



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ECONOMÍA

**MODELO DE GENERACIÓN DE
ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS
CAPTURADO DE RESIDUOS SÓLIDOS
EN LA ZONA DE TEXCOCO**

FRANCISCO JAVIER ROJAS MARTÍNEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

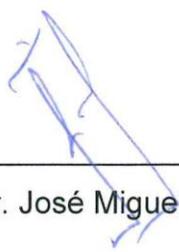
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe, **“Francisco Javier Rojas Martínez”**, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **“Dr. José Miguel Omaña Silvestre”**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **“MODELO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS CAPTURADO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA ZONA DE TEXCOCO”**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Texcoco. Edo. de Mex., a 25 de julio de 2018



Francisco Javier Rojas Martínez



Vo. Bo. del Dr. José Miguel Omaña Silvestre

La presente tesis titulada: **“MODELO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS CAPTURADO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA ZONA DE TEXCOCO”** realizada por el (la) alumno (a): **“Francisco Javier Rojas Martínez”** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA
ECONOMÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. JOSÉ MIGUEL OMAÑA SILVESTRE

ASESOR:



M. en C. JORGE PÉREZ MUNGUÍA

ASESOR:



M. en C. BARTOLOMÉ CRUZ GALINDO

ASESORA:



DRA. LOURDES GABRIELA HOYOS FERNÁNDEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2018

MODELO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS CAPTURADO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA ZONA DE TEXCOCO”

Francisco Javier Rojas Martínez, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

En la presente investigación se analizó la factibilidad y viabilidad de crear una planta biodigestora a partir de residuos sólidos urbanos (RSU) en el municipio de Texcoco, perteneciente al Estado de México, a partir de un modelo matemático que nos permite cuantificar el biogás generado de los residuos, y una evaluación para analizar la viabilidad económica.

Donde a partir del biogás obtenido se pueda transformar en energía eléctrica. Se basó en estudios de gabinete así como trabajo de campo; esta última, cuya finalidad tuvo la de recabar datos técnicos reales, realizados en el mes de mayo del 2018.

El municipio de Texcoco, hoy día tiene varios tiraderos a cielo abierto es por ello que este estudio es de gran importancia; disminución de focos de infección aledaños a la zona, mitigación significativa de emisiones de CO₂, CH₄, principalmente, mismos que contribuyen a los gases de efecto invernadero (GEI).

Existe muy poca investigación y poca divulgación de este tema en México. Los resultados indican que este modelo es factible social, ambiental y económicamente, cabe señalar que es un proyecto a largo plazo, en este caso se consideró a 15 años. El estudio tiene como finalidad poder brindar el conocimiento necesario para poder transmitir las bases necesarias en la decisión de apertura de una planta biodigestora y planta generadora de electricidad en el Estado de México e incluso en cualquier parte de la República.

Palabras clave: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), biogás, energías renovables, generación de energía eléctrica, plantas biodigestoras

MODEL OF ELECTRICITY GENERATION FROM BIOGAS CAPTURED FROM SOLID WASTE IN THE AREA OF TEXCOCO.

**Francisco Javier Rojas Martínez, M. en C.
College Postgraduate's, 2018**

ABSTRACT

In the present investigation the feasibility and viability of creating a biodigester plant from urban solid waste (RSU) in the municipality of Texcoco, belonging to the State of Mexico, was analyzed from a mathematical model that allows us to quantify the biogas generated from waste, and an evaluation to analyze the economic viability. Where from the obtained biogas can be transformed into electrical energy. It was based on cabinet studies as well as field work; the latter, whose purpose was to collect real technical data, made in the month of May 2018.

The municipality of Texcoco, today has several dumps open to the sky, which is why this study is of great importance; decrease in outbreaks of infection bordering the area, significant mitigation of emissions of CO₂, CH₄, mainly, which contribute to greenhouse gases (GHG).

There is very little research and little dissemination of this topic in Mexico. The results indicate that this model is feasible socially, environmentally and economically, it should be noted that it is a long-term project, in this case it was considered to be 15 years

The purpose of the study is to provide the necessary knowledge to be able to transmit the necessary bases in the decision to open a biodigester plant and electricity generating plant in the State of Mexico and even in any part of the Republic Mexican.

Keywords: Urban Solid Waste (RSU), biogas, renewable energies, electric power generation, biodigester plants

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México.

Al Colegio de Postgraduados (CP), quienes han financiado y contribuido en mi formación.

Al Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), quien a través del Doctor Eduardo Buen Rostro y el Dr. Jorge Pérez Munguía, por el esfuerzo, tiempo y paciencia que me han dedicado para la realización de este trabajo.

