“FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS ODS.”** que presenta “Gladys Guillermina Peredo Munguía” para efecto de obtener el Grado de Maestro en Administración, manifiesto a usted, que después de haber leído dicho documento detenidamente y hecho las observaciones que a mi juicio consideré pertinentes, no tengo inconveniente de emitir mi VOTO APROBATORIO.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi consideración y respeto.

Muy atentamente



Dra. Teresa de Jesús Plazola Rivera
Sinodal Vocal

Tijuana, B.C. a 9 de mayo de 2023

Dr. Ismael Plascencia López
Director de la Facultad de Contaduría y Administración
De la Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, B.C.
Presente.

Con relación a la revisión del proyecto de tesis denominado **“FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LOS ODS.”** que presenta “Gladys Guillermina Peredo Munguía” para efecto de obtener el Grado de Maestro en Administración, manifiesto a usted, que después de haber leído dicho documento detenidamente y hecho las observaciones que a mi juicio consideré pertinentes, no tengo inconveniente de emitir mi VOTO APROBATORIO.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi consideración y respeto.

Muy Atentamente



Dra. Reyna Virginia Barragán Quintero
Sinodal Vocal

Agradecimientos:

A Dios, por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida profesional.

Agradezco a las instancias de la Universidad Autónoma de Baja California por la oportunidad de darme un espacio para continuar con mi etapa de formación profesional durante mi estudio de la maestría.

También a mis revisores y sínodo por el tiempo dedicado para leer mi trabajo por sus valiosas observaciones, que lo enriquecieron, por sus recomendaciones que me permitieron avanzar y poder concluir una etapa de aprendizaje muy significativa y una meta más en mi vida.

Dedicatoria:

Dedico este trabajo a mis hijas: Andrea, Samantha y Alicia que son mis motores para seguir adelante.

A mi esposo Liam Whelan por su apoyo incondicional.

Índice General

Agradecimientos:	8
Dedicatoria:	8
Índice General	9
Índice De Figuras	11
Índice De Tablas	11
Índice de Siglas	12
Introducción	13
Capítulo I. Antecedentes	14
1.1 Planteamiento del problema	14
1.2 Justificación de la investigación	15
1.3 Objetivo general:	16
1.4 Objetivos específicos:	16
1.5 Preguntas de investigación general:	17
1.6 Preguntas de investigación específicas:	17
1.7 Hipótesis General	17
1.8 Alcance de la investigación	17
Capítulo II. Marco Teórico	18
2.1 Objetivo 7: Energía Asequible	19
2.2 Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles	20
2.3 Objetivo 13. Cambio climático y sus efectos	21
2.4 México y los ODS de la ONU en proyectos de generación de energía eléctrica en rellenos sanitarios.	24
2.4.1 Relleno Sanitario	25
2.4.2 Biogás	27
2.5 Certificados de Energía Limpia (CEL)	29
2.5.1 Electricidad:	30
2.5.2 Tipos de Centrales de Generación eléctrica:	30
2.6 Factibilidad Técnica y Ambiental	33
2.6.3 Moto turbinas:	36

2.7 Factibilidad Económica	40
2.8 Propuesta de utilización del software Retaceen expert® en el relleno sanitario de Tijuana	46
2.9 Modelo de Montecarlo en software RETScreen expert® para análisis de factibilidad de riesgo de proyectos de energías renovables.....	52
2.10 Antecedentes del Proyecto:	58
Capítulo III. Metodología:	63
3.1 Selección de la Metodología.	63
3.2 Metodología para adquirir y realizar los cálculos para la operación del relleno sanitario, utilizando Software RETScreen expert®.....	65
3.3 Datos de entrada:.....	67
Capítulo IV. Análisis y Resultados:.....	70
4.1 Factibilidad Técnica	70
4.2 Factibilidad Ambiental.....	76
4.3 Factibilidad Económica	79
4.4 Análisis de sensibilidad.....	82
4.5 Impactos del proyecto relleno sanitario para alcanzar los objetivos de la ODS.	88
4.5.2 Objetivo 11, Comunidades y Ciudades Sustentables:	89
4.5.3 Objetivo 13, Cambio Climático.	90
Capítulo V. Conclusiones	92
Anexo I:	94
VI. Referencia Bibliográfica	95

Índice De Figuras

Figura 1 Acuerdos internacionales y participación de México en la Agenda 2030 ODS y relación con los acontecimientos del relleno sanitario Valle de las Palmas.	24
Figura 2 Línea del tiempo de la evolución del relleno sanitario.	28
Figura 3 Proceso de generación de biogás y electricidad	36
Figura 4 Moto turbina generadora de electricidad, alimentada por RSU	45
Figura 5 Diagrama de registro para proyectos MDL	65
Figura 6 Diagrama de ishikawa de los criterios económicos, técnico y ambientales del anteproyecto del relleno sanitario para generación de biogás y electricidad.	72
Figura 7 Ubicación geográfica y datos climatológicos	74
Figura 8 Modelo de energía eléctrica por biogás generado por RSU /modelo de energía	75
Figura 9 Análisis de emisiones	76
Figura 10 Viabilidad financiera.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.8
Figura 11 Analisis de sensibilidad	799
Figura 12 Relación impacto-repago-capital.....	81
Figura 13 Diagrama de ishikawa con los resultados de los criterios seleccionados usando el software Retscreen expert®.....	85

Índice De Tablas

Tabla 1 Propuesta de la compañía: Promotora Ambiental S.A. de C.V. en cuanto a producción de energía eléctrica y reducción de emisiones de CO2 por año..	60
tabla 2 Datos de geolocalización del proyecto relleno sanitario de Valle de las Palmas	67
Tabla 3 Datos técnicos y económicos para generar el informe del proyecto de relleno sanitario para generar biogás y electricidad por software Retscreen expert®.	68
Tabla 4 Datos técnicos de la moto turbina escogida para la simulación.....	74
Tabla 5 Resultados del análisis de emisiones	76
Tabla 6 Resultados de factibilidad financiera	79
Tabla 7 Costos de mano de obra	83

Índice de Siglas

TIR: Tasa Interna de Retorno

ONU: Organización de las Naciones Unidas

ODS: Objetivos de Desarrollo Sustentable

KW/H: Kilowatts/Hora

RSU: Residuos Sólidos Urbanos

VAN: Valor Acumulado Neto

CO₂: Dióxido de Carbono

CAD: dólar canadiense

GEI: Gases de efecto invernadero

mm: milímetros

CEL: Certificado de Energía Limpia

MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio

PH: Medida de acidez o alcalinidad

K: Constante de degradación de diferentes materiales

Lo: Estimación de generación de metano

m³: Unidad de volumen en metros cúbicos

AMA: Auditoria medio ambiental

VPN O NPV: Valor Presente Neto.

tCO₂: Toneladas de dióxido de Carbono

CER: Certificado de Emisiones Reducidas

Introducción

Los conceptos de ciudades y comunidades sostenibles, así como la energía limpia dentro de los Objetivos de Desarrollo Sustentable obliga a los gobiernos a realizar proyectos que aporten un impacto para mejorar el medio ambiente y económico en la región. El presente trabajo pretende resaltar la urgente necesidad de tomar acciones para incidir en los compromisos adquiridos por México en cuanto al cumplimiento de los ODS, propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y sobre el beneficio de apostar a proyectos de energía limpia en el mundo.

Al mencionar estos objetivos cabe hacer mención que se han establecido compromisos a cumplir de acuerdo con la agenda 2030. En esta agenda, México como otros países de América latina y el Caribe, están comprometidos junto con 193 estados miembros sobre el uso y aprovechamiento de energías renovables. Esta agenda cuenta con 17 objetivos y metas que abordan temas urbanos. De estos 17, son tres los que se relacionan con este trabajo: Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante; Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles y Objetivo 13: Acción por el clima (Martínez C. 2015).

Históricamente México como otras naciones, tiene el compromiso de trabajar en apoyar a reducir las emisiones de gases de invernadero a la atmósfera mediante proyectos de energía en el que no interfieran combustibles fósiles. Una zona considerada próspera dentro de nuestro país es la península de Baja California que se encuentra en la frontera con Estados Unidos de América.

Capítulo I. Antecedentes

1.1 Planteamiento del problema

México ha destacado como un país que a nivel internacional ha colaborado en diversas formas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante propuestas en las reuniones de ODS y acuerdos internacionales de la mano con otros países. México se ha comprometido con el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sustentable, por lo que ha firmado diversos tratados internacionales y acuerdos tanto en México como en el extranjero, además ha participado en diferentes eventos que apoyan proyectos que disminuyan la generación de emisiones contaminantes, como es el caso de del proyecto del relleno sanitario en Valle de las Palmas en el municipio de Tijuana.

En el anteproyecto que se realizó en el 2017 mencionado anteriormente, se estipula con una vida útil de 20 años y que sus estimaciones de producción de energía eléctrica y generación de biogás estimado para iniciar a operaren el año 2019 (Luevano, 2017). Un punto para considerar en cualquier anteproyecto es la realización de un análisis económico preliminar para conocer la viabilidad del proyecto (Basil,2021). En este planteamiento, sabiendo que tenemos que utilizar una metodología cuantitativa y predictiva, para determinar un pronóstico lo más cercano a la realidad que ayude a la estimación del proyecto y el riesgo financiero que tendrá al llevarse a cabo (Romero, 2011).

Deberá incluir el tiempo de retorno estimado, así como sus posibilidades económicas entre otros interrogantes como son los tipos de moto generadores a utilizar, ya que de estos dependen la generación de los Kilo Watts (KW) anuales necesarios para la producción eléctrica. Esta cantidad de energía es comparable a alimentar un centro, edificio, universidad o zona habitacional donde se

necesite (Luevano, 2017). En el caso de Monterrey, Nuevo León, la cantidad de energía producida abastece el 90% del alumbrado público de la ciudad con residuos sólidos urbanos (RSU) (Gutierrez, 2018).

El problema que enfrenta el proyecto del relleno sanitario es que no se ha realizado ningún análisis actualizado al año 2023, ya que el último se realizó en 2017 y han variado indicadores como la tasa de inflación, modelos de moto generadores a utilizarse, nuevas mediciones de cantidades de RSU y cálculo de biogás actualizado a 6 años de distancia, así como la tarifa de Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el presente año.

El planeta requiere de acciones inmediatas, por lo que se pide a las autoridades que tomen medidas emergentes en beneficio de todo el planeta y se inicien acciones concretas, para el cumplimiento de los ODS, ante las Naciones Unidas (Propiedad Intelectual© Naciones Unidas, 2023).

1.2 Justificación de la investigación

En el caso de Tijuana, Baja California se ha establecido un auge de empresas manufactureras en la región, logrando un crecimiento exponencial de la población de esta ciudad, generando mayores necesidades al tener un crecimiento acelerado. Por lo tanto, a principios del año 2000 se hizo una propuesta para aprovechar el relleno sanitario de Valle de las Palmas para generar biogás de los RSU y electricidad.

Este anteproyecto tenía una propuesta por parte de una compañía que invertiría y empezaría a trabajar esta planta generadora a partir del año 2019 mediante unas proyecciones a 20 años, mismo que no ha entrado en operación. Ante esta situación el relleno sanitario ha sido un pasivo para el ayuntamiento, ya que se necesita un área donde se desechen los residuos y se generan gastos por el uso de este suelo, dañando la salud de los habitantes y al ambiente (Sáenz y Urdaneta ,2013).

Es así como podamos cumplir con la elaboración de proyectos de energías renovables para poder

llegar a ser una ciudad sustentable dentro del marco de los ODS en la región (Barragán y Zalamea, 2020).

Esta propuesta, retoma el proyecto para la operación del relleno sanitario, con la finalidad de demostrar la viabilidad de este, y como estudiosos de la administración, hacer un llamado a las autoridades, para que no dejen proyectos pendientes, ya que el compromiso ante la humanidad requiere de acciones reales para impactar en la sustentabilidad del planeta, y con hechos cumplir con los compromisos hechos ante la ONU y los ODS.

1.3 Objetivo general:

Analizar la factibilidad técnica, económica y ambiental de la operación del relleno sanitario para el cumplimiento de las ODS a través de la instalación una planta generadora de biogás y electricidad.

1.4 Objetivos específicos:

- a) Determinar los criterios técnicos que permitan pronosticar la producción de una planta generadora de biogás y electricidad por medio de RSU (Residuos Sólidos Urbanos) en la operación del relleno sanitario.
- b) Determinar los criterios económicos al instalar una planta generadora de biogás y electricidad por medio de RSU (Residuos Sólidos Urbanos) en la operación del relleno sanitario.
- c) Evaluar el impacto ambiental al instalar una planta generadora de biogás y electricidad por medio de RSU (Residuos Sólidos Urbanos) en la operación del relleno sanitario.

1.5 Preguntas de investigación general:

- ¿Cuál es la factibilidad técnica, económica y ambiental de la operación del relleno sanitario para el cumplimiento de los ODS a través de la instalación de una planta generadora de biogás y electricidad?

1.6 Preguntas de investigación específicas:

- ¿Cuáles son los criterios técnicos que permiten pronosticar la producción de una planta generadora de biogás y electricidad por medio de RSU en la operación del relleno sanitario?
- ¿Cuáles son los criterios económicos que se necesitan para instalar una planta generadora de biogás y electricidad por medio de RSU en la operación del relleno sanitario?
- ¿Cuál es el impacto ambiental al instalarse una planta generadora de biogás y electricidad por medio de RSU?

1.7 Hipótesis General

El proyecto de la operación de un relleno sanitario para producir electricidad y lograr el cumplimiento de los ODS tiene factibilidad técnica, económica y ambiental.

1.8 Alcance de la investigación

El alcance de este proyecto es el de obtener un pronóstico de factibilidad económica, técnica y ambiental de la generación de biogás y electricidad en el relleno sanitario de Tijuana, Baja California con el fin de aprovechar los RSU generados y cumplir con los objetivos de desarrollo sustentable. Esta investigación se desarrolló en el periodo de enero del 2021 a junio 2023 por lo que su alcance se limita a un pronóstico de inicio de proyecto para el año 2023.

Capítulo II. Marco Teórico

Con los datos del último informe emitido por la Organización de Naciones Unidas (ONU), en su portal oficial de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), en el año 2015, habla de los efectos de la contaminación ambiental y daños provocados por la actividad humana y ha tenido como consecuencia un aumento de temperatura mundial acercándose a 2°C (Martínez, 2015).

De acuerdo con datos de la ONU (2023), la temperatura media de la tierra es ahora de 1.1 grados centígrados más elevada que a finales del siglo XIX y más elevada que en los últimos 100,000 años. Por lo tanto, limitar el aumento de no más de 1.5 grados centígrados, es prioridad, pero, sin embargo, con las políticas actuales a finales del siglo; se llegará a 2.8 grados centígrados si no se toma una acción pronta (ONU 2023).

Por el bien de todos, es preciso que los países y sectores de la sociedad adopten diversas medidas que ayuden a la reducción del cambio climático en forma urgente e inmediata. Estos objetivos pueden ser factibles tomando acciones para reducción de emisiones invirtiendo en proyectos viables económicamente y con apoyos de diversos países que busquen lograr ser ciudades sustentables y amigables con el ambiente (ONU, 2015).

Lograr el ODS 7 (Energías limpias y asequibles) es imposible sin cantidades significativas de inversión en acceso y eficiencia energética. El acceso universal a la energía requerirá aproximadamente USD 45.000 millones anuales hasta 2030. Se necesita mucha más inversión cada año para ayudar a los países en desarrollo a construir sistemas de energía confiables capaces de impulsar las actividades económicas (Martínez, 2015).

Para ayudar a los países a cerrar sus brechas de acceso a la energía, necesitamos una imagen clara de la financiación necesaria. Eso significa comprender cuánta financiación se está recibiendo, en qué forma, con qué rapidez se pagan los fondos comprometidos y qué soluciones energéticas se están financiando. Esta información es la base para que la comunidad internacional actúe (Seforall.org, 2023).

Es importante mencionar que para evaluar financieramente un proyecto se necesita obtener un análisis económico y de sensibilidad, en el cual se tomarán los valores como el TIR (Tasa Interna de Retorno) haciendo notar que solo mide uno de los escenarios posibles de pronósticos a futuro; por lo tanto, los resultados solo se deberán tomar con cierta reserva y como aproximaciones para la toma de decisiones (Orozco, 2013).

En este sentido, con el aprovechamiento de los residuos vertidos en el área de relleno sanitario en Valle de las Palmas, para la generación de biogás, se podrá reducir el uso de combustibles fósiles en esta región y se podrá obtener una mejora ambiental reduciendo el CO₂ que se dirige a la atmósfera y que crea el efecto invernadero.

2.1 Objetivo 7: Energía Asequible.

Este objetivo trata sobre energía asequible y no contaminante; es un objetivo en el cual se busca dar acceso a una energía segura y continua, sin necesidad de usar derivados del petróleo para su producción. Es importante impulsar una transición energética que no solo sea sostenible, sino que sea accesible para todos permitiendo impulsar a la economía sostenible y competitiva que creará nuevos empleos y atraerá inversiones en la región (Lopez, 2019).

El uso de este tipo de energía (biogás) también permite aumentar el uso de energías renovables en detrimento de los combustibles fósiles como el petróleo, que hasta hoy sostienen a la economía

global (Bonilla, 2007). En el objetivo de uso de energías limpias y renovables, se tomaron acuerdos para aquellas compañías que emiten bonos verdes para la financiación de proyectos sostenibles en áreas como las energías renovables o la eficiencia energética.

Uno de los instrumentos creados para apoyar a proyectos sostenibles y financiarlos es por medio de bonos verdes (Grupo BMV, 2023). El bono verde es un instrumento mediante el cual se obtienen recursos cuyo uso es exclusivamente para financiar o refinanciar total o parcialmente proyectos que sean parte de los sectores como energías renovables (que es el que engloba nuestro análisis) entre otros (Grupo BMV, 2023).

En el caso de México la Bolsa Mexicana de Valores, a partir del 2014 produjo su primera emisión de bonos verdes junto con el ICMA (International Capital Markets Asociación), apoyada por el Banco Mundial.

2.2 Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles.

Tomando en cuenta los objetivos sostenibles de la ONU (Organización de Naciones Unidas) el objetivo 11 pretende lo siguiente: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Este objetivo engloba diez metas, y una está enfocada en que se logre en el 2030 y no en el año 2038, como busca la agenda de los ODS y que consiste en incrementar el número de ciudades que implementen políticas públicas para tener un uso más eficiente de los recursos, mitigar el cambio climático, ser más resilientes y promover la inclusión, entre otros puntos (Asociación pactomundial.org, 2023).

Este objetivo pretende conseguir ciudades y comunidades sostenibles, donde remarca el acceso a toda la población de viviendas, servicios básicos y medios de transporte adecuados, asequibles y seguros; y por supuesto también fomentando la reducción del impacto ambiental, y el uso adecuado

de los residuos generados, que cada vez va más en aumento. Las ciudades son las principales consumidoras de la energía mundial con el 78% y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero, abarcando menos del 2% de la superficie del planeta (Asociación pacto mundial. org, 2023).

2.3 Objetivo 13. Cambio climático y sus efectos

Este objetivo habla sobre el tomar acción del cambio climático, en el que se observa las acciones del cuidado del ambiente y su compromiso que tienen todos los gobiernos con esto. Al tener este objetivo, los países industrializados aprobaron trabajar mediante el protocolo de Kioto el 11 de diciembre de 1997. Actualmente hay 192 países que lo integran y todos están comprometidos en apoyar proyectos en los que apoyen a la reducción de efecto invernadero y trabajar con energías limpias (Asociación pacto mundial org, 2023).

A medida que los países se encuentran enfocándose en reconstruir sus economías tras la pandemia del COVID-19, los planes de recuperación pueden dar forma a la economía del siglo XXI para que sea limpia, verde, sana, segura y más resiliente. La crisis económica actual es una oportunidad para llevar a cabo modificaciones hacia una economía sostenible que funcione tanto para las personas como para el planeta (Asociación pacto mundial org, 2023).

El Secretario General de las Naciones Unidas Antonio Gutiérrez (Asociación pacto mundial org, 2023), ha propuesto seis medidas para beneficiar el cambio climático en los cuales los países de todo el mundo podrán adoptar una vez que se dediquen a reconstruir sus economías y sociedades que son:

1. Transición verde: Las inversiones deben acelerar la descarbonización de todos los aspectos de nuestra economía.
2. Empleos verdes y crecimiento sostenible e inclusivo.
3. Economía verde: Hacer que las sociedades y los pueblos sean más resilientes mediante una transición justa para todos y que no deje a nadie atrás.
4. Invertir en soluciones sostenibles: Los subsidios a los combustibles fósiles deben desaparecer y los contaminadores deben pagar por su contaminación.
5. Afrontar todos los riesgos climáticos.
6. Cooperación: Ningún país puede triunfar por sí solo.

Los gobiernos de todo el mundo han dedicado tiempo y esfuerzos considerables en los últimos años para desarrollar planes destinados a trazar un futuro más seguro y sostenible para sus ciudadanos. Tener en cuenta dichos planes ahora, como parte del plan de recuperación, puede servir de ayuda para que el mundo se reconstruya mejor de la crisis actual.

Varios autores que han trabajado con la Agenda 2030 de los ODS que manejan el concepto de desarrollo sostenible, el cual lo definen como “aquel que busca satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro”, tomándose en cuenta tres factores claves: Sociedad, economía y medio ambiente (Martínez, 2015).

En ocasiones se confunde el desarrollo sostenible con el concepto de desarrollo sustentable y este concepto está definido como “aquel que es enfocado solo en los recursos naturales y el medio ambiente, tratando de preservarlos, conservarlos y protegerlos, pensando en el futuro inmediato

del entorno natural, con la finalidad de no afectar las generaciones venideras, pero continuar beneficiando a la generación actual” (Universidad Autónoma de Nuevo León, 2023).

Por esta situación es importante el cumplimiento de los ODS, que son objetivos fijados por la Organización de las Naciones Unidas que tiene 17 objetivos estructurados en 169 metas, teniendo diversos ejes como son: Personas, planeta, prosperidad, participación y la paz; teniendo como propósito final poner fin a la pobreza, luchar contra la desigualdad, injusticia y proteger el medio ambiente y sus recursos naturales (Fundación Fórum Ambiental, 2016).

Esta Agenda 2030 es universal y tiene un plan ambicioso para dirigir el planeta hacia un futuro sostenible, en el que están involucrados todos los sectores para su cabal cumplimiento: Sociedad civil, gobiernos, sector privado y sector educativo para generar y formular políticas públicas y estrategias que permitan actuar con urgencia en la implementación de la agenda 2030 (Martínez, 2015).

En el caso de las universidades y escuelas de educación superior, estas tienen un papel fundamental siendo promotoras del desarrollo sustentable, ya que son entes responsables de implementar y desarrollar procesos para enfrentar los retos actuales que afectan a la sociedad (Universidad Autónoma de Nuevo León, 2023).

En los proyectos de desarrollo sustentable, las inversiones en países desarrollados con una economía estable son más fáciles de pronosticar y más certeros, sin embargo, si hablamos de países en desarrollo y latinoamericanos como México la situación cambia radicalmente, debido a que su futuro económico es impredecible, ya que se pueden enfrentar a una inflación galopante, políticas y planes de choque económicos internos, además de corrupción.

2.4 México y los ODS de la ONU en proyectos de generación de energía eléctrica en rellenos sanitarios.

México ha sido socio y cooperado con los tratados internacionales relacionados con el cuidado del ambiente y ha firmado acuerdos con los ODS que se han realizado a nivel mundial. Esto ha contribuido a que se apoyen proyectos relacionados con producción de energías limpias para disminuir la dependencia de derivados del petróleo en la producción eléctrica (Cortinas, 2021).

En la Figura 1, se muestra la participación de México en acuerdos internacionales, y la propuesta para la implementación de un relleno sanitario para la generación de electricidad, a partir de la generación de biogás.

Figura 1

Acuerdos internacionales y participación de México en la Agenda 2030 ODS y relación con los acontecimientos del relleno sanitario Valle de las Palmas.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Nota: Elaboración propia, datos extraídos de (Martínez, 2015).

De acuerdo con la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) de la cual México también es miembro, calcula que el gasto destinado al manejo y tratamiento de RSU asciende en sus países miembros a un tercio de los recursos financieros que destina el sector público para el abatimiento y control de la contaminación, que es una cantidad que se estima alta pudiendo aprovecharse en otros rubros. En México debido al compromiso adquirido ante la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático se creó el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y de Efectos de Invernadero (Data México, 2022).

Este documento de acuerdo con el artículo 12, se debe de elaborar y actualizar periódicamente para conocer las emisiones antropogénicas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de

todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, Canadá, donde se deberá de utilizar métodos comparables que habrán de ser acordados por la conferencia de partes según el artículo 4, marcado en el texto de esta convención (Martínez, 2015).

2.4.1 Relleno Sanitario:

La definición de relleno sanitario se define como “el espacio donde se depositan los residuos sólidos de una ciudad, después de haber recibido determinados tratamientos” (Pérez y Gardey, 2014). Otra definición encontrada sobre relleno sanitario tiene que ver con el método o procesamiento de los residuos sólidos urbanos depositados en un sitio para disposición final (Ministerio de Salud, Costa Rica, 1997).

Los rellenos sanitarios también se llaman vertederos o basureros. Al realizarse la descomposición de la basura de diferentes materiales genera gases y líquidos contaminados que son filtrados por el suelo y pueden comprometer el acuífero (Ulloa, 2006). Los rellenos sanitarios, son una opción para depósito de RSU luego de recibir ciertos tratamientos que pueden ser de 3 tipos: Mecánicos-biológicos, tradicional y operación manual (Martínez, 2018).

Esto permite mediante el manejo eficaz de estos residuos y aprovecharlos para generar energía y contribuir con el desarrollo sostenible, y cumplir con los requisitos de las legislaciones legales para ser acreditados como ciudad sostenible y con desarrollo sustentable (Martínez, 2015). Según Barragán y Zalamea (2020) comentan lo siguiente:

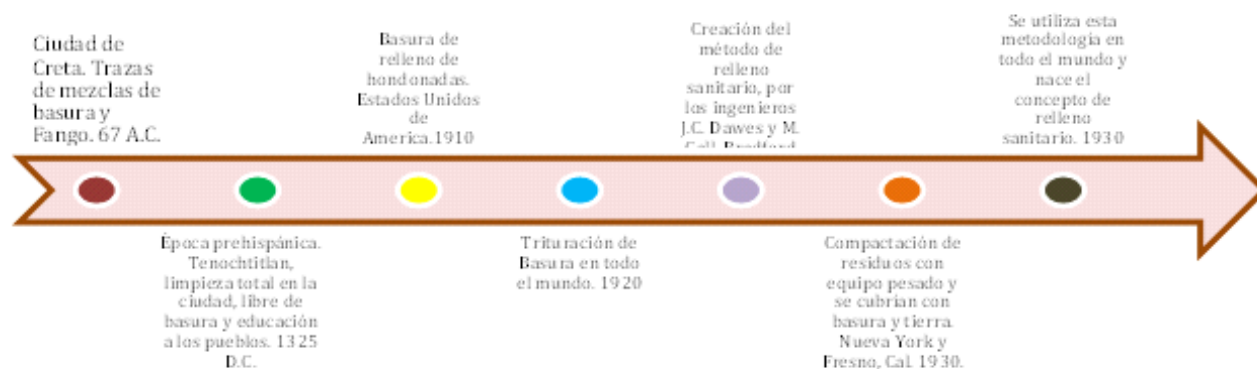
“La actuación responsable de los gobiernos, para la disposición de los RSU está marcado dentro de los acuerdos y legislaciones actuales en materia de darle un tratamiento a los residuos para evitar daños ecológicos y disminución de gases de efectos de invernadero” (Pag.20).

La norma oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, habla sobre las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial (Diario Oficial de la Federación, 2004).

En la historia de los primeros rellenos sanitarios se encontraron datos de la ciudad de Creta en Grecia, que fue la primera ciudad donde se utilizó el método de colocar encima de los residuos trazas de mezclas de basura y fango. Si se remonta a la época prehispánica se tienen datos de la gran ciudad de Tenochtitlan, que tenían un sistema hidráulico complejo para la disposición de residuos y se educaba sobre tener siempre limpias las calles y cuidando el entorno amigable con el ambiente y comparándolo con Venecia, Italia por sus amplios canales de agua. En la Figura 2, se muestra la línea del tiempo, donde se puede apreciar el avance de los rellenos sanitarios desde A.C. hasta nuestros días.

Figura 2.

Línea del tiempo de la evolución del relleno sanitario.



Nota: Historia del relleno sanitario con datos de (Ulloa, 2006)

Los rellenos sanitarios, son una opción para depósito de RSU luego de recibir ciertos tratamientos que pueden ser de 3 tipos: Mecánicos-biológicos, tradicional y operación manual.

2.4.2 Biogás

El biogás es un gas producido por la descomposición de materia orgánica y RSU mediante un proceso anaeróbico descomponiendo esta basura y generando gases de metano (Luevano, 2017).

Otro de los nombres como se le conoce es biometano (Torres, 2021), que es el resultado del proceso de conversión que proviene del biogás que tiene un contenido de metano por abajo del 70%. En México, no se tiene información sobre cómo se realiza la disposición final de RSU en los rellenos sanitarios urbanos.

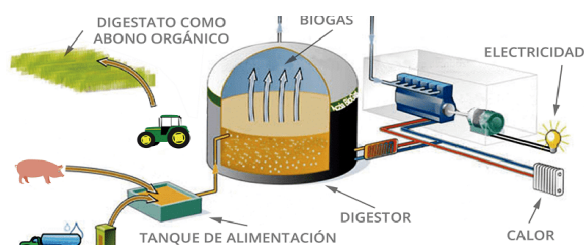
Al igual, no se cuenta con datos sobre la cantidad de biogás producida por la degradación de la materia orgánica en estos residuos (Cárdenas, 2020). El biogás está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, que son considerados los principales gases de efecto invernadero (GEI), (Cárdenas, 2020). Se estima que en Estados Unidos 234 millones de toneladas métricas de RSU en 2014, solo el 52.6% se desecharon en vertederos y debido a su considerable potencial

energético y alto contenido orgánico los RSU, han recibido un gran interés para la producción de combustible y energía en este país (Uisung, 2017).

Este biogás se produce mediante un pozo de extracción que son pozos verticales o zanjas horizontales y se perforan donde se encuentran los RSU en el relleno sanitario que contienen chimeneas y se conectan cabezales a las tuberías de conducción para transportar el gas al siguiente proceso de tratamiento o purificación (Torres, 2021).

Figura 3

Proceso de generación de biogás y electricidad



Nota: (soluciones integrales de combustión, 2021)

En Baja California se han realizado estudios de la generación de metano en vertederos para producción de biogás que es producido como resultado de procesos físicos, químicos y microbianos en los sitios de rellenos sanitarios o lixiviados que es donde se encuentran los RSU. Debido a estos procesos y su naturaleza de tipo orgánico, es como estos gobiernan el proceso y generan el biogás (Aguilar, 2014).

Las variables más importantes que se deben tomar en cuenta para generar el biogás (Aguilar, 2014) son: La cantidad de desechos, composición de desechos, el contenido de humedad, la temperatura y el tiempo de retraso del material. De acuerdo con Bonilla (2007), la humedad está asociada con el porcentaje de agua que contienen los RSU dentro del estrato de humedad propia y a través de la

infiltración de agua pluvial y la descarga de lixiviados que marca un nivel óptimo de 200 mm a 1000 mm. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta la humedad presente del 80% para que el proceso de biodegradación de los RSU se realice eficientemente (Bonilla, 2007).

2.5 Certificados de Energía Limpia (CEL)

El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) llevó a cabo desde el 2015, tres subastas para la compra de energía eléctrica de fuentes renovables a largo plazo para poder asignar contratos para la compra-venta de potencia, electricidad y CEL (Jeison, 2018). Los CEL, son títulos emitidos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) que acreditan la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de energías limpias y ayuda con el cumplimiento de los requisitos asociados en el consumo de centros de carga (CENACE, 2022). En las subastas realizadas por el CENACE destacan proyectos dominados por la energía fotovoltaica y eólica. En el mencionado estudio comenta de las grandes oportunidades que podrán dominar el futuro del mercado por medio de bioenergía o biogás derivado de RSU (Cárdenas, 2020).

Este biogás será el combustible que alimenta a las motos turbinas que generan electricidad. Al tener un combustible que no es derivado de combustibles fósiles, ayuda a tener un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. Este gas por lo tanto tiene múltiples beneficios ya que puede producir energía eléctrica alimentando generadores eléctricos, de forma constante en plantas generadoras a gas, generar calor en hornos, estufas, secadoras y calderas, como combustible en vehículos adaptados a este gas, y otros sistemas de combustión a gas. (Jeison, 2013)

2.5.1 Electricidad:

Existen diferentes tipos de energía que son: mecánica, mareomotriz, eólica, química y eléctrica. Según la definición de la Real Academia Española que define la electricidad como: “Una forma de energía basada en esta propiedad, que puede manifestarse en reposo, como electricidad estática, o en movimiento, como corriente eléctrica, y que da lugar a luz, calor, campos magnéticos, etc.” (Real Academia Española, 2022). Otra definición relacionada con la física dice que es “un conjunto de fenómenos producidos por el movimiento e interacción entre las cargas eléctricas positivas y negativas de los cuerpos físicos”, (Foro Nuclear, 2023).

Por lo tanto, se necesitan centrales eléctricas para generación eléctrica, ya que la electricidad se debe generar y almacenar para su posterior distribución y consumo.

2.5.2 Tipos de Centrales de Generación eléctrica:

Estas centrales se diferencian dependiendo del tipo de energía con la que se abastecen pueden ser de dos diferentes grupos:

- Generación de energía eléctrica renovable, que son aquellas que provienen de una fuente natural como son: vientos, llamada energía eólica, energía proveniente del calor del sol, y en la cual esta impacta en las celdas solares llamada comúnmente fotovoltaica.
- La del agua como ríos, presas, embalses, caídas de agua, etc. y es nombrada energía hidroeléctrica. Por último, tenemos el generado por biocombustibles o biogás de los RSU que también se hace llamar coloquialmente como “gas de los pantanos”. Está se produce en ausencia de oxígeno y con la presencia de microorganismos o bacterias (Torres, 2021).

- El siguiente grupo de generación de energía eléctrica es la no renovable que es la más usada en el mundo y la que se deriva de combustibles fósiles. Esta se deriva de la quema de derivados del petróleo, como es el caso de gasolinas, gas natural y carbón.
- El gas natural es el que menos contamina. Otro de los combustibles usados para la generación de energía es la nuclear, proveniente del uranio, que es altamente radiactivo (Repsol.com, 2023).
- El proceso de fisión nuclear es el más usado para obtener electricidad. Debido a las reacciones generadas al realizarse este proceso, se libera una gran cantidad de energía eléctrica, pero como desventaja es la aparición de residuos nucleares producidos durante el proceso (Repsol.com, 2023).

En el panorama internacional, especialmente en Alemania, seguido de Inglaterra e Italia; han estado teniendo un auge las plantas generadoras de biogás por RSU, para generación de energía eléctrica. El país líder en Europa es Alemania, ya que en la década de los 90's tenía varias plantas generadoras de biogás y electricidad partiendo de 370 a 3,891 en 2008 (Martínez, 2018).

En México, a partir del 2007 se encuentran trabajando plantas generadoras de electricidad a partir de biogás en Aguascalientes, Cd. Juárez, Chihuahua y Monterrey N.L. Es importante mencionar que, sin electricidad, no se tendría desarrollo tecnológico y los servicios básicos como hospitales, escuelas, entre otros no podrían trabajar. Pero en el proceso de generación de electricidad, se puede causar daño a los ecosistemas y al medio ambiente por el uso de energías no renovables derivados del petróleo. El daño depende de que combustible fósil se utiliza para la generación como se vio anteriormente, ya que las emisiones de dióxido de carbono, que contribuye a los GEI que causan el calentamiento global (Martínez, 2018).

La tendencia de uso de combustibles fósiles va a la baja a nivel mundial, y el Banco Mundial administra una cartera de \$318 millones de dólares en inversiones de proyectos de energías limpias, en varios países como ejemplo se tiene a China, Etiopia, Uganda, Mongolia y Senegal entre otros.

En el caso de México, existe un proyecto en Yucatán realizado en 2008 y pautado hasta el 2015, para producción de biogás en granjas porcinas, financiado por el Banco Mundial y FIRCO (Fideicomiso de Riesgo compartido), en el cual es un apoyo a fondo perdido que se utilizó con un millón de pesos y el agricultor aportó 1.5 millones de pesos, con créditos de los FIRA. (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). En cuanto a estas inversiones, se tiene el antecedente de la compañía FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido) que, en el año 2016, apoyo con la compra de 43 moto generadores con 11.1 millones de pesos y los porcicultores invirtieron 15 millones de pesos (Martínez, 2015).

De acuerdo con la Agencia de Recursos Renovables de Alemania, (FNR, siglas en alemán), el biogás generado por los desechos porcinos contiene 65 % de CH₄, (metano) y un metro cúbico tiene un contenido energético de 9.97 kWh. La energía contenida en el biogás es de 5.56 kWh/m³ y con esta información y los datos que FIRCO proporcionó sobre el biogás producido en algunas granjas, se obtuvo una aproximación del CH₄ generado al año y su contenido energético teórico. En tan solo en 2010, genera teóricamente 2'203,725.46 KW/año de producción de energía eléctrica por biogás (Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2010).

Para concluir en el escenario de México para proyectos de generación de electricidad con biogás, en el año 2020; se producen 114 Millones de m³/anual de biogás con una generación eléctrica de 109 Giga Watts hora/anual, lo que representa una fracción minúscula de la meta de energía limpia para 2024 de unos 112,000 Giga Watts hora /anual (Gutiérrez, 2018).