A los integrantes de mi Consejo Particular, por el apoyo que me han dedicado, y sobre toda la infinita paciencia hacia mí.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. ALCANCE Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4. JUSTIFICACIÓN	5
1.5. OBJETIVO GENERAL	6
1.6. HIPÓTESIS.....	6
1.7. METODOLOGÍA.....	6
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO	7
2.1. MODELO MEXICANO	7
2.1.1. ÍNDICE DE VALORACIÓN DE METANO (K).....	9
2.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS Y GENERACIÓN DE POTENCIAL DE METANO (L0)	10
2.1.3. FACTOR DE CORRECCIÓN DE METANO (MCF)	11
2.1.4. AJUSTES POR IMPACTO DE INCENDIOS.....	11

CAPITULO 3. SITUACIÓN ACTUAL EN EL USO DE BIOGÁS A PARTIR DE RSU PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL.....	16
3.1. PANORAMA ACTUAL DE PLANTAS BIODIGESTORAS EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL	16
3.1.1 PORCENTAJE DE ENERGÍA PROVENIENTE DE BIOMASA EN COMPARACIÓN CON OTRAS ENERGÍAS.....	16
3.2. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE PETRÓLEO ..	18
3.3 CRECIMIENTO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	22
3.4 ACCESO A ENERGÍA ELÉCTRICA A NIVEL MUNDIAL.....	24
3.5 RESIDUOS A NIVEL MÉXICO	24
3.5.1. SITUACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MÉXICO	25
3.6. CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES MUESTRAS DE RSU	27
3.7. DATOS A NIVEL NACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	29
3.8. MARCO REGULATORIO DE RSU EN MÉXICO	30
3.9. PLANTAS GENERADORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL USO DE BIOGÁS.....	30
3.9.1 RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO DE SALINAS VICTORIA, NUEVO LEÓN	30
3.9.2. RELLENO SANITARIO DE SAN NICOLÁS, AGUASCALIENTES.....	32
3.9.3. RELLENO SANITARIO DE CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.....	34
CAPITULO 4. CADENA DE VALOR EN LA PRODUCCIÓN DE CH4 A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS.....	36
4.1 PROCESO BIOLÓGICO	39
4.2 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO	41

4.2.1 MODELO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	41
4.3. EXTRACCIÓN DE BIOGAS	42
4.4. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL BIOGÁS MEDIANTE MOTOGENERADORES.....	43
4.4.1 LA ENERGÍA ELÉCTRICA NECESARIA EN UN HOGAR	44
4.4.2 FACTORES DE LOS QUE DEPENDE EL CONSUMO DE ELECTRICIDAD	44
4.4.3 ENERGÍA ELÉCTRICA NECESARIA EN UN HOGAR	45
4.4.4 POTENCIA CONTRATADA EN CFE SEGÚN LO REQUERIDO	45
4.5 PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	46
4.6 MANEJO DEL GAS Y GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	47
CAPITULO 5. MODELO DE NEGOCIO PARA LA GENERACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS CAPTURADO DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	49
5.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO	49
5.1.1 DIAGNÓSTICO	50
5.1.2 CANTIDAD DE BASURA EN EL MUNICIPIO DE TEXCOCO	51
5.1.3 RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE.....	53
5.2 BENEFICIOS PARA EL MUNICIPIO AL DESARROLLAR EL PROYECTO	53
5.3 CANTIDAD DE GAS METANO DE ACUERDO AL MODELO MEXICANO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE BIOGÁS	54
5.4 UBICACIÓN DEL TIRADERO A CIELO ABIERTO, EN SAN VICENTE CHICOLOAPAN.....	54
5.5. COSTOS.....	55
5.6 PLAN FINANCIERO.....	59