2.6 Factibilidad Técnica y Ambiental

El concepto de factibilidad tiene como referencia que tan asentados están puestos los recursos que se necesitan para llevar a cabo los objetivos o metas de un proyecto (Rojas, 2023). Los aspectos en los que se apoya principalmente son: operativos, económicos, tecnológicos y ambientales. Para poder tomar una elección correcta de la viabilidad de un proyecto este se determinará por el grado de factibilidad que tengan en cada uno de los cuatro aspectos anteriores (Rojas, 2023).

2.6.1 Factibilidad Técnica.

Entre los objetivos para lograr tener una eficiente información para el estudio de un proyecto, la factibilidad técnica toma especial importancia en la disponibilidad de tecnología, que satisfaga las necesidades de operación de un proyecto, una operación garantizada y que el uso sea también garantizado (Baca, 2010).

Por lo tanto, se requiere conocer las herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, que son necesarios para evaluar las actividades o procesos que requiere un proyecto. Los elementos de la factibilidad técnica se deben medir y considerar si los recursos técnicos actuales son suficientes o se deben complementar o ajustar a las necesidades presentes (Baca, 2010).

2.6.2 Factibilidad Ambiental

En cuanto a factibilidad ambiental se deberá considerar diversos elementos como son: descripción geográfica, clima, suelo, atmósfera, hidrología, flora y fauna. De acuerdo con la guía para la presentación de la “Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad Regional”, publicada por SEMARNAT, deben presentar las siguientes características:

- **Cuantificable:** Debe medirse siempre que sea posible en términos cuantitativos;

- Excluyente: No existe una superposición entre los distintos indicadores;
- Fácilmente identificable: Conceptos definidos de modo claro y conciso;
- Relevancia: La información que aporta es significativa sobre la magnitud y los alcances del impacto en relación con el proyecto; y
- Representatividad: Se refiere al nivel de información que posee un indicador, con respecto al impacto global. (SEMARNAT, 2022)

En los estudios de factibilidad técnica y ambiental se sugiere poner todos los beneficios para la empresa u organización, pero sin descuidar ninguno de los elementos necesarios para que el proyecto funcione y, además, si el proyecto no resultara ser viable, igualmente será necesario indicarlo (Rojas, 2023).

Es importante mencionar que en todo análisis de factibilidad ambiental se debe considerar, la legislación en materia ambiental, que aplica en el país en donde se desarrollara el proyecto, dentro de su marco legal, con el fin de prever situaciones que afecten en la inversión del proyecto y su viabilidad (Baca, 2010). Entre las situaciones que podrían presentarse en la política ambiental serían: fallas en las instituciones, inestabilidad en el gobierno y fallas en los diferentes mercados que afecten a la producción y consumo, corrupción en los gobiernos y falta de capacitación de los servidores públicos (Baca, 2010).

Los mecanismos de acuerdo con las normas y leyes regulatorias ambientales, dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (López, 2019) y los organismos involucrados en México que apoyan a proyectos y que se involucran en el logro de objetivos ambientales son:

a) Mecanismos económicos: Son las normas legales, administrativas y de carácter fiscal, financiero o de mercado, en los cuales las personas se hacen cargo de los beneficios y costos ambientales que

se generen en sus actividades económicas; y también funcionan como un estímulo para realizar acciones que mejoren el ambiente.

b) Mecanismos de carácter fiscal: Son beneficios de carácter fiscal que recompensan el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental. En ningún caso, estos mecanismos deben tener fines exclusivamente para percibir dinero.

- c) Mecanismos financieros: Estos mecanismos, que se asocian a los créditos, las garantías, los seguros de responsabilidad civil, los fondos y los fideicomisos, tienen entre sus objetivos: la conservación, protección, restauración o aprovechamiento sustentable de las riquezas naturales y el medio ambiente, así como el patrocinio de programas, proyectos, estudios e investigación científica y tecnológica para el cuidado y preservación del equilibrio ecológico y preservación de los ecosistemas (Baca, 2010).

En el “Plan Nacional de Desarrollo Sostenible 2019-2024”, se habla de apoyar a proyectos de energías renovables para impulsar el desarrollo sostenible en comunidades y poblaciones rurales, que carecen de energía eléctrica y que suman dos millones de habitantes (López, 2019). La transformación energética otorgará un gran impulso al nacimiento de un sector social en ese ramo, así como para motivar y fomentar la reindustrialización del país (López, 2019).

Una gran ventaja para considerar para la realización o el desarrollo de rellenos sanitarios de este proyecto es que al generarse biogás con RSU no se requiere invertir en comprar combustible para generar electricidad. Por lo tanto, se puede disponer de una gran cantidad de RSU que alimentarán a las turbinas eléctricas (Cárdenas, 2020).

2.6.3 Moto turbinas:

Las motos turbinas son generadoras de electricidad usando como combustible: Biogás, gas natural y gasolina.

Figura 4

Moto turbina generadora de electricidad, Alimentada por RSU



Nota: Catálogo de la marca Anglo Belgian Corporation®.

2.6.4 Criterios para la selección de moto turbinas para la generación de electricidad a partir de biogás

Las motos turbinas o moto propulsores cuyo funcionamiento motor está basado en un conjunto rotatorio compresor-turbina, y turbinas de gas, se apoyan con pistones y con el ciclo termodinámico de Otto y si son de gas con ciclo termodinámico de Diesel (Tarifa, 1951). En las turbinas de gas el ciclo de trabajo es igual, pero en ellas se recoge la mayor parte de la energía de los gases provenientes de RSU mediante una turbina de dos o más escalones que suministra una potencia superior a la que necesita el compresor. Estas se pueden utilizar en varios fines, el exceso de potencia de que se dispone sobre el árbol motor, como es en la generación de energía eléctrica.

Para la selección de moto turbinas que tienen alimentación de biogás o RSU, debemos tomar en cuenta la cantidad de biogás con las que se alimentará, y que sea muy parecida a la cantidad de biogás generado anualmente en el relleno sanitario. Con esta relación permitirá cumplir con la demanda específica del lugar o la zona donde se suministrará la energía eléctrica que no se especifica.

Es importante tomar los datos técnicos de las máquinas como son la eficiencia energética, consumo de combustible en Kilo Joule/Kilowatts hora y la cantidad de emisiones que producen en la generación de energía eléctrica. En la información de selección, se incluyen los costos de las máquinas y sus accesorios, así como la fluctuación peso – dólar, ya que las compañías que las manufacturan no se encuentran en México y son distribuidoras a nivel mundial por lo que sus precios están en dólares. También se debe incluir el transporte, tiempos de entrega, garantías, ensamble, costos de mantenimiento y operación (Al, 2020).

Otra información muy importante es la cantidad de energía eléctrica que genera en esta turbina, con los datos que nosotros hemos calculado anteriormente, para que de la capacidad generada anualmente en Kilowatts/anuales. Además de cubrir con los estándares deberá cubrir la norma ISO14000, en materia de generación de electricidad, ayudando a la disminución de emisiones de GEI (Uribe, 2007).

Es importante conocer los datos técnicos de la moto turbina a seleccionar para la simulación de acuerdo con los datos de consumo de combustible y la cantidad de electricidad que se desea generar.

2.6.5 RSU

La definición de un RSU según la SEMARNAP, en su informe del 2010 (Profepa-Semarnat, 2010), son los que se generan en casas habitación como un resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas. Estos pueden ser: Los productos de consumo, incluyendo basura orgánica, sus envases o empaques y también los que provienen de cualquier otra actividad de giro comercial o de servicios, que se desarrolla dentro de los establecimientos y los generados en la vía pública, que tengan el mismo tipo de desechos que los de una casa habitación, siempre que no sean considerados como otro tipo de residuos como los residuos peligrosos derivados de químicos o de procesos de índole industrial.

En las ciudades se presentan problemáticas derivadas de una alta generación de RSU, ya que debido al desarrollo económico, la generación de industrias manufactureras, además de implementar modelos económicos que llevan a un alto consumo en los habitantes de todo tipo de bienes y servicios; ha tenido como consecuencia un gran aumento del volumen de RSU en las ciudades, y teniendo un impacto ambiental, ya que estos residuos afectan la salud de los habitantes y sus ecosistemas naturales (Profepa-Semarnat, 2010).

Dentro del programa nacional para la prevención y gestión integral de residuos 2022-2024 elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, elaboraron un marco estratégico para promover dentro de sus estrategias prioritarias. La promoción y la creación de infraestructura y equipamiento para la prevención y gestión separada de los residuos orgánicos: Compostaje y Biodigestión (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022).

Dentro de los objetivos de este programa se muestra una estrategia prioritaria adicional que es la Estrategia Prioritaria 3.2 que dice que están comprometidos a desarrollar centros tecnológicos económicamente viables, para el aprovechamiento y la disposición sustentable de los residuos en

los centros de población con más de 1.5 millones de habitantes para promover su valorización y reducir su ingreso en los sitios de disposición final (Profepa-Semarnat, 2010).

En esta cita nos muestra que Tijuana es una ciudad que tiene más de dos millones de habitantes según INEGI (INEGI, 2021) y un crecimiento cada diez años de un 25% por lo que entra el gobierno estatal y municipal a adquirir este compromiso de desarrollar centros tecnológicos, para el aprovechamiento de estos residuos.

Debemos de considerar que las ciudades son las que generan las $\frac{3}{4}$ partes de los GEI, ya que usan combustibles fósiles tanto para el transporte y generación de energía eléctrica, así como también son generadoras de grandes toneladas de RSU. Por este motivo en el objetivo de la ONU de ciudades sustentables, se analiza y sugiere incluir energías renovables, tomando varias fuentes como energía eólica, generación de energía por RSU, foto celdas solares, y lograr la autosuficiencia energética (Barragán y Zalamea, 2020).

Se han realizado estudios en la región de Baja California sobre el aprovechamiento de biogás (Aguilar, 2014), generado en los residuos sanitarios de Mexicali y Tijuana, haciendo cálculos de generación de este para producción de electricidad. Cabe destacar que Mexicali tiene un clima seco y en Tijuana es considerada de clima mediterráneo.

En estos estudios, se hicieron análisis con diferentes materiales, y su generación de biogás, en el sitio de captación y se tuvieron como resultados que en Tijuana se alcanzará una capacidad de producción de 8.6 Mega Watts en 2023, en el año posterior al cierre del lugar donde se produce el biogás. Cabe destacar que este estudio se realizó para el año 2014 (Aguilar, 2014).

En el caso del relleno sanitario de Valle de las Palmas, se puede hacer mención que alrededor de esta zona, se encuentran granjas lecheras, que también generan grandes cantidades de estiércol y no son utilizados para generar biogás.

En estudios realizados por parte de la red temática de bioenergía de Conacyt (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) en la publicación denominada: “Situación actual y escenarios para el desarrollo de biogás en México hacia 2024 y 2030” (Gutierrez, 2018) cita que los desechos de ganado bovino para producción de leche presenta un escenario favorable para producción de biogás y recomienda beneficios fiscales equivalente al 50% para la realización de estudios de factibilidad y diseño para instalación de biodigestores y plantas eléctricas a biogás. En cuanto al uso de moto generadores para producir energía eléctrica existe un estímulo fiscal del 20% (Cárdenas, 2020).

2.7 Factibilidad Económica

Es el elemento más importante de cálculo de un proyecto, ya que, por medio de este, se solventan las demás carencias de otros recursos, que es lo más difícil de conseguir y necesita de actividades adicionales cuando no se posee. El estudio de factibilidad económica debe presentar gráficamente los gastos y beneficios que llevaría la puesta en marcha del proyecto y para esto se es empleada la curva costo-beneficio (Rojas, 2023). Después de conocer un proyecto la viabilidad técnico-ambiental, es muy importante conocer el monto de inversión que se necesita para que el proyecto pueda lograr sus metas (Al, 2009).

Para que un proyecto sea viable económicamente tenemos que calcular los Impuestos sobre la renta que son uno de los instrumentos más importantes con el que cuenta el estado para promover su desarrollo económico. La inversión inicial de un proyecto abarca desde la adquisición de activos

fijos o tangibles y diferidos o intangibles que se necesitan para iniciar las operaciones de la empresa, con excepción del capital de trabajo (Baca, 2010).

2.7.1 Economía circular:

El concepto definido aparece por primera vez en los libros de Pearce y Turner en 1989, sobre “Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente”, su concepto está definido como reconstituyente y regenerativa por diseño, y se propone mantener siempre los productos, componentes y materiales en sus niveles de uso más altos.

Es un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos y minimiza los riesgos de un sistema, gestionando stocks finitos y flujos renovables. Funciona de manera efectiva en cualquier escala. Entre sus principios se encuentran los siguientes: la optimización y eficiencia de los recursos, promoción de la efectividad del sistema, haciendo patentes y proyectando eliminar las externalidades negativas.

Esto incluye disminuir el daño causado a sistemas y áreas que afectan a las personas, tales como productos alimenticios, movilidad, hábitats, educación, sanidad y gestiona externalidades como la contaminación del aire, suelo y agua, así como del ruido, GEI y cambio climático (Cerde, 2016).

2.7.2 Estados financieros proforma y pronosticados.

Los estados llamados proforma y pronosticados son aquellos que se presentan de manera total o parcial en diversas situaciones o hechos por suceder (Al, 2009). Se realizan con el objetivo de presentar la forma en que determinadas situaciones pronosticadas pueden llegar a afectar la situación de la empresa, por ejemplo, cuando una empresa de la rama de la construcción

refleja en sus estados financieros algunas variaciones en relación de contratos de obra que ya han sido firmados con el cliente y que su consumación es sólo cuestión de un periodo de tiempo. Por lo general se les denomina estados financieros proforma a los estados financieros pronosticados de acuerdo con el horizonte de planeación o vida de duración del proyecto de inversión. Se formula el pronóstico con la finalidad de conocer las utilidades o ganancias que se esperarán en ese periodo de tiempo, así como para estar en posibilidad de realizar los cálculos financieros de evaluación (Rojas, 2023).

Los estudios de factibilidad financiera muestran:

- Flujo neto de efectivo para efectos de valuación financiera.
- Costos
- Inversión neta inicial para el proyecto de inversión
- Costos de financiamiento.
- Tasa mínima de rendimiento del proyecto
- Tiempo estimado del proyecto de inversión
- Sensibilidad y análisis de riesgo.

En el software RetScreen expert® se puede calcular la sensibilidad y análisis de riesgo que forma parte del software de análisis de proyectos de energía limpia, con un análisis de sensibilidad y riesgo de este tipo de proyecto, incluyendo el cálculo de estos impuestos, tomando este parámetro de forma clave (Baca, 2010).

- **Depreciación de activos:** La depreciación es el avalúo del desgaste de un activo y ello implica que ese activo pierde su valor, de modo que hay que restar el valor del desgaste al activo, pues se reconoce que cada vez vale menos con el tiempo.
- En el caso del uso de este software realiza una perspectiva financiera para cualquier proyecto en un plazo de 20 años (Gobierno de Canadá, 2022).
- **Flujos de caja antes y después de impuestos:**
El flujo es la cantidad neta que se transfiere para la realización de un proyecto o para invertir sobre un proyecto. El capital que cobra son las entradas y el capital que paga son las salidas (Cámara, 2020).
- **Validación del modelo de análisis de riesgos.** El análisis de riesgos en proyectos de validación proporciona un marco racional que se necesita para determinar el alcance apropiado a la hora de realizar las actividades de validación, centrándose en los procesos que representan un mayor riesgo potencial para la calidad del producto o proyecto (Cámara, 2020).

En esta parte el software proporciona una forma estadística de cálculo apoyándose con una simulación de Monte Carlo (Gobierno de Canadá, 2022).

Esta simulación constituye alrededor de 500 a 5000 valores del indicador financiero. Esto se hace para determinar si el valor del indicador financiero es aceptable o no por la distribución de resultados. Las variables de entrada clave de rango tienen un margen de $\pm 25\%$ (Gobierno de Canadá, 2022).

Simulación Montecarlo: Las simulaciones de Monte Carlo es una técnica matemática que predice los posibles resultados de un evento incierto. Los programas informáticos utilizan este método para analizar datos pasados y predecir una serie de resultados futuros en función de una elección

de acción, en el caso del software que se utiliza para el cálculo, este modelo nos calcula la tasa interna de retorno de impuestos que representa el interés real, y el rendimiento proporcionado por el proyecto a lo largo de su vida. También conocido como retorno de inversión (Chiavenato, 2006). Con estos parámetros podremos dar cuenta que tan factible y rentable es este proyecto (Orozco, 2013).

Esto afectará asuntos tales como los períodos de recuperación de las inversiones y costos de energía, mirando proactivamente los potenciales pasivos contingentes, los costos de “reverdecer” la financiación, la valoración de los costos por no emprender iniciativas ambientales y similares.

El llevar a cabo una descripción extrema (realista) de la práctica actual de presentación de reportes corporativos en el que los contadores se encargan de las cuentas estatutarias y el departamento de relaciones públicas se encarga del resto (Orozco, 2013). Los problemas ambientales no dan paso a estos cambios cuando los estados financieros comienzan a reflejar los diversos aspectos de los costos ambientales además de que los elementos no financieros del informe requieren ser más sustantivos (Fundación Fórum Ambiental, 2016).

El querer experimentar junto con la creatividad son esenciales ya que se está hablando de valoraciones del desempeño más perspicaces, el desarrollo de algo similar a los eco balances y la evaluación del ciclo de vida, o realmente intentando construir una contabilidad para la sostenibilidad (Orozco, 2013).

En la fuente de consulta de la página SENDECO2, comenta que maneja negociaciones de derechos de emisiones de dióxido de carbono y créditos de carbono (Uribe, 2007).

Para que un proyecto se considere dentro del marco legal sustentable debe tener las siguientes características:

- Debe ser un proyecto en el que estén interesadas ambas partes para lograr los objetivos sustentables que se pretenden.
- Lograr llegar a tener beneficios medibles, a corto y largo plazo.
- Cumpliendo con los objetivos de lo que se planeó en el proyecto y lograr el desarrollo sostenible y sustentable, apoyándose de energías limpias y con apoyo de tecnologías que ayuden a disminuir el impacto ambiental del entorno.
- Aclarando que no está permitido usar energía nuclear.
- Medir y cuantificar la disminución de emisiones de forma periódica para evaluar el proyecto y lograr los objetivos de reducción de emisiones contaminantes (Acevedo, 2004).

Figura 5

Diagrama de registro para proyectos MDL



Nota: Propuesta de (CANTOR De, 2017)

Con estos pasos se logra un registro satisfactorio de cualquier proyecto al MDL que es un esquema de proyectos implementados por países con compromisos de reducción de emisiones que permitan apoyar económicamente en estos proyectos. Los países que invierten pueden obtener CER por un monto que corresponde a la cantidad de dióxido de carbono equivalente (tCO₂) que se dejó de emitir a la atmósfera como resultado de los proyectos realizados (INECC, 2023).

2.8 Propuesta de utilización del software Retaceen expert® en el relleno sanitario de Tijuana

Todo proyecto a nivel internacional donde se toma en cuenta el beneficio de obtener derechos de emisión de GEI, requieren tener una asignación de cuáles serán sus obligaciones y responsabilidades del proyecto. Este con lleva el análisis técnico, que sea viable, que tenga un sustento económico y se valore su beneficio financiero, conocer sus riesgos a corto y largo plazo. Realizar un diseño acorde con las necesidades del entorno y requiere validación por una entidad gubernamental y revisar que se ajuste a los requisitos exigidos por los MDL.

En la parte de la evaluación del proyecto, se deberá informar al público y que sea revisada y valorada. Si es resultado negativo se deberá de revisar de nuevo y modificar la propuesta para alcanzar los objetivos requeridos. Se debe realizar un informe donde se evalué el proyecto y si lleva un acuerdo de compraventa de un RCE, bien de un país industrializado o una entidad o banco que invierta (a través de un fondo de carbono), las entidades de inversión podrán pedir un informe que hable sobre los RCE y sus tasas de interés por parte del país receptor o que no contenga tasas de interés y que autorice la entrega parcial o total de las RCE generadas del país industrializado que invierta en el proyecto.

Después se realiza un registro del proyecto validando como proyecto MDL y al registrarse se cobra entre 5,000 y 30,000 dólares americanos, dependiendo de la reducción de emisiones de Toneladas métricas de CO₂ equivalentes (Acevedo, 2004).

Se han hecho numerosas investigaciones acerca de los beneficios potenciales y económicos de un relleno sanitario. Donde se ha tomado desde el beneficio de reciclado con los costos en el mercado y beneficios ambientales. Varios de los métodos que son utilizados son la toma de muestras casa por casa, la toma de los camiones recolectores o contenedores de las casas, que se realizan semana

por semana o mes por mes para cuantificar los beneficios económicos de la mano con el reciclado. La relación costo-beneficio es muy importante para incentivar al gobierno municipal en el uso de un relleno sanitario sustentable.

En Tijuana, Baja California se pueden visualizar tres etapas que tiene el sistema de gestión de residuos: a) La generación de basura, b) Limpieza de la ciudad y recolección de diferente tipo (mixta), y c) La disposición final o recolección de la basura para llevarla al relleno sanitario.

En la primera etapa tanto empresas, comercios, zonas turísticas y colonias donde transita el camión recolector de basura del municipio, es la tercera fase donde capta la basura generada por la ciudad en varias zonas generando 2,000 toneladas de basura por día, según reporte Semarnat en el año 2022, y el H. Ayuntamiento de Tijuana, en el cual reporta que en año 2021 se tuvo recolectadas 654,576 toneladas de basura y en 2022 la recolección aumentó a 704,147 toneladas de basura anual.

Se debe tomar en cuenta que el municipio también genera basura, ya que para mantener las zonas turísticas y centro de la ciudad recurre a barredoras municipales para captar la misma y también estos residuos orgánicos son llevados al relleno sanitario que es la disposición final. Al manejar RSU para generar biogás se deberá tomar en cuenta la constante de generación de metano, (k) que representa la tasa de biodegradación de primer orden a la que se genera metano luego de la colocación de desechos biodegradables en el vertedero (Romero, 2011).

Esta constante está influenciada por el contenido de humedad, la disponibilidad de nutrientes, el pH y la temperatura. El contenido de humedad de los desechos dentro de un vertedero es uno de los parámetros más importantes que afectan la tasa de generación de gas del vertedero.

Principalmente, la infiltración de la precipitación a través de la cubierta del vertedero, el contenido de humedad inicial de los desechos, el diseño del sistema de recolección de lixiviados y la profundidad de los desechos en el sitio influyen en el contenido de humedad de los desechos dentro de un vertedero. Los valores típicos de k varían de 0.02 para sitios secos a 0.07 para sitios húmedos. Los valores típicos de k se presentan en la tabla de rango de valores de k por precipitación anual y dependiendo de los tipos de residuos presentes en el relleno para formar el biogás.

Esta clasificación se realizó por parte del Manual de Usuario del Modelo Mexicano de Biogás, que clasificó todos los estados de la República Mexicana y clasificando los residuos para determinar la constante k , observando que en Baja California la constante k varía de 0.02 para materiales textiles a 0.100 para basura orgánica y pañales desechables (Muñoz, 2020).

El volumen de generación de metano de los residuos (Lo) por tonelada de residuos depositados representa el valor de generación de metano a partir de residuos y el rendimiento total de metano que producirán los residuos depositados. También denominado valor " Lo ", que depende de la composición de los residuos, en particular, de la fracción de materia orgánica presente. El valor " Lo " se selecciona con base en una estimación del contenido de carbono de los desechos, la fracción de carbono biodegradable y un factor de conversión estequiométrica. Los valores típicos para este parámetro van desde 125 m^3 de metano/tonelada de residuos para residuos de descomposición moderada hasta 310 m^3 de metano/tonelada de residuos para residuos altamente orgánicos descomponibles.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S.E.P.A.) recomienda un valor predeterminado para " Lo " de 170 m^3 de metano/tonelada de desecho en sus pautas de rendimiento de nuevas fuentes como en nuestro caso, se considera un valor bastante conservador, que es

representativo de la mayoría de los vertederos de residuos sólidos domésticos y municipales en los Estados Unidos.

En cuanto al cálculo de eficiencia del sistema de recolección de gases de invernadero los valores típicos oscilan entre el 60 y el 80 % del gas recuperado, y normalmente se asume un 75 % en ausencia de datos específicos del sitio.

2.8.1 Retscreen expert® como simulador de gestión de proyectos de energías limpias.

En la realización de diversas investigaciones y proyectos se ha utilizado como soporte para conocer la viabilidad económica y técnica el software Retscreen expert®. Se ha utilizado y documentado en estudio de viabilidad económica en proyectos con celdas fotovoltaicas, en rellenos sanitarios para producción de biogás, en turbinas eólicas, entre otros proyectos a nivel mundial (e12902, 2022).

Es importante en todo proyecto que se deba realizar un análisis de prefactibilidad financiera para conocer qué tan viable es un proyecto de energías renovables. Esto se puede usar y calcular dentro del software. Este software contiene un módulo de análisis de factibilidad y un analizador de energía virtual, este permite que se identifiquen y evalúen rápidamente la factibilidad de proyectos potenciales de energía renovable y eficiencia energética en todo el mundo (e12902, 2022).

En el proceso de evaluación de proyectos de energía se logra mediante un análisis estándar que consta de cinco pasos: Análisis energético, análisis de costos, análisis de emisiones y análisis de sensibilidad y riesgo. El modelo utiliza los flujos de efectivo anuales después de impuestos y la vida del proyecto para calcular la tasa interna de retorno y se usa también el modelo de regresión lineal para conocer la factibilidad del proyecto, también llamado Modelo Montecarlo. Esto se puede usar y calcular dentro del software (Orozco, 2013).

Se debe recordar que un proyecto tiene viabilidad financiera si muestra que con las fuentes de recursos a los que se tiene acceso es posible solventar todas las etapas del proyecto. Tales fuentes son el capital proporcionado por los socios, los créditos y el dinero generado por el negocio (Gutiérrez, 2018).

Se deben tomar en cuenta cuatro componentes básicos: instrumento con el que se medirá, el objeto que se mide, base de medida y unidades a utilizar en la medición.

En el software se puede calcular la tasa interna de retorno después de impuestos como porcentaje que representa el interés real. También se puede calcular con este el rendimiento proporcionado por el capital del proyecto a lo largo de su vida. También conocido como retorno de inversión. Equidad o ROI o la tasa de rendimiento ajustada con el tiempo (Gobierno de Canadá, 2022).

Esta se calcula con la tasa de descuento que hace que el valor actual neto del proyecto se haga igual a cero. Por lo tanto, no es necesario establecer la tasa de descuento de una organización para utilizar este indicador (Gobierno de Canadá, 2022). Una organización interesada en un proyecto puede comparar la tasa interna de rendimiento del proyecto con su tasa de rendimiento requerida (a menudo el costo del capital). La TIR se calcula sobre una base nominal, es decir incluyendo la inflación (Rojas, 2023).

Lo primero que se debe hacer para evaluar los costos de un relleno sanitario en relación con la eco contabilidad es medir, dónde se obtendrá todos los datos y utilizar diferentes indicadores para ser tomados de forma preferente. Después de evaluar y analizar todos los datos desmenuzando la información y clasificando está; para ver cuál es la utilidad y trabajar sobre esta información para tomar decisiones acertadas.

El tercero es la fase de comunicación en la empresa para transmitir la información de los pasos o métodos a seguir y se debe transmitir por varios indicadores ambientales que son de actuación directiva (IAD) que marcan las políticas y acciones, prácticas y procedimientos de todos los niveles de la organización (Cortinas, 2021).

En los indicadores ambientales de actividad productiva (IAP), se aportan información con respecto a la actuación ambiental de las operaciones o producción de la empresa. Parte desde las entradas: materiales, servicios y la energía y las salidas: productos, residuos, emisiones contaminantes, servicios. Todo esto pasa por el proceso de compras de las entradas que abarca diseño, instalación, operación y mantenimiento del equipo, las instalaciones de la empresa y por último los resultados del proceso hasta la disposición final (Baca, 2010).

Por último, el ICA, (Indicadores de Condiciones Ambientales), son los que miden la condición del ambiente en función con los cambios que se estén observando con respecto a las actividades que realiza la empresa (Data México, 2022).

En el proyecto del relleno sanitario, estos indicadores serán de vital importancia durante la realización del proyecto. Se debe respetar la legislación ambiental de México y la internacional, así como las medidas de regulación. Cabe mencionar que el sistema de gestión ambiental ISO 14000, permite mejorar la eficiencia de una organización o empresa para la preservación del ambiente (SEMARNAT 2002, 2004).

Otro recurso para tomarse en cuenta es la auditoría medioambiental (AMA), que es un instrumento de gestión que comprende una valoración del sistema, que se documenta adecuadamente, en un periodo determinado y muestra de forma objetiva que tan eficaz trabaja la empresa en apoyo a la protección del medio ambiente (Fundación Fórum Ambiental, 2016).

Esto ayuda a comprobar que tan eficaz es nuestro sistema en el cuidado ambiental y nos evitará sanciones, aumenta la imagen pública y da más valor las acciones de la empresa y permite tener certificaciones para decir que nuestro sistema de gestión medioambiental implementado es de calidad (SEMARNAT 2002, 2004). Todo esto se puede medir y cuantificar para agregar un valor sustentable en el proyecto de relleno sanitario (Gutierrez, 2018).

2.9 Modelo de Montecarlo en software RETScreen expert® para análisis de factibilidad de riesgo de proyectos de energías renovables

Esta sección de este software permite realizar un Análisis de Riesgo especificando la incertidumbre asociada con una serie de parámetros de entrada clave y para evaluar el impacto de esta incertidumbre, en y después de impuestos donde TIR y ROI, flujo de caja positivo del año o valor presente neto (NPV) son también calculados (Gobierno de Canadá, 2022).

El análisis de riesgo se realiza mediante una simulación Monte Carlo que incluye 500 posibles combinaciones de variables de entrada que dan como resultado 500 valores de TIR y ROI después de impuestos, de un año a otro, además del flujo de caja positivo o valor presente neto (VAN) (e12902, 2022).

Los costos y valores de las motos turbinas se dan en dólares canadienses, con el tipo de cambio: 1.25CAD: 1USD (Gobierno de Canadá, 2022).

El análisis de riesgo permite al usuario evaluar si la variabilidad del indicador financiero es aceptable, o no, observando la distribución de los resultados posibles. Una variabilidad inaceptable será una indicación de la necesidad de poner más esfuerzo para reducir la incertidumbre asociada con los parámetros de entrada que se identificaron como el mayor impacto en el indicador financiero (Gobierno de Canadá, 2022). RETScreen expert®, es un software gratuito de apoyo a

la toma de decisiones puesto a disposición por el Gobierno de Canadá para ayudar a evaluar la viabilidad y el rendimiento de los proyectos de energía renovable y eficiencia energética. El software cuenta actualmente con más de 368,000 usuarios en todo el mundo y 36 idiomas (Natural Resources Canadá, 2005).

Este software aprovechará una base de datos global de parámetros de entrada del proyecto, una base de conocimientos de las mejores prácticas y hará uso de Link Ed Open Data para crear un motor de decisión inteligente ((Natural Resources Canadá, 2005). Este software de un modelo de toma de decisiones para ingenieros especialistas es una herramienta inteligente de apoyo a la toma de decisiones para una gama mucho más amplia de partes interesadas durante todo el ciclo de vida del proyecto (Natural Resources Canadá, 2005).

2.9.1 Actividades principales del software:

Construir una base de datos global grande y en evolución de los parámetros de entrada del proyecto (incluidos datos sobre puntos de referencia, instalaciones, arquetipos, costos, productos y finanzas). Recopilar datos disponibles públicamente para varias regiones, basados en los datos climáticos existentes en RETScreen expert®.

Realiza un enlace a fuentes de datos abiertas y mapas de recursos energéticos, como los datos meteorológicos satelitales de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio), que transmiten datos dinámicos casi en tiempo real al software (Natural Resources Canadá, 2005). El software posee herramientas para la creación de un analizador de energía virtual, un identificador de proyecto inteligente, un evaluador de riesgos financieros y un rastreador de rendimiento del ciclo de vida del proyecto y en cada uno de estos segmentos incluye gráficas

pertinentes y comparativas que pueden ser útiles para conocer el pronóstico de la viabilidad del proyecto sustentable.

El Impacto esperado al trabajar con softwares de proyecciones económicas en proyectos de energías renovables reduce significativamente los costos financieros y de tiempo para identificar y evaluar posibles inversiones en energía limpia y ahorros directos para usuarios de más de \$20 mil millones logrados para fines de 2022 (Natural Resources Canadá, 2005). RETScreen Expert® al ser utilizado en diferentes proyectos se ha ahorrado al menos \$100 mil millones en inversiones de proyectos (Natural Resources Canadá, 2005). Con este software se calculan reducciones de emisiones de al menos 50 MT CO₂/año en emisiones de gases de efecto invernadero logradas.

Este software contribuye de forma sustentable al desarrollo económico mundial, la reducción de los gases de efecto invernadero y la contaminación, y la seguridad energética (Natural Resources Canadá, 2005). El valor del proyecto al final de su vida ingresado por el usuario en la hoja de trabajo de análisis de costos es transferido en el software. Esta cantidad también se conoce comúnmente como el valor de salvamento (o disposición valor) (Cortinas, 2021).

Se supone que el valor residual ingresado es representativo del año 0, es decir, el año de desarrollo/construcción anterior al primer año de operación (año uno). El modelo escala y el valor de rescate anualmente de acuerdo con la tasa de inflación a partir del año uno y hasta el final de la vida del proyecto, es decir, el año del cronograma informado en el modelo (Romero, 2011).

Para efectos fiscales, la diferencia entre el valor de rescate del proyecto y su capital no depreciado a los costos al final de la vida del proyecto se tratan como ingresos si son positivos y como pérdidas si son negativos (Romero, 2011).

2.9.2 Proyecto de equidad

El modelo calcula el capital del proyecto, que es la parte de la inversión total necesaria para financiar el proyecto que es directamente realizada por los propietarios del proyecto. El capital del proyecto se considera a ser desembolsado al final del año cero, es decir, el año de desarrollo/construcción. Se calcula usando los costos iniciales totales, los incentivos de costos iniciales y el índice de endeudamiento (Baca, 2010).

2.9.3 Deuda del proyecto

El modelo calcula la deuda del proyecto, que es la parte de la inversión total necesaria para implementar el proyecto y que es financiado por un préstamo. La deuda del proyecto conduce al cálculo de los pagos de la deuda y el valor actual neto. Se calcula utilizando los costes iniciales totales y el de equidad del proyecto (Gobierno de Canadá, 2005).

2.9.4 Decisiones de inversión.

Con los indicadores VPN, TIR y la TRI podemos saber si es viable o no un proyecto. Si tiene un VPN mayor a cero, significa que ofrece beneficios a la sociedad (Orozco, 2013). A mayor VPN mayores son los beneficios del proyecto. Si es negativo significa que la sociedad tendrá pérdidas si financia el proyecto (Baca, 2010).

Si la TIR es mayor a 12% que es la tasa social de descuento utilizada por el SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1999), las utilidades de los recursos en los proyectos se justifican ya que los recursos de la sociedad tienen un rendimiento mayor al mínimo establecido. Si es menor a 12% significa que los recursos de la sociedad no se invierten óptimamente (e12902, 2022).

Si la TIR es menor a 12% significa que el momento óptimo para realizar la inversión aún no ha llegado. Si supera el 12% significa que es el momento óptimo de la inversión, aunque no significa que con esto se considere rentable el proyecto (Gobierno de Canadá, 2022).

2.9.5 Valor Actual Neto – VAN

El modelo calcula el valor actual neto (VAN) del proyecto, que es el valor de todos los futuros flujos de efectivo, descontados a la tasa de descuento, en la moneda de hoy. Por lo tanto, el VAN se calcula en un momento 0 correspondiente a la unión del final del año 0 y el comienzo del año 1. Bajo el VAN que es el método, el valor actual de todas las entradas de efectivo se compara con el valor actual de todas las entradas de efectivo. Además, también calcula todas las salidas asociadas con un proyecto de inversión. La diferencia entre el valor actual de estos flujos de efectivo, llamados NPV, determinan si el proyecto es o no generalmente una solución financiera (Gobierno de Canadá, 2022).

2.9.6 Inversión aceptable.

Los valores positivos de VPN son un indicador de un proyecto potencialmente factible. En este se está utilizando el método del valor presente neto, es necesario elegir una tasa para descontar los flujos de efectivo para el valor presente. En la práctica, las organizaciones dedican mucho tiempo y estudio a la elección de una tasa de descuento. El modelo calcula el VAN utilizando los flujos de efectivo acumulados después de impuestos. En casos cuando el usuario haya optado por no realizar un análisis fiscal, el VAN calculado será el de flujos de efectivo antes de impuestos (Orozco, 2013).

2.9.7 Ratio de deuda

El índice de endeudamiento se transfiere automáticamente de la hoja de cálculo de Resumen financiero a la siguiente hoja llamada hoja de trabajo de sensibilidad (Natural Resources Canadá, 2005).

2.9.8 Estimación de sensibilidad o rango

El rango es un porcentaje correspondiente a la incertidumbre asociado con el valor estimado del índice de endeudamiento. Cuanto mayor sea el porcentaje, mayor será la incertidumbre en las variables. Con esta hoja nos permite visualizar los riesgos dependiendo de las variables que pueden ser: inflación, deuda en banco con tasa de interés, etc. (Orozco, 2013).

2.9.9 Mediana

El modelo calcula la mediana del indicador financiero que es el percentil 50 de los 500 valores generados por la simulación Monte Carlo. La variable de la mediana normalmente estará cerca del valor del indicador financiero calculado en la hoja de trabajo Resumen financiero (Gobierno de Canadá, 2022).