5.6.1 INVERSIÓN	59
5.6.2 COSTOS	60
5.6.3 DEPRECIACIÓN DE INVERSIÓN FIJA	61
5.6.4 INGRESOS Y EGRESOS DE LA EMPRESA	62
5.6.5 EVALUACIÓN FINANCIERA	63
5.6.6 ANÁLISIS DE RIESGO.....	65
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
LITERATURA CITADA.....	70
ANEXOS	73
ANEXO A	73
ANEXO B	77
ANEXO C	79
ANEXO D	82
ANEXO E.....	83
ANEXO F.....	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos estadísticos de la población nacional. (INEGI, Datos de población, 2015).....	4
Tabla 2. Valores del índice de generación de metano (k)	10
Tabla 3. Valores de la generación potencial de metano (L0) (Stege & Davila, 2009).....	11
Tabla 4. Factor de corrección de metano (MCF).....	11
Tabla 5. Cuantificación de biogás	12
Tabla 6. Datos requeridos como valores de entrada para la cuantificación de biogás.....	13
Tabla 7. Valores de entrada opcionales.	13
Tabla 8. Resultado del estimado de biogás.	14
Tabla 9. Producción total de biogás, en unidades de energía primaria (ktep), en la Unión Europea en 2006 – 2008 (elaborada a partir de Barometer on the state of renewable energies in Europe (Europe, 2009).....	17
Tabla 10. Comportamiento de la población a nivel mundial. (ONU, Prospectos de población mundial, 2015)	23
Tabla 11. Características de diferentes muestras de RSU del país	28
Tabla 12. Datos de residuos sólidos a nivel nacional. (INEGI, 2014).....	29
Tabla 13. Componentes del biogás.....	40
Tabla 14. Composición de los residuos por zona geográfica.	40
Tabla 15. Volumen de basura recolectada.....	52
Tabla 16. Número de habitantes en el municipio de Texcoco.....	53
Tabla 17. Cuantificación de biogás de acuerdo a modelo mexicano.....	54
Tabla 18. Necesidades de inversión	59
Tabla 19. Costos Fijos.....	60
Tabla 20. Costos variables.....	61
Tabla 21. Costos totales.....	61
Tabla 22. Depreciación de inversión fija.....	62

Tabla 23. Flujo de efectivo.	63
Tabla 24. Calculo de la TREMA:	63
Tabla 25. Flujos utilizados para calcular los indicadores de rentabilidad.	64
Tabla 26. Rentabilidad.	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Generación de residuos por región. (SEDESOL, Dirección general de equipamiento e infraestructura en Zonas Urbano-Marginales, 2012)	2
Figura 2. Composición de los Residuos sólidos urbanos en México, 2012. (SEDESOL, Dirección general de equipamiento e infraestructura en zonas urbano marginadas, 2013)	3
Figura 3. Gráfica de la población a nivel nacional. (INEGI, Datos de población, 2015)	4
Figura 4. Gráfica de generación de gas de Relleno Sanitario y curva de recolección. (EPA, 2015).....	14
Figura 5. Producción de electricidad a partir del petróleo (% del total)	18
Figura 6. Producción de electricidad a partir del petróleo (% del total) a nivel mundial	19
Figura 7. Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) a nivel mundial	19
Figura 8. Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) de Alemania	20
Figura 9. Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) en México.	21
Figura 10. Comportamiento de la población de forma gráfica. . (ONU, Prospectos de población mundial, 2015).....	23
Figura 11. Consumo de energía eléctrica (kW per cápita) a nivel mundial.	24
Figura 12. Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo; del papel, cartón y derivados del papel (miles de toneladas).....	26
Figura 13. Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo; del plástico (miles de toneladas).....	26
Figura 14. Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo; comida y material es orgánicos (miles de toneladas)	27
Figura 15. Visualización de poder calórico según el sitio. (IIE, 2008)	29

Figura 16. Fotografía del paquete de generación eléctrica de BENLESA.	32
Figura 17. Sistema de extracción y quemador de biogás. (Méndez, Junio 2009).....	32
Figura 18. Fotografía del área de tratamiento de biogás y generación eléctrica, San Nicolás, Aguascalientes.	33
Figura 19. Cabezal de captación de biogás en relleno sanitario.....	33
Figura 20. Fotografía de las instalaciones de Biogás de Juárez.....	34
Figura 21. Fotografía de los moto generadores con los que cuenta Eléctrica de Juárez.....	35
Figura 22. Descripción del proyecto de generación eléctrica con biogás. (Biogás, 2014).....	36
Figura 23. Diagrama de Flujo. Fuente propia en base a estudios de campo.	38
Figura 24. Proceso de biogás a energía eléctrica. Elaboración propia en base a estudios de campo.....	38
Figura 25. Modelo típico de generación de gas en rellenos sanitarios (CFE, 2012).....	41
Figura 26. Imagen donde se muestra de forma general las áreas de tratamiento de lixiviados, impermeabilización y manejo de biogás. (Biogás, 2014)	42
Figura 27. Esquema general de pozos verticales para la extracción de biogás. (Biogás, 2014)	42
Figura 28. Imagen donde se muestra la válvula del pozo de biogás. (Biogás, 2014).....	43
Figura 29. GE. Jenbacher Tipo 2 Motor a gas. Fuente: http://powergen.gepower.com/products/reciprocating-engines.....	44
Figura 30. Equipos principales de acondicionamiento del gas y de generación eléctrica. (CFE, 2012)	47
Figura 31. Mapa de localización de Texcoco. (García Bastian Victor. Director de Desarrollo Urbano y Ecología., 2003-2006).....	50

Figura 32. Volumen de basura recolectada anualmente en el municipio de Texcoco. Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada..... 52

Figura 33.Ubicación del Relleno Sanitario. San Vicente Chicoloapan. 54

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En el mundo, el problema de los desechos orgánicos se torna cada vez más crítico, pues son más las ciudades y campos que se ven afectados por el crecimiento incesante de residuos y cada vez más las afectaciones socio ambientales que provoca la acumulación de basura que se concentra en barrancas, lagos, ríos y montañas del planeta.