2.9.10 Nivel de riesgo

El nivel de riesgo aceptable para el indicador financiero, bajo consideración. Las opciones son: 5%, 10%, 15%, 20% y 25% (Gobierno de Canadá, 2022). El nivel de entrada de riesgo se utiliza para establecer un intervalo de confianza (definido por valores máximos y mínimos). Dentro de los cuales se espera que caiga el indicador financiero. El nivel de riesgo representa la probabilidad de que el indicador financiero quede fuera de este intervalo de confianza (Gobierno de Canadá, 2022).

Los límites del intervalo de confianza se calculan automáticamente a partir de la mediana y el nivel de riesgo, y se muestran como "Mínimo dentro del nivel de confianza" y "Máximo dentro nivel de confianza" (Natural Resources Canadá, 2005).

Se sugiere que el usuario seleccione un nivel de riesgo de 5 o 10%, que son valores típicos para análisis de riesgo estándar (Natural Resources Canadá, 2005).

2.10 Antecedentes del Proyecto:

En el municipio de Tijuana, Baja California Norte se aprobó la concesión del relleno sanitario para generación de Biogás y electricidad en la colonia Valle de las Palmas. Este proyecto está debidamente registrado dentro del programa de las Naciones Unidas para el cambio climático desde el año 2013 y acreditado desde el 1 de junio de ese año hasta el 31 de mayo del 2020, con posibilidad de ser renovado (Luevano, 2017).

En el presente trabajo se pretende tomar como referencia la situación actual del proyecto de relleno sanitario de Valle las Palmas en Tijuana, Baja California, en el cual Luevano (2009) en su función de Secretario de Gobierno del 22avo. Ayuntamiento de Tijuana, quien fue el intermediario entre el gobierno municipal y la empresa que realizó el anteproyecto y contrato con la empresa Promotora Ambiental S.A. de C.V. El objetivo de este proyecto era la construcción y operación de un relleno sanitario para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales no peligrosos de Valle las Palmas, Tijuana, por un término de 20 años (Luevano, 2017).

Aunque se debe recalcar que el tiempo de vida de este proyecto se puede alargar hasta 30 años dependiendo de las condiciones de mantenimiento que se les den a los generadores eléctricos. En este proyecto presentado al H. Ayuntamiento de Tijuana, se pretende producir 30,169 Mega Watts por año y eliminar el primer año de operación 206,141 toneladas de CO₂ a la atmósfera.

Cabe señalar que no se expone la metodología que se usó para el cálculo de estos datos que se expusieron en la presentación del proyecto, pero sí se mostró una tabla alusiva a los datos anuales de producción de energía eléctrica esperada por año y la disminución anual de toneladas de CO₂ a la atmósfera partiendo desde el día 1 de junio del 2019 hasta el 31 de mayo del 2034. Con este proyecto se pretende lograr una disminución anual de toneladas de CO₂ a la atmósfera de 328,808 y producir la misma cantidad de energía eléctrica. En este contexto cabe hacer mención que la compañía no menciona los modelos de turbinas generadoras de energía eléctrica, ni el costo de estas. Solo menciona que se usarán dos generadores eléctricos y que juntos producirán 30,169 Mega Watts hora anualmente (Luevano, 2017).

Se menciona que el estudio de la factibilidad técnica y económica para generación de biogás y después generar energía eléctrica el concesionario será el responsable de llevarlo a cabo (Luevano, 2017). Cabe destacar que se pretende tener una capacidad instalada en este proyecto de 4.2 Mega watts de energía eléctrica y se estima que en el 2019 según datos proporcionados por la compañía el flujo de biogás capturado será de 3,300 metros cúbicos normales por hora.

Dentro del proyecto también se menciona un cambio de sitio para generación de biogás en 2027 que indica que el 100% de los RSU serán depositados en este y que en el 2027 se lograría mediante el cambio del lugar alcanzar el mismo flujo de biogás con la misma cantidad que el 2019 (Luevano, 2017).

A continuación, se presenta una tabla de la propuesta de la compañía, en el cual se muestra la producción de energía eléctrica en Kilowatts proyectada a partir del 2019 y su reducción de emisiones de CO₂ por año hasta el 31 de mayo del año 2034. En la siguiente tabla, se muestran los cálculos de la propuesta.

Tabla 1.

Propuesta de la compañía: Promotora Ambiental S.A. de C.V. en cuanto a producción de energía eléctrica y reducción de emisiones de CO2 por año.

fecha de inicio	Fecha de Término	Toneladas de CO2	Mega watts Hora-Anual
01-06-2019	31-05-2020	206,141	30,169
01-06-2020	31-05-2021	214,890	30,169
01-06-2021	31-05-2022	227,704	30,169
01-06-2022	31-05-2023	236,280	30,169
01-06-2023	31-05-2024	245,214	30,169
01-06-2024	31-05-2025	256,606	30,169
01-06-2025	31-05-2026	264,523	30,169
01-06-2026	31-05-2027	272,298	30,169
01-06-2027	31-05-2028	280,668	30,169
01-06-2028	31-05-2029	287,539	30,169
01-06-2029	31-05-2030	298,974	30,169
01-06-2030	31-05-2031	306,450	30,169
01-06-2031	31-05-2032	314,693	30,169
01-06-2032	31-05-2033	321,351	30,169

Nota: Elaboración propia en base a: (Luevano, 2017)

En base a lo anterior, el 13 de noviembre del 2017, se extendió una prórroga donde la empresa Promotora Ambiental S.A. de C.V. y Promotora Ambiental de la Laguna S.A. de C.V. realizaron una presentación frente al Cabildo y a los integrantes de la Comisión del Ayuntamiento donde se agrega al proyecto inicial el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario. Sin embargo, esto hasta la fecha no se ha llevado a cabo.

De acuerdo con el personal del Instituto Metropolitano de Planeación del H. Ayuntamiento de Tijuana, realizó una opinión favorable, sobre la importancia de la viabilidad del proyecto. Haciendo referencia a un estudio realizado por el Banco Mundial y Sedesol, en el cual se

identifican en México ochenta y cinco rellenos sanitarios como potencial para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento o quema de biogás donde se aprovecharía y aportaría un estimado de 31 millones de Toneladas de CO₂ al año y entre estos rellenos se menciona el gran potencial de relleno de Tijuana (Luevano, 2017).

Históricamente, según datos del H. Ayuntamiento de Tijuana (2017) este proyecto se registró en el MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) dentro del programa de las “Naciones Unidas para el Cambio Climático” con fecha del 24 de mayo del 2013 (Luevano, 2017). Esta compañía presentó su proyecto ante el municipio y lo dividió en dos fases: La primera que consiste en la construcción y el sistema de captura del biogás por una serie de pozos de extracción interconectados por varias tuberías verticales y horizontales según la necesidad de conducir correctamente el biogás, aunque no se especifica el número de pozos y sus características al detalle en cuanto a medidas y costos (Luevano, 2017).

En la segunda fase consiste en la captación del biogás y la posterior incineración para proveer energía a un generador eléctrico comprometiéndose mediante esta incineración a producir 30,169 Mega watts por año (Luevano, 2017).

Con esta información y los antecedentes mencionados se pretende utilizar el software RETScreen®, creado por el gobierno de Canadá que sirve para identificar de forma exhaustiva, evaluar y optimizar de manera eficiente un proyecto y determinar su viabilidad financiera y técnica.

2.10.1 Descripción del área del relleno sanitario y características.

En la descripción del área geográfica que se va a utilizar para el reciclado y creación de biogás para generar electricidad, se toma en cuenta la aplicación de ubicación, para su localización

geográfica y para determinar su área total. El área que se pretende realizar el proyecto según el registro catastral FV 524-874, que indica una superficie de 100,000 hectáreas en la fracción R del polígono denominado Sta. Alicia. Sus colindancias son al norte con 1,108.140 metros. Con el predio denominado “El portezuelo”. A estos 916.221 metros con el predio Sta. Alicia Norte (Luevano, 2017). En esta área se llevará dentro del relleno sanitario que actualmente opera a cielo abierto y construir dentro de esta una planta de reciclado de residuos y generación de biogás.

El proceso de generación de biogás se realizará mediante una fermentación anaeróbica, pero con condiciones controladas donde se descomponen los desechos orgánicos por una bacteria en un ambiente libre de oxígeno generando un gas metano que se usará para generación de electricidad o combustible (Carrera, 2011). Como conclusión, entre los beneficios de este proyecto se mencionan: impacto ambiental, generación de empleos indirectos y directos, generación de electricidad, entre otros.

Capítulo III. Metodología:

3.1 Selección de la Metodología.

La metodología utilizada de acuerdo con Baca, (2010) para el cálculo de factibilidad económico-técnico y ambiental es cuantitativa causal o predictiva, ya que, de acuerdo con Hernández, (2010) en los análisis cuantitativos podemos usar modelos estadísticos que simulen la realidad, mismos que servirán para que se interpreten los resultados según el contexto en donde se desarrolle el estudio.

Los estudios predictivos se pueden definir como aquellos que pronostican, estudian comportamientos controlando intervenciones y analizando resultados en diferentes condiciones, con el fin de establecer efectos predecibles que ofrecen elementos para el establecimiento de normas y controles. En el análisis de datos cuantitativos se pueden analizar los datos con diferentes softwares que simulen ciertos modelos estadísticos, que se apeguen a la realidad, para después poder interpretar los resultados previos a un análisis Hernández, (2014). Este método es utilizado por los investigadores para sacar conclusiones sobre la ecuación causa-efecto entre dos o más variables y una variable depende de la otra variable independiente.

El método Montecarlo es una clase de simulación usado para el análisis de riesgo de un proyecto el cual es un apoyo para la toma de decisiones, donde las distribuciones de probabilidad describen ciertos elementos económicos según Baca, (2010). Con este método se utilizan las distribuciones y estas pueden ser empíricas o teóricas, para generar resultados aleatorios, que se combinan con los resultados-técnico y económicos de un estudio de factibilidad para tomar decisiones de un proyecto. Mientras más simulaciones se realicen, los resultados son más exactos Baca, (2010).

Para mostrar las variables utilizadas para medir los objetivos se utilizó el Diagrama de Ishikawa o causa-efecto, que es una herramienta usada mediante el criterio de causalidad, con el que puedes obtener una visión sencilla y concentrada del análisis de causas que contribuyen a una situación compleja (Fundibeq.org, 2023). Para identificar las variables en esta metodología, se utilizan los diagramas de Ishikawa. El creador de este diagrama fue Kaoru Ishikawa en 1943, y lo utilizó en entornos industriales para verificar la dispersión en la calidad de los productos y procesos.

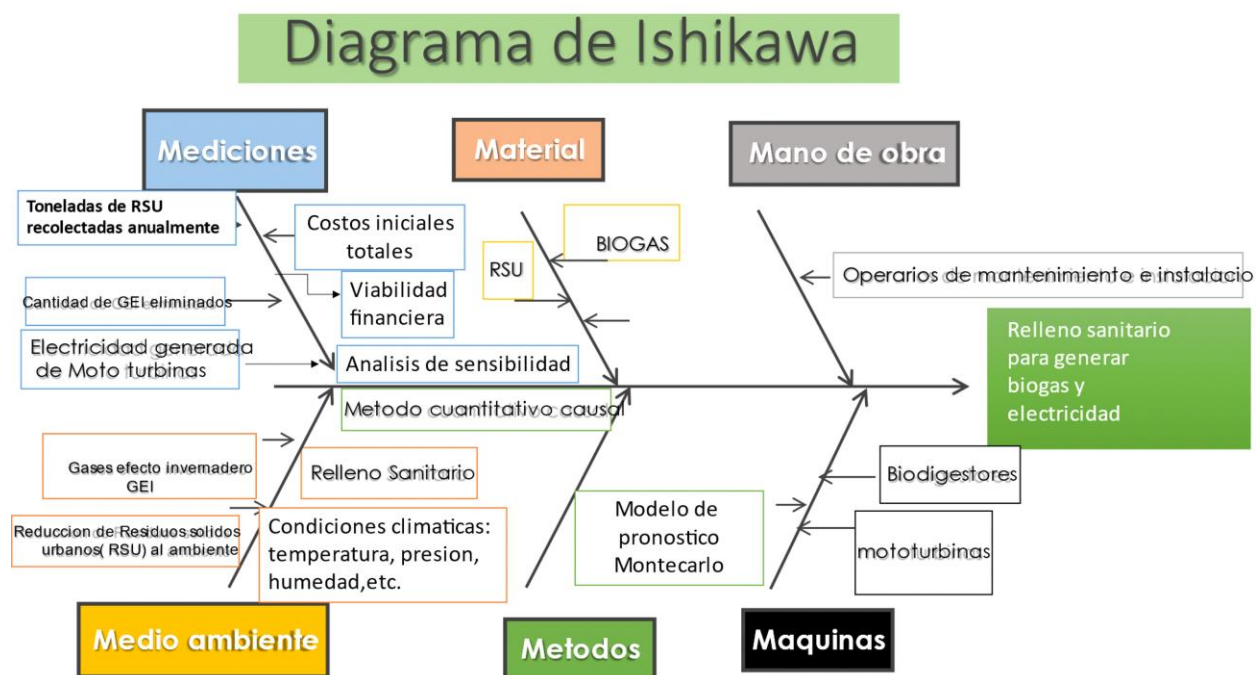
Esta herramienta tiene múltiples beneficios ya que permite identificar y analizar cuáles son las variables causales dentro de un proceso o la ocurrencia de un fenómeno o efecto que interactúan entre sí. Las ventajas principales que tiene al hacer uso de esta herramienta son: Capacidad de separar la causa del efecto, para apoyo en estudio de causas no estructurado, en la búsqueda efectiva de causas o variables, punto de partida para el uso de herramientas básicas, ayuda a identificar el nivel de comprensión del problema por parte del equipo y por último nos ayuda en la toma de decisiones (Basil, 2021).

El diagrama de Ishikawa contiene seis diferentes divisiones que son: Método, Maquinaria, Mano de obra, Materiales, Medición y Medio ambiente apoyándonos con la técnica de los 5 por qué, podemos encontrar las diferentes variables y acomodarlas en su respectiva división. Esta herramienta también es utilizada para la gestión de procesos de negocios (Sydle, 2022).

Esto se consideró para tener una perspectiva completa sobre el problema a solucionar y ver la relación e impacto de la operación del relleno sanitario con los ODS, que para este proyecto se consideraron los ODS 7, energías limpias; objetivo 11, comunidades y ciudades sustentables; objetivo 13, cambio climático. En la figura 6, se muestra el Diagrama de Ishikawa, como herramienta para apoyo en el conocimiento de las causas que afectan al impacto ambiental y su relación con el proyecto.

Figura 6

Diagrama de Ishikawa de los criterios económicos, técnico y ambientales del anteproyecto del relleno sanitario para generación de biogás y electricidad.



Nota: Elaboración propia, a partir de los criterios y variables analizadas para evaluar la factibilidad del proyecto.

Para la simulación y determinación de pronósticos para determinar la factibilidad económica, técnico y ambientales del anteproyecto del relleno sanitario se utilizó el Software RETScreen expert®. versión Académica 2022.

3.2 Metodología para adquirir y realizar los cálculos para la operación del relleno sanitario, utilizando Software RETScreen expert®.

El software está dividido en 4 segmentos para trabajar en cualquier caso de estudio en el mundo, y para realizar el análisis completo consta de:

1. Benchmark o analizador de energía virtual que está dividido en dos:

- Localización: Se introducen los datos de las coordenadas geográficas del lugar como latitud, altitud, etc.
- Instalaciones.

2. Smart Project Identifier o identificador de proyecto inteligente.

- Energía
- Costo
- Emisión

3. Evaluación de riesgos financieros:

- Finanzas
- Riesgos

4. Rendimientos positivos o negativos de evaluación en el proyecto:

- Datos
- Análisis
- Reporte final, que se anexará en resultados (Gobierno de Canadá, 2022)

Para la determinación de datos climatológicos, el software requiere que se alimente con los datos de geolocalización del proyecto y a partir de ello, selecciona mediciones existentes en una base de datos de la NASA, después de seleccionar la ubicación más cercana con características similares a la geolocalización del relleno actual, para este proyecto la ubicación actual se relaciona con el aeropuerto de Tijuana y su clima, ya que es el punto más cercano de ubicación en el relleno sanitario de Valle de las Palmas. Se llenan los datos pedidos en cada una de las divisiones del

reporte, hasta terminar en rendimientos positivos. Después se genera el reporte correspondiente del proyecto en formato Word (Gobierno de Canadá, 2022).

3.3 Datos de entrada:

Descripción geográfica:

En la descripción geográfica se tomaron los datos de la ubicación del relleno sanitario por el anteproyecto del relleno sanitario.

Tabla 2

Datos de geolocalización del proyecto Relleno de las Palmas

Localización	Latitud	Longitud	Altitud o elevación
Valle de las palmas	32.4128351	-116.7429452	89 metros

Nota: Datos posición geográfica de Google Maps®

En la ubicación más cercana al relleno sanitario, se propone considerar los datos del punto de referencia del Aeropuerto Internacional de Tijuana, ya que se asemejan a la ubicación del relleno sanitario objeto de estudio.

Es importante capturar el tipo de proyecto que se manejará usando energías limpias y titularlo para relleno sanitario para generar biogás de RSU y energía eléctrica.

Se captura que el informe es para uso de educación y se dan los datos del relleno sanitario en cuanto a domicilio y código postal de la ubicación de este y el área que cubre, tal y como se muestran los datos de la tabla 2.

El siguiente paso es insertar los datos reunidos previamente del informe del relleno sanitario que se encuentran en la tabla 3. Se proporcionan los datos que necesita el software para hacer la simulación.

Tabla 3

Datos técnicos y económicos para generar el informe del proyecto de relleno sanitario para generar biogás y electricidad por software RET Screen Expert®.

Datos:	Cantidad	Unidades
TÉCNICOS:		
1. Área:	10'000,052,400	m ²
2. Producción anual de energía:	30,169	Mega Watts
3. Producción pronosticada de Biogás capturado año 2019:	3,300	m3/hora
4. Toneladas de CO2 capturadas anualmente que no se vierten a la atmósfera.	206,141	Toneladas
5. Cantidad de turbinas utilizadas para generación eléctrica:	2	Unidades
6. Crédito de reducción de GEI opcional, (si lo hubiere) por tonelada equivalente de CO2 (tCO2).	3 dólares americanos*	* El precio mínimo según el Banco Mundial deberá ser de 3 dólares (2018).
7. Marca propuesta	Daihatsu Diesel Company	
8. Costos de turbina aprox.	38,500	Dólares Canadienses/unidad

ECONOMICOS:

1. Porcentaje de inflación último año (2022).	8	%
2. Crecimiento demográfico Tijuana (INEGI, 2020).	25	%

2. Duración del proyecto	20	años
3. Tiempo de deuda proyectada	15	años
4. Rango de sensibilidad	25	<i>Nota: Variación porcentual máxima que se aplicará a todos los parámetros clave en tablas de resultados del análisis de sensibilidad.</i>
5. Cantidad de basura generado por día (DSPM, 2022).	2,000	Toneladas de basura/día

Nota: Elaboración propia

Capítulo IV. Análisis y Resultados:

4.1 Factibilidad Técnica

Para evaluar la factibilidad técnica de acuerdo con el modelo de Montecarlo, se identificó la ubicación geográfica, a partir de ello se proyectaron los comportamientos mensuales de los datos climatológicos como humedad, velocidad del viento y otros, además de seleccionar el equipo, costos de operación y mantenimiento.

Las condiciones de humedad presentes, radiación solar, vientos, temperatura del suelo del relleno sanitario en diferentes meses, grado de calentamiento, grado de enfriamiento y precipitación calculadas de enero a diciembre se proyectaron en base a datos esperados con proyecciones de la NASA.

En la figura 7, de acuerdo con el simulador, se toma como referencia los datos de ubicación del relleno sanitario con los datos de geolocalización del aeropuerto de Tijuana, siendo el punto de referencia para obtener todos los resultados de las variables climatológicas que infieren en el proyecto.

Partiendo del relleno sanitario actual ubicado en Valle de las Palmas en la latitud 32.41, longitud 116.74 con una altitud de 89 m, se pudo calcular que las proyecciones anuales, oscilarán como se muestra en la Figura 7, con los siguientes comportamientos: Temperatura del aire que será de 17.2 °C, la humedad relativa del suelo oscilará en promedio en 73.1 %, la precipitación esperada será de 158.96 mm, la radiación solar se encontrará en promedio en un rango de 5.24 KW/m²/d, la presión atmosférica oscilará en 96.6 kPa, la velocidad del viento oscilará en promedio de 2.5 m/s,

la temperatura del suelo se encontrará en promedio en 21.5 °C, el grado de calentamiento se espera por arriba de 18°C en el suelo dando un total de 644 °C por día que se acumulan anualmente.

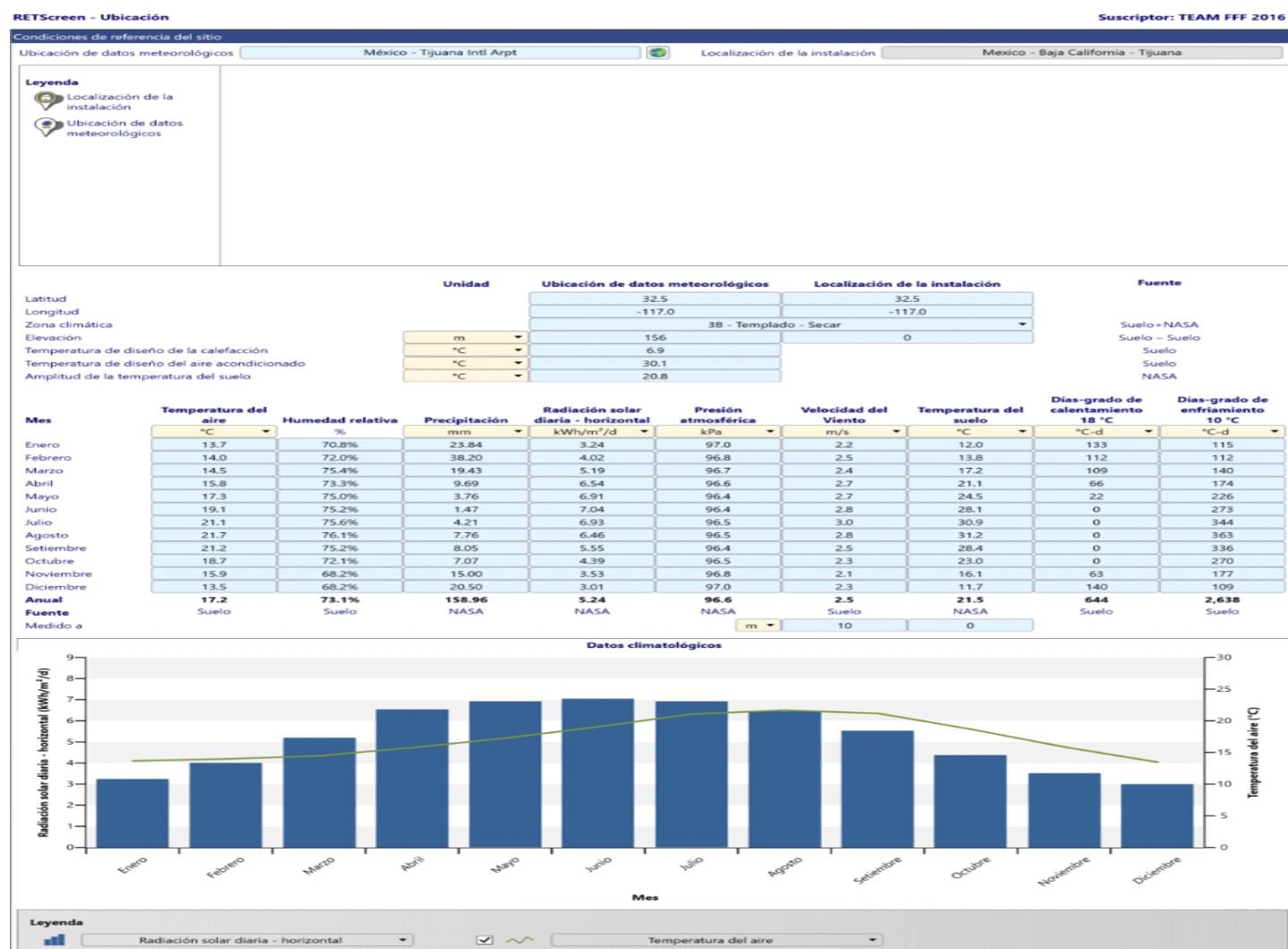
Se calcula días grados de enfriamiento mayor a 10°C y 2,638°C por día mensuales, que representan el número de grados Celsius que la temperatura media está por encima o por debajo de una base dada. Se puede observar que los meses más calientes con respecto a la temperatura en el suelo corresponden a julio con 30.9°C y agosto con 31.2°C.

Los resultados climatológicos dan una proyección de precipitación promedio anual esperada de 158.96 mm, en la que se observa las mayores precipitaciones en los meses de: Noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. Cabe mencionar que de acuerdo con Bonilla (2007), cuando la descarga de lixiviados llega a 200 mm anuales se marca como óptima para la generación de biogás.

En cuanto a clima se cuenta un promedio de temperatura aire 17.2 °C y temperatura de suelo con 21.5 °C mostrado en la figura 7, lo cual resulta ser muy favorable ya que se encuentra en el rango de 15 a 30 °C en el aire que es muy apropiado para una digestión óptima de las bacterias para producir biogás generado de RSU (Bonilla, 2007).

Figura 7

Ubicación Geográfica y Datos Climatológicos



Nota: Los cálculos y proyecciones con RET screen expert®, y con proyecciones de la NASA, considerando valores de referencia del Aeropuerto de Tijuana.

Tal y como se observa en la Figura 8, a partir de los datos de ubicación geográfica y proyecciones climatológicas, se procedió a modelar el sistema de generación de energía eléctrica por generación de biogás que puede ser generada con RSU.

En los resultados del modelo de energía por biogás, el costo de generación de combustible por desechos sólidos RSU da cero, ya que proviene de los RSU extraídos del mismo relleno sanitario. El modelo simulado cuenta con una capacidad de 12.94 Mega Watts de producción generada por 2 moto turbinas, con una producción de 108,140 Mega Watts/hora con una disponibilidad de 95.4%. Se recomienda presupuestar un equipo de generación nuevo con alta eficiencia. Un nuevo sistema de energía oscila entre los valores de disponibilidad de 91.3% y 95.9% por año.

La selección de moto turbinas en base a la cantidad de combustible generado, de acuerdo con las 4.5 toneladas generadas de RSU, son óptimas para alimentar los generadores de la marca Daihatsu Diesel del modelo 16 DK-32 B, que son ideales para la cantidad de toneladas producidas de biogás.

Se pronostica el cálculo de generación de biogás de 3,300 m³/hora de los RSU, que ayudan en el proceso de producción de energía eléctrica con el suministro de este combustible a dos motos turbinas para producir 30,169 Mega Watts de energía eléctrica anualmente. Durante una vida útil que puede explotarse por un periodo de hasta 20 años para este relleno sanitario (Luevano, 2017). Es importante mencionar la capacidad resultante de la simulación del proyecto, ya que cada moto turbina tendrá una potencia de 4.2 Mega Watts, con la capacidad anual de 30,169 Mega Watts por las 2 máquinas.

Para los cálculos que fueron sustraídos de los diferentes catálogos de moto turbinas proporcionados por el simulador, se realizó una selección de acuerdo con el cálculo de la capacidad de generación eléctrica de 12.94 Mega Watts, y la cantidad de combustible requerido en Giga Joules / hora de 0.01.

En la imagen se indica una reducción de costos iniciales (marcado con flecha verde hacia abajo) dando un ahorro significativo en los recursos de 3,000 CAD, equivalente a 3,750 dólares americanos.

Figura 8

Modelo de energía eléctrica por biogás generado por RSU /Modelo de energía

Central de generación - Tecnologías múltiples - Generación eléctrica por biogás generado de RSU

Combustibles y horarios
Electricidad y combustibles

Tecnología
Electricidad
Motor a pistones

Resumen
¿Incluir sistema?
Combustibles

Motor a pistones

Descripción: Motor a pistones

Nota:

Método de selección de combustible

Un solo combustible
Múltiples combustibles
Múltiples combustibles - porcentaje mensual

Motor a pistones - Un solo combustible

Selección del combustible

Tipo de combustible: Desechos sólidos municipales - t

Precio del combustible: \$/t: 0

Motor a pistones

Capacidad de generación eléctrica: MW: 12.94

Disponibilidad: %: 95.4%

Fabricante: Daihatsu Diesel

Modelo: 16DK-32B

Número de unidades: 2

Rendimiento calórico: kJ/kWh: 0.9

Combustible requerido: GJ/h: 0.01

Costos iniciales: \$/kW: 3,000

Costo de O y M (ahorros): \$/kW-año: 141

Consumo de combustible: t: 5.4

Costo del combustible: \$: 0

Tarifa de exportación de electricidad: \$/MWh: 0.10

Electricidad exportada a la red: MWh: 108,140

Ingresos por exportación de electricidad: \$: 10,814,010

Nota: Los cálculos y proyecciones fueron calculados con RETScreen expert®. Los costos están en dólares canadienses con el tipo de cambio 1.25: 1 dólar americano.

En la tabla 4, se observan los datos técnicos de la moto turbina seleccionada para realizar los cálculos de costos de inversión y ahorros del proyecto que incluyen la marca, modelo, la

producción de energía en Mega Watts por unidad, el tipo de combustible a emplearse, la velocidad de rotación en RPM (Revoluciones por Minuto) y su eficiencia.

Tabla 4

Datos técnicos de la moto turbina escogida para la simulación.

Datos Técnicos:	Características
Marca:	Daihatsu Diesel Company (2023)
Modelo:	16 DK-32B
Producción energía:	6.47 Mega Watts por unidad.
Combustible	RSU
Velocidad Rotación:	750 RPM
Eficiencia	90%

Nota. Propuesta del catálogo de la marca Anglo Belgian Corporation®. 2023

Con estos resultados se observa que el proyecto tiene una factibilidad técnica y que puede realizarse para lograr la producción de energía eléctrica proveniente de los RSU.

4.2 Factibilidad Ambiental

Para la medición de generación de biogás como combustible se considera un costo cero, dado que la recolección de RSU es parte de los costos absorbidos por el acopio actual de estos por el municipio, mismo que se contrasta con el uso de derivado de petróleo para producción energética que implica costos elevados. La simulación del software realizó la comparación y medición del combustible fósil con la cantidad de GEI (tCO₂) que se generan y envían a la atmósfera, y el uso de biogás que indica la disminución de tCO₂ con el uso de RSU. En la tabla 5, se muestran las proyecciones, relacionando las toneladas de RSU recolectados en el año 2022, y su relación con las emisiones generadas a partir de los análisis de emisiones.

Al analizar la cantidad de emisiones que no van a la atmósfera como GEI de 81, 998.3 TCO₂ equivalente a 15,018 autos y camiones que están circulando; se podrá generar un ingreso por bono verde o bono de emisiones de carbono, tal como se muestra en la tabla 5. Es importante notar que en todo ciclo de producción eléctrica existen pérdidas, por el tratamiento y distribución de energía eléctrica cuyo resultado fue del 7%. Estas pérdidas pueden ser obtenidas mediante el proceso de generación eléctrica y son inevitables en cualquier sistema eléctrico, pudiéndose perder mediante el transporte de la electricidad generada o a través del consumo final no medido y no facturado.

El cálculo de factor de emisión es importante, ya que este nos sirve para cuantificar las reducciones de GEI asociadas con proyectos que entreguen o reduzcan al sistema interconectado nacional (red CFE).

Este factor resulta del promedio ponderado de emisiones, al cual se le conoce también como margen combinado (MC). El factor de emisiones GEI es el coeficiente que relaciona los datos de actividad con la cantidad del compuesto químico que constituye la fuente de las últimas emisiones

(Gutiérrez, 2018). Para este proyecto el cálculo del factor resultó ser bajo, ya que es de 0.758 toneladas de CO₂ GEI/ Mega Watt-hora, este factor depende del tipo de combustible utilizado.

Tabla 5

Resultados del análisis de emisiones

DATOS	Cantidades
1. Factor emisiones GEI tCO ₂ /MWh Excluyendo tratamiento y distribución:	0.758
2. Electricidad exportada a la red MW/h	108,140 MW/h
3. Perdidas por tratamiento y distribución	7%
4. Emisiones de GEI reducidas anualmente, (toneladas CO ₂)	81,998.3
5. Comparación de reducción de emisiones de petróleo vs. Combustible RSU	93%

En la figura 9 se presentan los cálculos del análisis de emisiones del sistema de generación tomando en cuenta el país, (México), el tipo de combustible a utilizar en el generador (biogás) haciendo un comparativo con el uso de derivado de petróleo para producción energética.

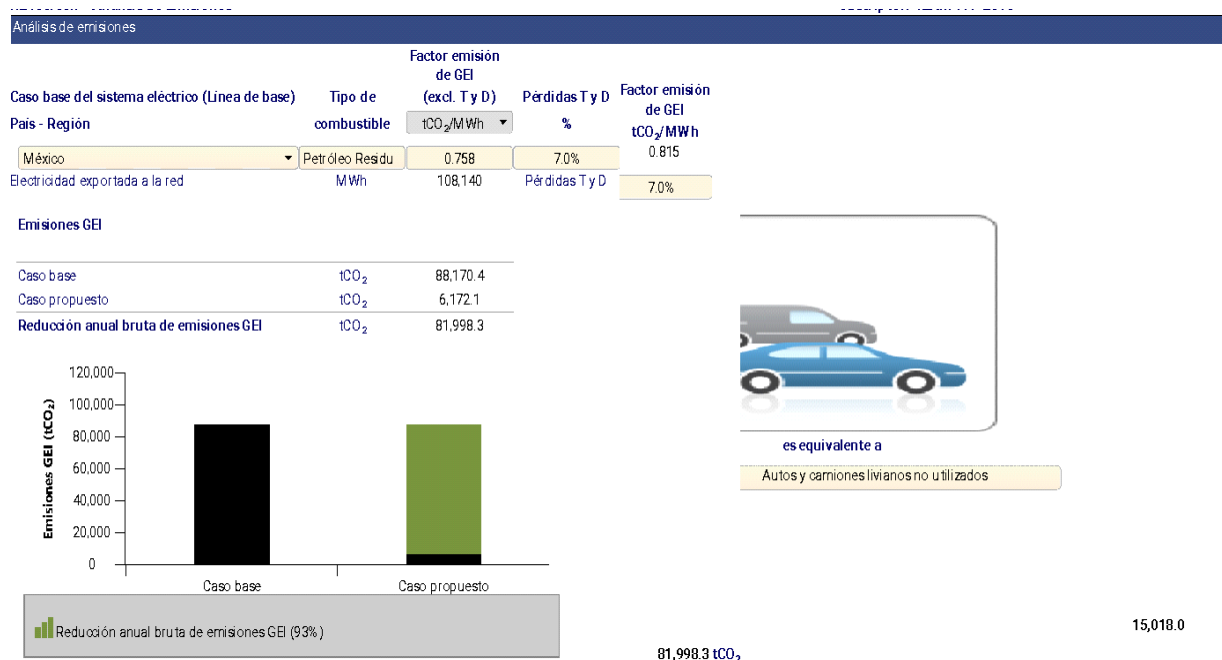
En la columna nombrada caso base (combustible fósil o derivado del petróleo) en la que se muestra la cantidad de GEI (tCO₂) que se generan y envían a la atmósfera de 88, 170.4 tCO₂, comparado con la columna del caso propuesto (Biogás) que indica la disminución de tCO₂ con el uso de RSU (residuos sólidos urbanos) a 6,172.1 de tCO₂.

Esta comparación equivale a la producción de CO₂ que generarían 15,018 autos y camiones que circulan en la ciudad contaminando el ambiente, teniendo una reducción anual bruta de 93% y el valor en el mercado con esta disminución de GEI como base de cada emisión una tasa de crédito de 3.75 CAD (dólares canadienses), pronosticándose ingresos anuales aproximados de 8 '978, 814

CAD por bonos verdes. Este apoyo es dado por ser un proyecto de energías limpias y que favorece al medio ambiente.

Figura 9

Análisis de emisiones



En conclusión, con los resultados comparativos de la generación eléctrica con biogás se considera un proyecto factible ambientalmente ya que da un beneficio de reducción de GEI muy alta comparados con las plantas de generación eléctrica alimentados con los combustibles derivados del petróleo, ya que no llegan a contaminar el ambiente en la misma proporción. Con este se genera un impacto ambiental y económico en la región de forma favorable por ser un proyecto que recibe apoyos gubernamentales por la generación de energías limpias.

4.3 Factibilidad Económica

Para determinar la factibilidad económica del relleno sanitario, los criterios o variables a evaluar son: Costos iniciales totales, ahorros e ingresos anuales, viabilidad financiera y análisis de sensibilidad.

En la tabla 6 se muestran los cálculos, con respecto a la factibilidad económica, considerando los parámetros financieros mencionados en la tabla 2 presentada anteriormente, que fueron agregados para la realización de la simulación de factibilidad económica. En seguida se presentan las proyecciones calculadas por parte del software para este proyecto. Con el que se invertirá por costos iniciales y de operación de 38'820,000 CAD, que incluye los costos de maquinaria, equipo e instalación, así como la operación de la planta generadora de energía. Con este costo proyectando un crédito a 15 años. En la tabla, el cálculo de viabilidad financiera del proyecto otorgada que dependerá de las condiciones establecidas de acuerdo con el Banco de México y el Banco Mundial debido al otorgamiento de los bonos verdes, por la reducción de GEI en toneladas de CO₂. En el cálculo logrando un ingreso por reducción de 8'978,814 CAD restando los pagos de deudas anuales por los créditos adquiridos a 15 años por el monto de 2'983,559.00 CAD.