Lo primero que viene a la mente al hablar de residuos sólidos es una serie de malos olores e indeseables, de las que no quisiéramos saber. El término residuos sólidos es muy general, ya que engloba todos los elementos que son mezclados y desechados porque se les considera no útiles.

Hablando de los residuos que se generan en casa, lo que hacemos es entregarla a los encargados de “deshacerse” del problema y olvidarnos de él. Pero sabemos poco sobre la forma en que se transporta, separa, trata y recicla. A la mayoría de la población le preocupa todavía menos lo que representa en contaminación y daño al medio ambiente.

De acuerdo a datos recabados por INEGI (2015) se encuentra que la población total mexicana es de 119, 938,473 y de 8, 985,339 de personas en la Ciudad de México, mientras que el Estado de México tiene una población de 16,187, 608 personas (INEGI, Datos de población, 2015)

La ciudad de México y el Estado de México son los lugares más poblados de la república mexicana.

1.2. PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

La basura ha crecido a nivel mundial en magnitudes impresionantes.

Generación de Residuos por región, 2012.



Figura 1. Generación de residuos por región. (SEDESOL, Dirección general de equipamiento e infraestructura en Zonas Urbano-Marginales, 2012)

En 2012 la producción mundial de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se calculó en alrededor de 1 300 millones de toneladas diarias, y se estima que podría crecer hasta los 2 200 millones en el año 2025 (Hoornweg, 2012). La generación global de RSU muestra una disparidad regional en cuanto a su volumen, determinado, en general, por el desarrollo económico y la proporción de la población urbana. En el año 2010, cerca del 44% de los RSU producidos en el planeta correspondieron a los países con las economías más desarrolladas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2016).

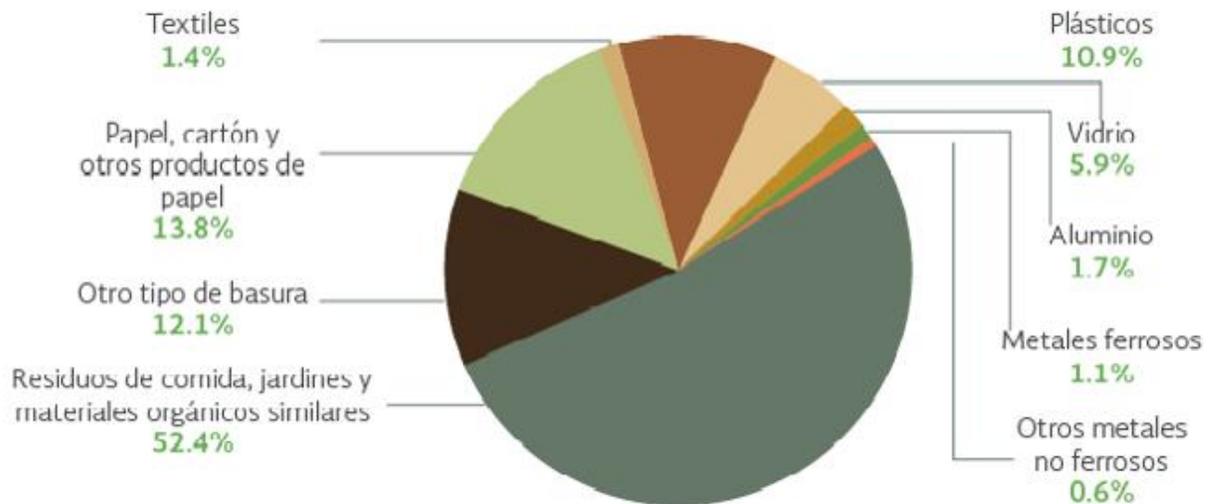


Figura 2. Composición de los Residuos sólidos urbanos en México, 2012. (SEDESOL, Dirección general de equipamiento e infraestructura en zonas urbano marginadas, 2013)

El problema es que hoy día se tiene una gran cantidad de residuos, mismos que no son atendidos, en la ciudad de México, aproximadamente de 13,000 toneladas por día, según fuentes (CONACYT, 2003), por lo que da 1.446 kg de RSU por persona al día.

El crecimiento demográfico que tenemos hoy día demanda mayores servicios, entre ellos la electricidad, es por esto que se tiene que hacer uso de los recursos (que hasta hoy día en la mayor parte de la republica son sólo desechos), con los que se cuentan y en este caso en particular son los RSU, mismos que servirán para la generación de energía eléctrica.

Tabla 1. Datos estadísticos de la población nacional. (INEGI, Datos de población, 2015)

Periodo	Número de personas
1921	14,334,780
1930	16,552,722
1940	19,653,552
1950	25,791,017
1960	34,923,129
1970	48,225,238
1980	66,846,833
1990	81,249,645
1995	91,158,290
2000	97,483,412
2005	103,263,388
2010	112,336,538
2015	119,938,473

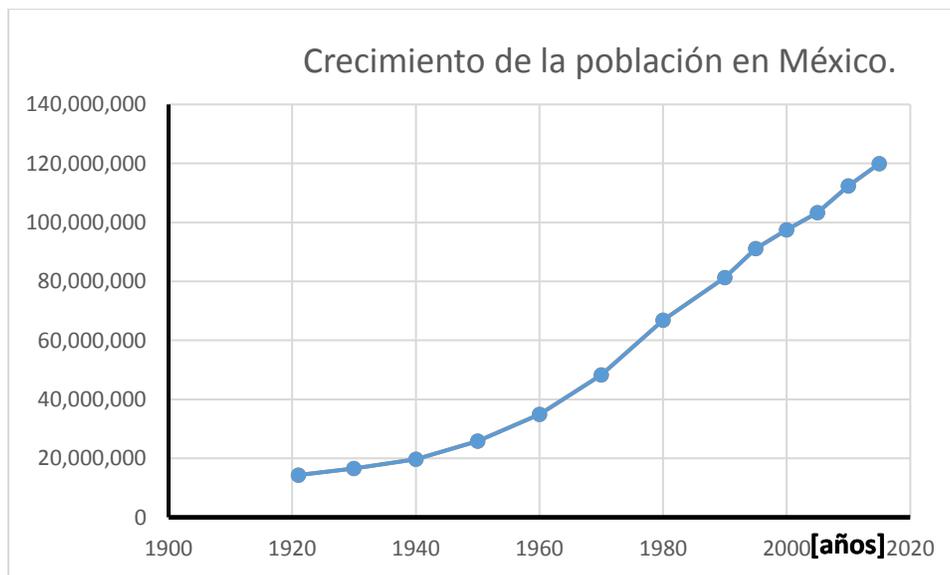


Figura 3. Gráfica de la población a nivel nacional. (INEGI, Datos de población, 2015)

Se observa una tasa de crecimiento aproximada de 7% del 2010 al 2015

Se tienen grandes producciones de residuos sólidos y en muchos de los casos no se cumple con los requerimientos para llevar a cabo un buen manejo en el tratamiento de los desechos, afectando considerablemente al medio ambiente pues existen altas emisiones de dióxido de carbono y metano, principalmente, al no

llevarse a cabo un manejo adecuado, por otra parte se tienen contaminaciones a los mantos freáticos aledaños al tiradero (contaminación ocasionada por los lixiviados).

Dado todo esto, el presente trabajo tiene como finalidad, analizar la factibilidad y rentabilidad en la generación de electricidad a partir de biogás capturado por residuos sólidos y aunado a ello beneficiarse de forma social y ambientalmente.

1.3. ALCANCE Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este tema de investigación se encuentra delimitado al municipio de Texcoco, Estado de México obteniendo como materia prima biomasa de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) pues esta servirá para la generación de biogás y posteriormente este servirá como combustible, para la generación de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se enfocará en estudiar la problemática de los RSU, que hoy día se tiene en el municipio de Texcoco, además de que como ya se sabe la creciente demográfica, demanda mejor utilización de los recursos naturales.

El visualizar si es rentable o no este proyecto podría ayudar en la toma de decisión en la construcción de una planta biodigestora de biogás, y planta de energía eléctrica, teniendo una fuente de abastecimiento a partir de residuos sólidos.

De salir rentable y viable el proyecto se tendrían además de beneficios económicos, nuevas inversiones, instalaciones y proyectos que crean más y mejores oportunidades de trabajo, también se tendrían beneficios ambientales; reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), reducción de la degradación ambiental como consecuencia de la disposición de residuos sin control, sociales; mejora en las condiciones sociales (alumbrado público, alumbrado a escuelas,

hospitales y zonas de bajos recursos), y mejores condiciones de salud; eliminación de grandes focos de infección consecuencia de los tiraderos a cielo abierto.