Tabla 6

Resultados de Factibilidad Financiera

RESULTADOS	CANTIDAD CAD
Inversión inicial para instalación y operación	\$ 38'820,000.00
Pago de deudas anuales (15 años) por crédito para compra de máquinas generadoras y equipo.	\$2'983,559.00

Ingresos por reducción de CO2 (GEI) anual:	\$ 8'978,814.00
--	-----------------

Ingresos por exportación de electricidad	
--	--

anual:	\$10'814,010
--------	--------------

Análisis de sensibilidad:

Tiempo de vida del proyecto:	20 años
------------------------------	---------

Flujo efectivo acumulado:	450'000,000.00
---------------------------	----------------

Nota: Cálculos en moneda CAD, tipo cambio 13 pesos mexicanos: 1 dólar CAD

En la figura 10, los resultados de flujo de caja se muestra la factibilidad de la inversión para el modelo de gestión para la generación de electricidad mediante los residuos sólidos urbanos del relleno sanitario ya que nos da el resultado con una TIR del 68.7% y que puede ser recuperada los costos de instalación y operación en un periodo entre 1.7 a 2.2 años. El total de ingresos y ahorros anuales calculada fue de 19'792,824 CAD anualmente. Estos ingresos se retornarán como parte de la recuperación de la inversión inicial. Si se toma en cuenta que la tarifa eléctrica sube cada año los ingresos también aumentarán por este rubro.

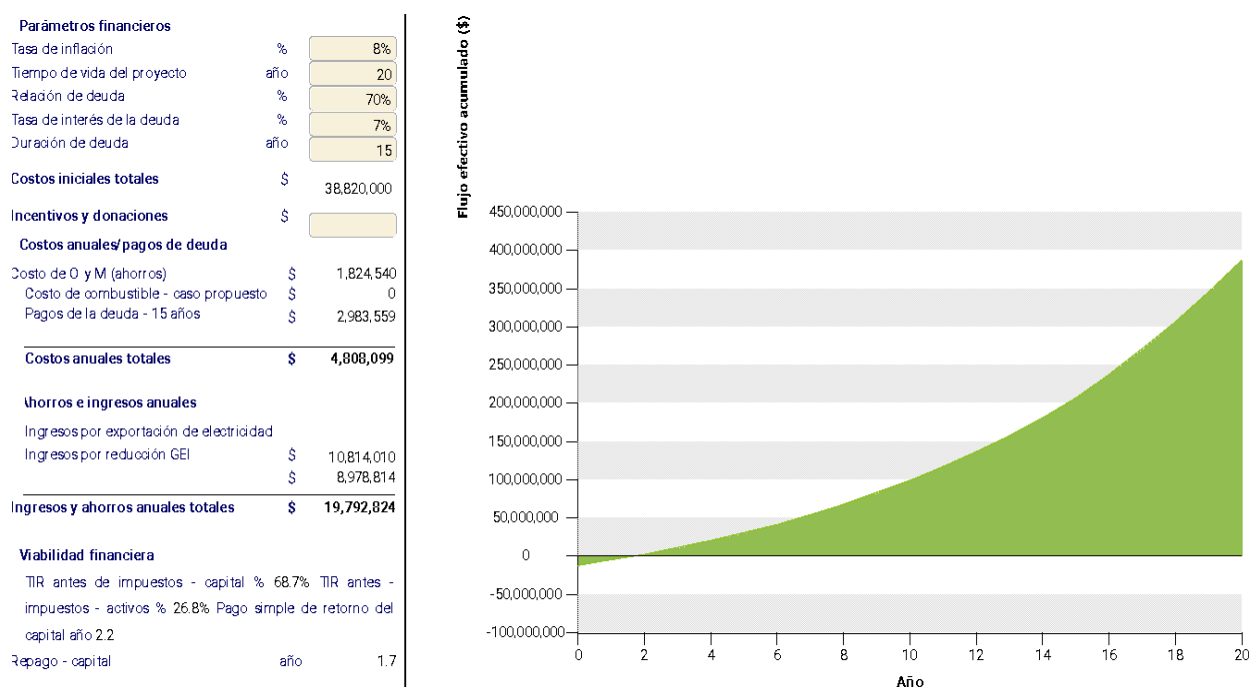
Se debe recordar que la inversión inicial incluye solo la adquisición de activos fijos y tangibles, diferidos o intangibles necesarios para empezar el proyecto con excepción del capital del trabajo. (Baca, 2010). Por lo tanto, en la simulación de este proyecto no está incluido. Pero es importante recalcar que en todo proyecto es importante realizar los cálculos de capital humano, por lo que se realizara el cálculo predictivo para tener resultados más precisos de los costos totales anuales.

Se calcularon, costos anuales/pago de deudas arrojando un total de \$4,808,099, CAD, pero se vuelve relevante, el incentivo que impacta en forma favorable los ahorros e ingresos anuales a los que se accede: ingresos por exportación de electricidad a la red de 10 '814,000 CAD. Además, se contará con los ingresos por GEI de 8 '978,814 CAD, que irán aumentando conforme se vayan

incrementando los precios de los bonos. Tal y como se muestran en la Figura 10. Los valores de flujo de caja

Figura 10

Viabilidad Financiera.



Se calcularon, costos anuales/pago de deudas arrojando un total de \$4,808,099, CAD, pero se vuelve relevante, el incentivo que impacta en forma favorable los ahorros e ingresos anuales a los

que se accede: ingresos por exportación de electricidad a la red de 10 '814,000 CAD. Además, se contará con los ingresos por GEI de 8 '978,814 CAD que irán aumentando conforme se vayan incrementando los precios de los bonos. Estos valores se muestran en la Figura 10.

Al calcular la TIR antes de impuestos-capital el porcentaje alcanzado es de 68.7%, esto indica que la tasa de retorno de inversión es mayor que cualquier retorno de inversión en el mercado de valores si se invirtiera este en bonos. Una TIR antes impuestos-activos es de 26.8%. Con un pago simple de retorno de capital de 2.2 años que significa que la cantidad de dinero invertida al inicio del proyecto se regresará al inversionista en ese periodo de tiempo. En el cálculo de repago a partir del año 1.7 significa que es el tiempo en que se paga el costo inicial del proyecto.

El análisis de sensibilidad y riesgo del proyecto se obtienen resultados positivos, aunque existan los riesgos debidos a inflación y créditos otorgados para el desarrollo del proyecto ya que se muestra en un umbral de 7 años, se lograría los beneficios económicos del proyecto.

4.4 Análisis de sensibilidad.

Para el análisis de sensibilidad se considera un repago de la deuda positiva con un incremento proyectado de 12.5%, la tarifa por ingresos de exportación de electricidad. Se puede ver la comparación de los datos con respecto a la tasa de interés de la deuda comparando con costos iniciales y de mantenimiento.

Se observa mediante la simulación de Montecarlo, cuáles son las variables del proyecto que pueden repercutir en su viabilidad financiera y su factibilidad del proyecto, tomando en cuenta la duración de la deuda con la tasa de interés desde 5.25% hasta 8.75% Cabe hacer mención que este software no genera los costos de mano de obra, por lo que fueron calculados manualmente, dando los siguientes resultados en la tabla 7.

Tabla 7

Costos de mano de obra propuesta para la operación del relleno sanitario para generar electricidad

Puesto	Salario mensual pesos mexicanos	Costo salario anual + 35% prestaciones/pesos mexicanos	Total, costos personales anual CAD
Ingeniero de planta	26,000.00	421,200.00	32,400.00
Ingeniero eléctrico	20,000.00	324,000.00	24,923.00
Ingeniero químico	20,000.00	324,000.00	24,923.00
Técnico turno matutino	16,000.00	259,200.00	19,938.462
Técnico turno Vespertino	16,000.00	259,200.00	19,938.462
Técnico Turno Nocturno (20% extra)	19,200.00	311,040.00	23,926.15
Operador Matutino	8,400.00	136,080.00	10,467.69
Operador Vespertino	8,400.00	136,080.00	10,467.69
Operador Nocturno (20% extra)	10,080.00	163,296.00	12,561.23
Total:		\$ 2,334,096.00	\$179,545.68 CAD

Nota: Cálculos en base a costos de sueldos mensuales en pesos mexicanos (Glassdoor.com, 2023).

Esto da un costo anual de 2'334,096.00 pesos en moneda mexicana al convertirla a dólares canadienses, con el tipo de cambio de 1 dólar canadiense: 13 pesos. Esta conversión da: 179,545.68 CAD, que se deberá sumar a: Los costos anuales y pagos de deuda de 4'808,099.00 CAD y se resta al total de ingresos y ahorros anuales es de 19'792,824 CAD que dan un resultado neto libres: 14'805,179.3 CAD de ingresos netos anuales, durante el primer año y conforme siga incrementándose los ingresos por los costos de la tarifa de CFE y los bonos por GEI en CAD.

Lo que indica con estos resultados que la inversión es factible, es un proyecto viable y que puede recuperarse la inversión en menos de 2 años y se paga en su totalidad el crédito en 15 años.

En la figura 11, se muestran los resultados con el nivel de riesgo del proyecto del 10%, con un mínimo de intervalo de confianza en el primer año, con una media o promedio a partir del año 1.7. que es el considerado como periodo de recuperación de la inversión del proyecto.

En figura 11, en los resultados de costos y análisis de repago, se calculó el reembolso del capital, que es el tiempo de recuperación de la inversión inicial por el propietario. Se muestran los resultados con el nivel de riesgo del proyecto del 10%, con un mínimo de intervalo de confianza en el primer año, con una media o promedio a partir del año 1.7. que es el considerado como periodo de reembolso del capital inicial. En la misma figura se ven los diferentes años y la relación de pago de la deuda y su porcentaje hasta llegar a los 15 años que es el año de liquidación total de esta y el rango de sensibilidad que se analizó fue el 25%, que con las variaciones sensibles correspondientes al margen más alto de sensibilidad para un proyecto.

En este análisis se observa los resultados de la relación de deuda y su porcentaje y la tasa de interés que se paga durante los años del crédito que se escogió de 15 años. Como observación, se solicita un crédito a 15 años, para obtener mayores rendimientos de inversión anuales, pero lo común en estos proyectos de energías limpias es la solicitud de un crédito por 10 años; esto es debido a que los periodos de acreditación de un proyecto son por 7 años y se debe renovar si cumple con los requisitos de acreditación.

El beneficio de este crédito, con el análisis de sensibilidad, es que si se compara este tipo de inversión con las ganancias en los Cetes de 12.09% al año, según el reporte anual generado del Banco de México en el 2022. Comparando con las ganancias anuales calculadas del proyecto se obtienes una TIR antes de impuesto- capital de 68.7%, que es el porcentaje de ingresos que se obtiene anualmente debido a la inversión del proyecto, con este resultado deducimos que es un proyecto empresarial rentable, ya que estas ganancias no se encuentran en el mercado.

Los costos de la deuda, y los costos iniciales durante 7 años, que es el umbral que se proyecta en el que se recibe ingresos por apoyos de gobierno, se considera que es una deuda pagable y que con respecto al interés y a la tasa de la deuda se considera que el proyecto cubre los pagos con los

mismos ingresos generados del proyecto, sin afectar los pagos de los costos de instalación y operación ya que se generan altos ingresos, como se puede observar en las figuras 11 y 12.

Figura 11

Análisis de Sensibilidad, para proyectos de energías renovables

Efectúe análisis sobre Repago - capital
Rango de sensibilidad 25%
Umbral 7 yr

Costos iniciales

Tarifa de exportación de electricidad		29,115,000	33,967,500	38,820,000	43,672,500	48,525,000
\$/MWh						
75.00	-25.0%	1.8	2.2	2.7	3.2	3.8
87.50	-12.5%	1.4	1.7	2.1	2.4	2.8
100.00	0.0%	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2
112.50	12.5%	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9
125.00	25.0%	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6

Costos iniciales

Operación y Mantenimiento		29,115,000	33,967,500	38,820,000	43,672,500	48,525,000
\$						
1,368,405	-25.0%	1.1	1.3	1.6	1.8	2.1
1,596,473	-12.5%	1.1	1.3	1.6	1.9	2.2
1,824,540	0.0%	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2
2,052,608	12.5%	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3
2,280,675	25.0%	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4

Tasa de interés de la deuda

Relación de deuda		5.25%	6.13%	7.00%	7.88%	8.75%
%						
53%	-25.0%	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4
61%	-12.5%	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1
70%	0.0%	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7
79%	12.5%	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3
88%	25.0%	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9

Tasa de interés de la deuda

Duración de deuda		5.25%	6.13%	7.00%	7.88%	8.75%
año						
11	-25.0%	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9
13	-12.5%	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8
15	0.0%	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7
17	12.5%	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7
19	25.0%	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7

En la figura 12, mediante el gráfico tipo tornado en la que las barras horizontales muestran el posible rango de variación de la relación de deuda que causa mayor impacto en el proyecto. Seguido de la variable de la tarifa de exportación de electricidad que es la principal generadora de ingresos. (Hernado, 2020)

La longitud de las barras significa los valores que puede tomar el VAN ante variaciones de la variable de riesgo asociados.

La mediana del indicador financiero es el percentil 50 de los valores generados, (la mitad de los valores) por la simulación Monte Carlo, dando como resultado el año 1.7.

La mediana normalmente estará cerca del valor del indicador financiero calculado en la hoja de cálculo de análisis financiero.

El costo de la financiación del proyecto se calcula sobre la base de una estimación de los servicios necesarios para garantizar tanto los compromisos de deuda como de capital. Como regla general, el costo de adquirir el financiamiento necesario para el proyecto se sugiere se aplique alrededor del 1,5% del costo total del proyecto (Gobierno de Canadá,2020).

Cuando se habla de un nivel de riesgo en un proyecto, el nivel de riesgo calculado fue de 10%. Este porcentaje da un nivel de riesgo bajo y por lo tanto es estable. El mínimo de intervalo de confianza de un año, marca que el 1er año de este proyecto es el año con más riesgo de inversión por los gastos de instalación y operación, y no se obtiene un retorno de inversión hasta el año 2.6, en el que el inversionista empieza a recibir ganancias por el proyecto.

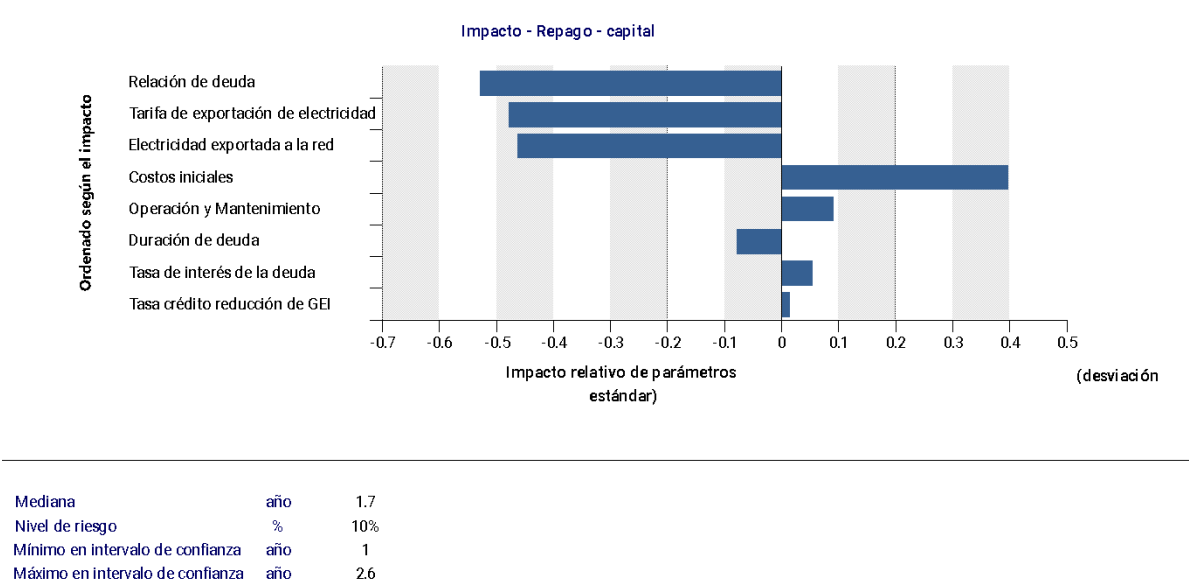
En la relación de impacto, repago, las franjas más largas son las que representan las variables con más riesgo que afectan el proyecto como es la relación de deuda y la tarifa de exportación de electricidad que puede sufrir cambios que afectan a la inversión. Les siguen en orden de importancia la electricidad exportada a la red y los costos iniciales.

Las variables con menor longitud que repercutieron en forma mínima en los cálculos del proyecto que se observaron en los resultados de la gráfica relación impacto-repago-capital son: Costos

iniciales, operación y mantenimiento, duración de la deuda, tasa de interés y tasa de crédito y reducción GEI.

Figura 12

Relación impacto-repago-capital.



Como conclusión se puede observar los resultados positivos generados en cuanto a factibilidad económica con rendimientos altos según lo demuestra el TIR que es el indicador clave de rentabilidad de un proyecto, el flujo acumulado positivo y a la alza durante los 20 años de periodo del estudio, el análisis de repago por crédito adquirido durante 15 años y el análisis de sensibilidad , junto con el de riesgo siendo del 10% que es un porcentaje positivo como proyecto de inversión, donde se aprecia los beneficios económicos en caso de realizarse el relleno sanitario. Se anexa enlace del informe de Retscreen expert®, para consulta del informe generado en anexo 1.

4.5 Impactos del proyecto relleno sanitario para alcanzar los objetivos de la ODS.

Conforme a la Figura 13, Mediante el diagrama de Ishikawa se representa los resultados obtenidos y medidos en relación con las variables que están involucradas al operar el proyecto del relleno sanitario, con dichos datos se buscara identificar la incidencia de estos resultados para determinar el impacto para cumplir con los ODS.

4.5.1 Objetivo 7, Energías Limpias:

En los resultados obtenidos se observa una reducción muy beneficiosa de RSU que es del 93% haciendo el análisis comparativo con un combustible proveniente de derivados del petróleo y gas.

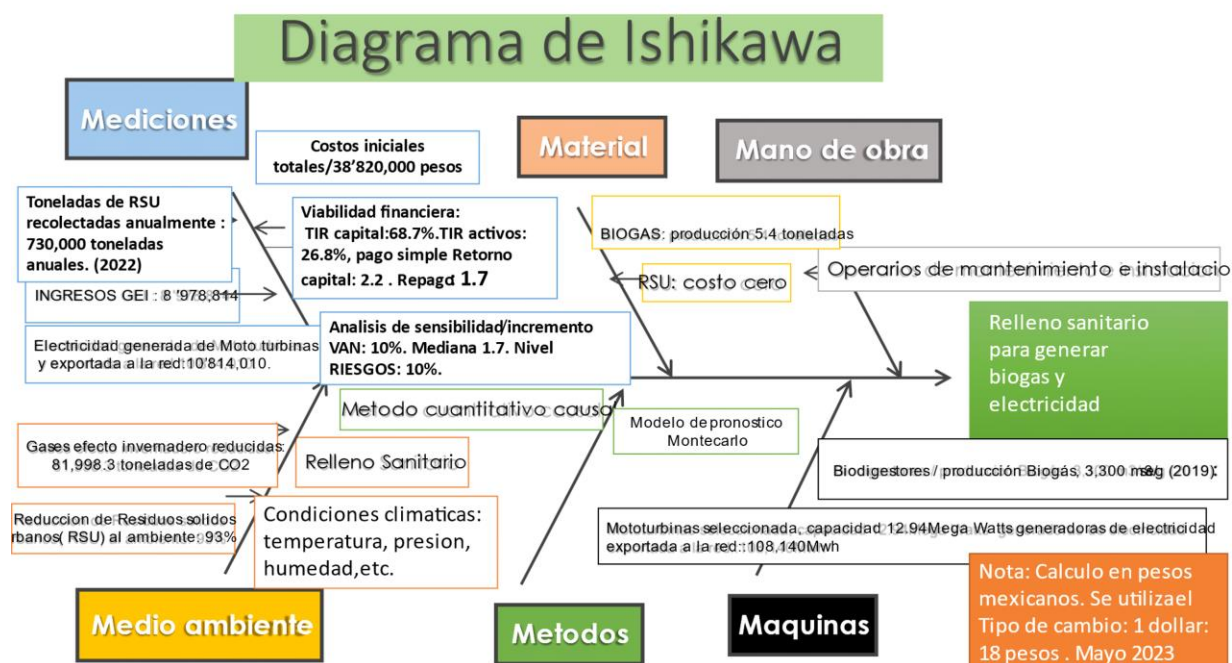
Además, que la energía eléctrica producida del combustible de biogás con un costo de cero pesos y enviada a la red da como resultado de 108,140 Mega Watt/hora.

Con la energía generada es posible abastecer la red eléctrica de varias colonias de Tijuana y disminuir los GEI que dañan la capa de ozono y provocan daños irreversibles al ambiente como el cambio climático. (Bonilla, 2007)

Esta producción de energía comparada con la energía derivada del petróleo que es de 88,170.4 toneladas de CO₂, a una disminución por la misma cantidad de energía producida y aprovechando los RSU generados de la ciudad de Tijuana de 6,127.1 de toneladas de CO₂.

Figura 13

Diagrama de Ishikawa con los resultados de los criterios seleccionados usando el software Retscreen expert®



4.5.2 Objetivo 11, Comunidades y Ciudades Sustentables:

En este objetivo se enfatiza la importancia del cálculo de la reducción de RSU y la disminución de los gases de efecto invernadero, reduciendo a 81,998.3 toneladas de CO2 EPA.gob (2023).

Con esta cifra y la generación de energía eléctrica por biogás, que es un combustible generado aprovechando las 730,000 toneladas anuales generadas en el municipio, Martínez (2015).

Una ciudad sustentable es aquella que reduce su impacto ambiental y promueve actividades de consumo sostenibles y acordes con sus propias condiciones territoriales, geográficas, económicas y sociales, Martínez (2015).

Con este proyecto se obtienen beneficios como generación de energía eléctrica derivado de energías limpias que puede abastecer a alumbrado público en Tijuana que necesita anualmente 45,272,272 kW h/año, según estudios de la Secretaria de Energía (SENER, 2016); y la generación de las moto turbinas que abastecen a la red eléctrica de CFE, de 108,140 Mega Watt/hora/anual; con lo que se asegura abastecer la red de alumbrado público del municipio de Tijuana y alrededores.

4.5.3 Objetivo 13, Cambio Climático.

Los resultados de 81,998.3 toneladas de CO₂ no entregadas a la atmosfera anualmente, es una disminución del 93% de estos GEI, comparado con la producción de energía por combustible de residuos fósiles, que da una apreciación del beneficio aportado a la región para disminuir los efectos del cambio climático.

Para hacer un ejemplo comparativo de lo equivalente a esta reducción y sus beneficios, es equivalente al consumo de 189,657 barriles de petróleo empleados para alimentar los automóviles y a la conservación de 544 acres de bosque de los E.U.A (EPA.gob, 2023).

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero emitido por las actividades humanas. En 2021, el CO₂ representó el 79% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero de los EE. UU. Causados por actividades humanas (EPA.gob, 2023).

Si bien las emisiones de CO₂ provienen de una variedad de fuentes naturales, las emisiones relacionadas con el hombre son responsables del aumento que se ha producido en la atmósfera desde la revolución industrial (EPA.gob, 2023).

Con la reducción de tonelada de CO₂, y con la producción de energía eléctrica, se producen 6,127.1 de toneladas de CO₂ que se liberan a la atmosfera anualmente, que ayuda a depender menos de la red CFE para alumbrado público y que equivalen a la conservación de 4.6 acres de bosques de los E.U.A. preservados de la conservación a tierras de cultivo en un año equivalente a 14,172 barriles de petróleo consumidos (EPA.gob, 2023).

Esta comparación de 189,657 barriles de petróleo produciendo la misma cantidad de energía eléctrica, que con el uso de RSU de 14,172 barriles; es una gran ventaja porque se está utilizando energías limpias.

Capítulo V. Conclusiones

El proyecto de la operación de un relleno sanitario para producir electricidad y lograr el cumplimiento de los ODS tiene factibilidad técnica, económica y ambiental. Con apoyo del modelo Montecarlo y usando como herramienta el software RETScreen Expert ® da una perspectiva más amplia con respecto al alcance de inversión y repago que es de 1.7 años aproximadamente. Esto permite al inversionista o dueño del proyecto, recuperar su inversión rápidamente y empezar a recibir beneficios económicos y rentables.

En los resultados se puede notar que los valores que se generan como inversión de este proyecto, un costo cero de combustible, se logra una reducción tangible en costos de operación ya que el combustible vendrá de RSU produciendo biogás y electricidad, así como una generación de energía eléctrica las 24 horas, los 365 días del año empleando un par de máquinas moto generadoras alcanzando una generación de 108,140 Mega Watts hora anuales.

De acuerdo con los pronósticos de esta inversión se reditúa en los primeros años alcanzándose la factibilidad financieramente y su impacto en la sustentabilidad, ya que disminuye el problema de GEI por producción de electricidad con derivados del petróleo; validándose así el objetivo general.

Gracias a este software de apoyo, proporcionado por el gobierno de Canadá, se lograron hacer mediciones confiables sobre proyectos relacionados con energías renovables, conociendo su factibilidad y recuperación financiera.

En los resultados obtenidos se analizó el costo de la deuda e intereses generados que son pagados durante 15 años, y se autofinancia la compra de esta moto turbinas y equipo incluyendo instalación y mantenimiento.

Para generación de electricidad; con el fin de que el inversionista o consultor, tenga un panorama económico, técnico y ambiental para tomar una decisión que ofrezca una rentabilidad a largo plazo y factibilidad del proyecto con el cálculo del VAN y el TIR de la simulación resultantes se calculó además los costos de capital humano que intervienen en el proyecto.

Además, la factibilidad se logra, dado que se tendrá un flujo constante por ingresos de reducción de GEI anuales del 93% y por la exportación de electricidad a la red de CFE ayudando a pagar los créditos, costos de instalación y operación lográndose tener ingresos constantes anuales y generar mayores rendimientos.

Se hace mención que el Banco Mundial para el logro de los ODS a nivel internacional, puede apoyar con fondos que permitan durante la instalación y operación del presente proyecto adquirir recursos de financiamiento, además de que México también genera bonos verdes por proyectos de este tipo.

Para este caso se observa que los flujos netos de efectivo son desiguales, dado que existe el repago de capital a partir del año 1.7 y se empieza a realizar el pago simple de retorno de capital en el año 2.2 generando un ingreso que paga los costos del proyecto y se tiene un porcentaje de TIR (Tasa Interna de Retorno) de 26.8% en activos.

En cuanto a la factibilidad técnica y ambiental se demostró que se puede llevar a cabo y que obtendremos grandes beneficios ambientales y energéticos a largo plazo que también ayudan a cumplir con los objetivos de los ODS citados, los cuales al cumplirse con estos proyectos se cumplirá con estos objetivos y se logrará tener a Tijuana como una ciudad sustentable, ecológica y cumplir con calificarse en la región como una de las ciudades a nivel nacional que apuesta a manejar RSU para generar electricidad. Estos proyectos y su realización generan una economía

circular que permite transitar de las energías fósiles a energías renovables y que son parte de los acuerdos internacionales suscritos por México para combatir el cambio climático (Cortinas, 2021).

Este proyecto es un ejemplo de proyectos de energías limpias que son manejados dentro del modelo de economía circular que tienen como objetivo el logro de un desarrollo sostenible en la región y el país, incluyendo beneficios como la mejora en la calidad ambiental, crecimiento económico y equidad social en beneficio de las actuales y futuras generaciones.

Por último, es importante mencionar el papel del profesional en administración, para el apoyo y el desarrollo de este tipo de proyectos ambientales; ya que estos tienen la responsabilidad social y ética junto con las organizaciones y empresas públicas o privadas en las que laboren, de proponer este tipo de inversiones sustentables; además de realizar estudios de factibilidad para la posterior aplicación de proyectos de energías verdes que ayuden a cumplir con los ODS de la ONU, para generar beneficios económicos y sustentables en la región.

Anexo I:

Informe de Gestión RetScreen expert® [..\Imágenes\RETScreen Expert - Informe de gestión energética - Hoja de Cálculo informe 18 abril tesis.pdf](#)

VI. Referencia Bibliográfica

Bibliografía

Baca, G. (2010). *Evaluacion de Proyectos*. Mexico: Mac Graw Hill.

Bonilla, L. (2007). *Relleno sanitario, generador de biogas, fuente de energia alterna*. Obtenido de IPN, tesis:
<https://www.bing.com/ck/a?!&&p=a7254191b1f6559eJmldHM9MTY4MzkzNjAwMCZpZ3VpZD0wN2ZlYmIxOC01OGNmLTJyY2YtMzBLOS1hODE3NTk4MzZkMzcmaW5zaWQ9NTE3NQ&ptn=3&hsh=3&fclid=07febb18-58cf-6ccf-30e9-a81759836d37&psq=tesis+relleno+sanitario+generador+de+biogas+y+fuentes+d>

Cruz et al; (2020). Metodología para la selección de un generador eléctrico de biogás para el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos. Obtenido de revistas.udistrital.edu.co:
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/17423/18678Barragán>

Escandón, E., Zalamea-León, E., Terrados Cepeda, J., & Vanegas Peralta, P. (19 de septiembre de 2020). Energy self-supply estimation in intermediate cities. ScienceDirect, 129. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109913>

Santos, G.; Campos, G. (2021). El uso del diagrama de Ishikawa para identificar las causas de contaminación en la línea de producción de matanza de ganado. *La Técnica: Revista De Las Agrociencias*. E-ISSN 2477-8982, 11(2), 102–107.
https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i26.3485

Cárdenas, P. (2021). Estimación del biogás generado en sitios de disposición final del estado de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 27-38. Obtenido de Redalyc.org: <https://doi.org/10.20937/RICA.53632>

- Cerda, E. (2016). Economía Circular. Economía circular, estrategia y competitividad empresarial, 11-20. Obtenido de <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>
- Chiavenato, I. (2006). Introducción a la teoría general de la administración. México, D.F.: Mac Graw Hill.
- Cortinas C. (01 de enero de 2021). Introducción a la economía circular en México. Ceiba. Obtenido de [ceiba.org.mx: https://www.ceiba.org.mx/publicaciones/cristina/cc2021introduccionecocir.pdf](https://www.ceiba.org.mx/publicaciones/cristina/cc2021introduccionecocir.pdf)
- Cruz M; Cáceres A., & Arias H. C. A. (30 de 01 de 2021). Methodology for the selection of an electric biogas generator for the use of Organic Solid Waste from vegetable sources. Vision Electronica, 15(1). <https://doi.org/10.14483/22484728.17423>
- DAIHATSU. (s/f). power for all. Obtenido de https://www.dhtd.co.jp/en/products/assets/catalog/pdf_company_en/book.pdf
- EPA.gob. (01 de abril de 2023). calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero. Obtenido de Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero#results>
- Fideicomiso de Riesgo compartido. (2010). Biogás, metano y su contenido energético en granjas porcícolas en Yucatán. Obtenido de [firco.gob.mx: http://www.firco.gob.mx/proyectos/provar/Documents/0_Lineamientos_Provar_2010.pdf](http://www.firco.gob.mx/proyectos/provar/Documents/0_Lineamientos_Provar_2010.pdf)

Foro de la Industria Nuclear Española. (04 de 05 de 2023). ¿Qué es la electricidad? Obtenido de Foro Nuclear: <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-electricidad/>

fundibeq.org. (04 de 05 de 2023). Diagrama de Ishikawa. Obtenido de Ingenieria.unam.mx: <https://www.ingenieria.unam.mx/javical/planeacion/Planeacion/pescado.pdf>

Gobierno de México. (6 de 12 de 2022). Medio Ambiente. Obtenido de Medio Ambiente: <https://www.gob.mx/inecc>

Ground-Source Heat Pump Project Model. (10 de 10 de 2022). RETScreen Software. Canadá. Obtenido de RETScreen_Engineering_e-textbook.pdf: https://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/mitigation/Module_5/Module_5_1/b_tools/RETScreen/Manuals/Ground_Source_Heat_Pumps.pdf

Grupo BMV. (s/f). BONOS VERDES. Obtenido de https://www.bmv.com.mx/docs-pub/MI_EMPRESA_EN_BOLSA/CTEN_MINGE/BONOS%20VERDES.PDF

Gutiérrez, J. (2018). Situación actual y escenarios para el desarrollo de biogás en México hacia 2024 y 2030. Rembio.org.mx, 22. Obtenido de <http://rembio.org.mx/newsite/wp-content/uploads/2020/11/Situacion-actual-y-escenarios-para-el-desarrollo-de-biocombustibles-solidos-en-Mexico.pdf>

INEGI. (2022). Censo nacional de gobiernos municipales y demarcaciones territoriales de la ciudad de México 2021, Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos. Obtenido de Red Nacional de Metadatos: <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/773>

Jeison, D. (14 de 02 de 2013). Biogás como combustible renovable no convencional. Obtenido de Universidad de Pablo de Olavide: <https://www.upo.es/portal/impe/web/contenido/9940206d-7138-11e2-a36e-3fe5a96f4a88>

Luevano F. (2017). Anteproyecto relleno sanitario Valle de las Palmas. Recuperado el 9 de 12 de 2017, de H. Ayuntamiento de Tijuana: <https://www.tijuana.gob.mx/dependencias/cabildo/pdf/sesion/2017/20-34.pdf>

Martínez, F. J. (2018). Modelo de Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos en Texcoco. Obtenido de colposdigital.colpos.mx: http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4189/1/Rojas_Martinez_FJ_MC_ISEI_Economia_2018.pdf

Martínez C. (2015). Los 17 objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible adoptada por la ONU. Obtenido de plataforma urbana.cl: <https://www.plataformaurbana.cl/archive/2015/09/28/los-17-objetivos-de-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible-adoptada-por-la-onu/>

Morales, A. & Morales J. (2009). Proyectos de inversión. Evaluación y formulación. México: McGraw Hill. Obtenido de https://www.cayso.com.mx/cursosenlinea/wp-content/uploads/2019/05/Proyectos-de-Inversi%C3%B3n-Arturo-Morales_compressed.pdf

Natural Resources Canadá. (2005). Análisis de proyectos de energía limpia. En N. U. Natural Resources Canada, Clean Energy Project Analysis (pág. 456). Ottawa, Canadá: Retscreen®.

Propiedad Intelectual©Naciones Unidas (2023). Los Objetivos de desarrollo sustentable 2030.

ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles. (s/f). Recuperado el 05 de 2023, de Un Pacto Mundial: <https://www.pactomundial.org/ods/11-ciudades-y-comunidades-sostenibles/>

Presidencia de la República de México. (2019). Plan nacional de desarrollo 2019-2024. Obtenido de AMLO: <https://lopezobrador.org.mx/wp-content/uploads/2019/05/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2019-2024.pdf>

Profepa Semarnat. (01 de diciembre de 2010). Residuos. Obtenido de Semarnat.gob.mx: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap7.html>

Real Academia Española. (2022). Real Academia Española. Recuperado el 01 de 01 de 2022, de Real Academia Española: <https://www.rae.es/drae2001/electricidad>

Repsol.com. (02 de 05 de 2023). ¿Qué es la energía eléctrica? Obtenido de Repsol.com: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/energia-electrica/index.cshtml>

Rodríguez, A. (1951). Motores de reacción y turbinas de gas (Vol. imprenta del Instituto Nacional). Madrid. Obtenido de upm.es: https://oa.upm.es/6515/1/Tarifa_29.pdf

Rojas, J. (5 de mayo de 2023). Unidad III Estudio de Factibilidad. Obtenido de dsc.itmorelia.edu.mx: http://dsc.itmorelia.edu.mx/~jcolivares/courses/dp07b/dp_u3.pdf

Romero, V. (2012). Desarrollo metodológico para el análisis de la viabilidad de un proyecto de micro generación.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista P. (2010). Metodologías cuantitativas, Metodología de la Investigación (págs. 270-282). México D.F.: Mac Graw Hill.

Sapiro, I. (2017). Planeación estratégica. Fundamentos y aplicaciones. México, DF: Mac Graw Hill.

Secretaría de Gobernación. (20 de 10 de 2004). Diario Oficial de la Federación. Obtenido de SEGOB:

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004#gsc.tab=0

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2022-2024. Obtenido de Diario oficial de la Federación:

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5673264&fecha=05/12/2022#gsc.tab=0

SEMARNAT. (2022). Guía de estudio de análisis de riesgo. Obtenido de Gobierno de México:

<https://www.gob.mx/semarnat/documentos/guias-de-impacto-ambiental>

Soluciones integrales de combustión. (2021). Biogás, ¿Energía Renovable del futuro? EBA-Soluciones integrales de combustión, 1-3.

Sydle, (2022). ¿Qué es el Diagrama de Ishikawa? Aprende más sobre el diagrama de causa y efecto y como aplicarlo.

Torres, A. (2021). Evaluación del potencial de aprovechamiento energético de biogás residual generado por el relleno sanitario complejo ambiental Chasinato de la EPM. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33774>

Ulloa, J. (2006). Los Rellenos sanitarios. Redalyc. Obtenido de La Granja. Revista de ciencias de la Vida: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047388001>

Uribe, R. (2007). Sistema de Gestión ambiental ISO 14001: Normas Técnicas. Redalyc. Obtenido de redalyc.org: <https://www.redalyc.org/pdf/206/20611457007.pdf>

Ynzunza Cortes, C. (2017). El entorno de la industria 4.0: Implicaciones y perspectivas futuras. Conciencia tecnológica, 1-23.

Propiedad Intelectual© Naciones Unidas. (2023). Objetivos de desarrollo sostenible. Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

SENER. (2016). Evaluación rápida del uso de la energía. Obtenido de www.gob.mx: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171272/30__Tijuana.pdf