1.5. OBJETIVO GENERAL

Analizar la rentabilidad del contar con un biodigestor de residuos en el municipio de Texcoco, Estado de México, para generar electricidad a sus zonas aledañas, mediante la realización de un modelo de inversión.

1.6. HIPÓTESIS

A partir de biomasa residual, se pueda contar con una planta eléctrica altamente rentable, además de disminuir emisiones de gases causadas por el venteo de los RSU no controlados.

1.7. METODOLOGÍA

El presente trabajo consta de dos metodologías, una es para el cálculo de biogás generado a partir de residuos y la otra es para la viabilidad económica del proyecto. Los modelos matemáticos son herramientas útiles para la estimación del potencial de generación de gas del relleno sanitario en el sitio. Los resultados del modelo pueden también ser usados para evaluar los riesgos potenciales asociados a la migración/emisión del gas de rellenos sanitarios (GRS), y para evaluar la factibilidad del proyecto.

Hay numerosos modelos disponibles para calcular la producción de la generación de biogás. Estos modelos pueden ser usados para elaborar una curva de generación que permita predecir su comportamiento a lo largo del tiempo. La totalidad del gas existente y la tasa a la cual es generado puede variar de alguna manera según los diferentes modelos que se usen, no obstante, el parámetro de entrada que es común a todos ellos es el de la cantidad de residuos que son degradables.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

El presente trabajo de investigación tuvo lugar a lo siguiente:

- Revisión de literatura en cuanto a generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos.
- Conocer las cantidades de residuos sólidos urbanos en el municipio de Texcoco, y poderlos validar con alguna fuente confiable.
- Conocer algún método confiable para la cuantificación del biogás generado de la materia orgánica, y de este cuanto se convierte en energía eléctrica, para esta última poder ser comercializada.
- Realizar visitas de campo a plantas biodigestoras y plantas de generación de electricidad ya existentes en el país, para la recolección de información técnica.
- Realizar un estudio de viabilidad económica
- Conocer los apoyos y marco legal existentes en esta materia.
- Discusión de resultados
- Conclusiones y recomendaciones

2.1. MODELO MEXICANO

Para la estimación de biogás existen números modelos matemáticos pero existe uno para las condiciones y tipo de materia con la que cuenta México.

El Modelo Mexicano de Biogás provee una herramienta automática para la estimación de la generación y recuperación de biogás en rellenos sanitarios municipales en México.

Este modelo fue desarrollado por SCS Enlgineers bajo un contrato con el programa Landfill Methane Outreach (LMOP) de la U. S. EPA. El Modelo Mexicano de Biogás puede ser utilizado para estimar generación y recuperación de biogás en rellenos sanitarios mexicanos que cuenten o planeen tener un sistema de recolección de biogás.

Para sitios donde se conocen los índices de disposición año con año, el modelo estima la generación de biogás en un año dado usando la siguiente ecuación.

$$QM = \sum_{i=1}^n 2 * K * L0 * Mi * (e^{-kti}) \dots \dots \dots Ec. (I)$$

Dónde:

$\sum_{i=1}^n$ = La suma desde el año de apertura + 1 (i =1) hasta el año de proyección (n);

QM = Generación máxima de biogás (m³/año);

k = Índice de generación de metano (1/año);

L0 = Generación potencial de metano (m³/Mg);

Mi = Masa de residuos sólidos dispuestos en el año i (Mg);

ti = Edad de los residuos dispuestos en el año i (años). (Guzzone & Muller, 2003)

La producción y recuperación de biogás se calcula en metros cúbicos por hora (m³/h) y en pies cúbicos por minuto (ft³/min). Además se estima la cantidad de energía que posee el biogás recuperado en millones de Btu por hora (mmBtu/h), la eficiencia de captura, que es la capacidad máxima de la planta de energía, en megavatios (MW) y las toneladas de reducción de emisión de CO₂. (Stege & Davila, 2009)

Los índices de disposición anual se calculan usando información referente al relleno sanitario. El modelo asigna automáticamente valores de k y L0, basándose en información climática y caracterización de residuos. El valor de k depende del grupo de residuos y del clima. Los valores de L0 dependen del grupo de residuos. Debido a las precipitaciones promedio anuales y temperatura de cada estado, el país se divide en 5 regiones climáticas, sureste oeste, centro/interior, noroeste y noroeste interior norte (Stege & Davila, 2009)

El modelo mexicano para la estimación de biogás (versión 2.0, marzo 2009) se emplea para cuantificar automáticamente la generación y recuperación de biogás en rellenos sanitarios de cualquier estado del país. Genera cálculos separados para

cada uno de los grupos de residuos orgánicos, agrupados de acuerdo a su índice de degradación. (Stege & Davila, 2009)

1. Residuos alimenticios, materia orgánica y un 20% de pañales, son considerados como residuos de degradación rápida.

2. Residuos vegetales, poda de arbustos en casas o parques municipales y papel higiénico, son considerados residuos de degradación moderadamente rápida.

3. El papel, cartón y textiles son de degradación moderadamente lenta.

4. Los residuos considerados de degradación muy lenta son la madera, caucho, piel, hueso y paja.

La generación total de biogás se calcula sumando las cantidades de biogás generado por cada uno de los cuatro grupos de residuos. Cada uno de los grupos cuenta con un valor de k y L_0 , que son usados en el cálculo individual de generación de biogás. También se realizan ajustes por incendios y se toma en cuenta la descomposición aeróbica de los residuos, conocido como Factor de Corrección de Metano (MCF). (Stege & Davila, 2009)

2.1.1. ÍNDICE DE VALORACIÓN DE METANO (K)

Determina la generación de metano producida por la degradación de los desechos de los rellenos sanitarios. El valor de k está relacionado con el periodo de vida de los residuos, de acuerdo a la ecuación: $\text{periodo} = \ln(2)/k$.

El valor de k depende de algunos factores, como lo es el contenido de humedad dentro del relleno sanitario, que se estima en base a los promedios de las precipitaciones anuales. La disponibilidad de nutrientes para las bacterias generadoras de metano es otro factor, que depende de la cantidad de residuos y la caracterización de los mismos. La temperatura del relleno es constante debido al calor que se genera por las bacterias, excepto en condiciones climáticas frías y rellenos sanitarios poco profundos. Entonces los valores de k se basan en los tipos de residuos y el clima (Stege & Davila, 2009)

Tabla 2. Valores del índice de generación de metano (k)

Categoría de Residuos	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
	Sureste	Oeste	Noreste	Noreste	Norte & interior norte
1	0.300	0.220	0.160	0.150	0.100
2	0.130	0.100	0.075	0.070	0.050
3	0.050	0.040	0.032	0.030	0.020
4	0.025	0.020	0.016	0.015	0.010

Se han establecido valores de k para los cuatro grupos de residuos orgánicos, residuos de degradación rápida, moderadamente rápida, moderadamente lenta y muy lenta. Estos valores de k también varían en base a las precipitaciones anuales de la región donde se encuentre el relleno sanitario. Por lo que se toman en cuenta 5 regiones climáticas en el país.

2.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS Y GENERACIÓN DE POTENCIAL DE METANO (L0)

Describe la cantidad total de gas metano potencialmente producido por una tonelada de residuos degradados y, depende exclusivamente de la composición de los residuos del relleno sanitario. (Stege & Davila, 2009).

En el modelo se utilizan valores predeterminados para cada relleno o datos de las características de sus residuos. Con estos valores, se calculan los valores de L0 para cada uno de los cuatro grupos de residuos orgánicos. Este valor se mantiene constante para las 5 zonas climáticas, con excepción del grupo 2, ya que exigen variaciones por el tipo de vegetación.

Tabla 3. Valores de la generación potencial de metano (L0) (Stege & Dávila, 2009)

Categoría de Residuos	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
	Sureste	Oeste	Noreste	Noreste	Norte & interior norte
1	69	69	69	69	69
2	115	126	138	138	149
3	214	214	214	214	214
4	202	202	202	202	202

2.1.3. FACTOR DE CORRECCIÓN DE METANO (MCF)

Con el factor de corrección de metano se realiza un ajuste de la estimación de la generación de biogás, tomando en cuenta el grado de degradación anaeróbico de los residuos. Los valores de MCF dependen, principalmente, del tipo de manejo que se le da al relleno sanitario y la profundidad a que estén los residuos. En la tabla 4, se encuentran los valores de MCF aplicados por el modelo (Stege & Davila, 2009)

Tabla 4. Factor de corrección de metano (MCF)

Manejo del sitio	Profundidad d < 5m	Profundidad d >= 5m
Sin manejo	0.4	0.8
Con manejo	0.8	1
Semi-aeróbico	0.4	0.5
Desconocido	0.4	0.8

2.1.4. AJUSTES POR IMPACTO DE INCENDIOS

Los incendios que se generan en los rellenos sanitarios convierten ceniza una gran cantidad de residuos orgánicos. Estas cenizas no son útiles para la generación de biogás. Dependiendo de la magnitud del área impactada se podrá estimar la pérdida de generación de biogás, porcentaje del área impactada por el ajuste de severidad

de impacto (1/3 para impacto bajo, 2/3 para impacto medio, y 1 para impacto severo) (Stege & Dávila, 2009)

El modelo pide 13 valores de entrada, principalmente la cantidad de residuos por año, y la cantidad de residuos en el lugar.

Tabla 5. Cuantificación de biogás

WASTE CALCULATOR / DISPOSAL HISTORY

Waste Acceptance Rate Calculator:

Waste-in-place (tons)	2,304,000
Year representing waste-in-place	2000
Resulting average annual waste acceptance rate (tons/yr)	0

Annual Waste Disposal History:

Year	Annual Waste Acceptance (tons/yr)	Waste-In-Place (tons)
2000	128,000	
2001	128,000	128,000
2002	128,000	256,000
2003	128,000	384,000
2004	128,000	512,000
2005	128,000	640,000
2006	128,000	768,000
2007	128,000	896,000
2008	128,000	1,024,000
2009	128,000	1,152,000
2010	128,000	1,280,000
2011	128,000	1,408,000
2012	128,000	1,536,000
2013	128,000	1,664,000
2014	128,000	1,792,000
2015	128,000	1,920,000
2016	128,000	2,048,000
2017	128,000	2,176,000
2018	128,000	2,304,000
2019	128,000	2,432,000
2020	128,000	2,560,000
2021	128,000	2,688,000
2022	128,000	2,816,000
2023	128,000	2,944,000

La tabla 5 y 6 muestran los lugares que deben llenarse en modelo para la cuantificación de biogás, el modelo está hecho en un Excel y proviene de Environmental Protection Agency (EPA)

Required User Inputs:		
Type of Input Required		Required Input Data
Year landfill opened		2000
Year of landfill closure		2030
Area of LFG wellfield to supply project (acres) [assumes 1 well/acre]		344
Method for entering waste acceptance data (CHOOSE ONLY ONE METHOD):	Average annual waste acceptance rate (tons/yr)	350
	Waste acceptance rate calculator (in WASTE worksheet)	Go to WASTE
	Annual waste disposal history (in WASTE worksheet)	Go to WASTE
LFG energy project type [refer to recommended sizes in INST worksheet when selecting]		CHP engine
Will LFG energy project cost include collection and flaring costs? (Y)es or (N)o		Y
For Leachate Evaporator projects: Amount of leachate collected (gal/yr)		4,000
For Boiler Retrofits: Will boiler retrofit costs be combined with direct-use project costs? (Y)es or (N)o		N
For Boiler Retrofits: Distance between end user's property boundary and boiler (miles)		1.00
For Direct-use, High Btu, and CHP projects: Distance between landfill and end use, pipeline, or CHP unit (miles)		1.0
For CHP projects: Distance between CHP unit and hot water/steam user (miles)		1.0
Year LFG energy project begins operation		2019
Will model calculate avoided CO2 from energy generation at electricity projects? (Y)es or (N)o. If (Y)es, go to the Avoided CO2- Elec worksheet to select the appropriate value.		Y

Tabla 6. Datos requeridos como valores de entrada para la cuantificación de biogás.

Optional User Inputs (currently set to suggested default data):		
Type of Optional Input	Suggested Default Data	Optional User Input Data
LFG energy project size: Gas rate = Minimum, Average, Maximum, or Defined by user (must enter design flow rate below)?	Minimum	Minimum
For user-defined project size only: Design flow rate (ft³/min)	---	
Methane generation rate constant, k (1/yr)	0.04	0.07075
[0.04 for typical climates, 0.02 for arid climates, 0.1 for bioreactors or wet landfills]		
Potential methane generation capacity of waste, L_o (ft³/ton)	3,204	5,496
Methane content of landfill gas (%)	50%	50%
Average depth of landfill waste (ft)	65	65
Landfill gas collection efficiency (%)	85%	85%
Utilization of CHP hot water/steam potential (%)	100%	100%
Expected LFG energy project lifetime (years)	15	15
Operating schedule: (does not apply to leachate evaporators)	Hours per day	24
	Days per week	7
	Weeks per year	52
Global warming potential (GWP) of methane	25	25
Will cost of metering station that serves as custody transfer point be borne by end user?	Y	Y
Loan lifetime (years)	10	10

Tabla 7. Valores de entrada opcionales.

En la tabla 7 se modificaron los valores de k y L0 (0.07075 y 5,496, respectivamente), con la finalidad de que el modelo estime mejor de acuerdo a las características que se tienen en la Zona Centro de la República Mexicana.

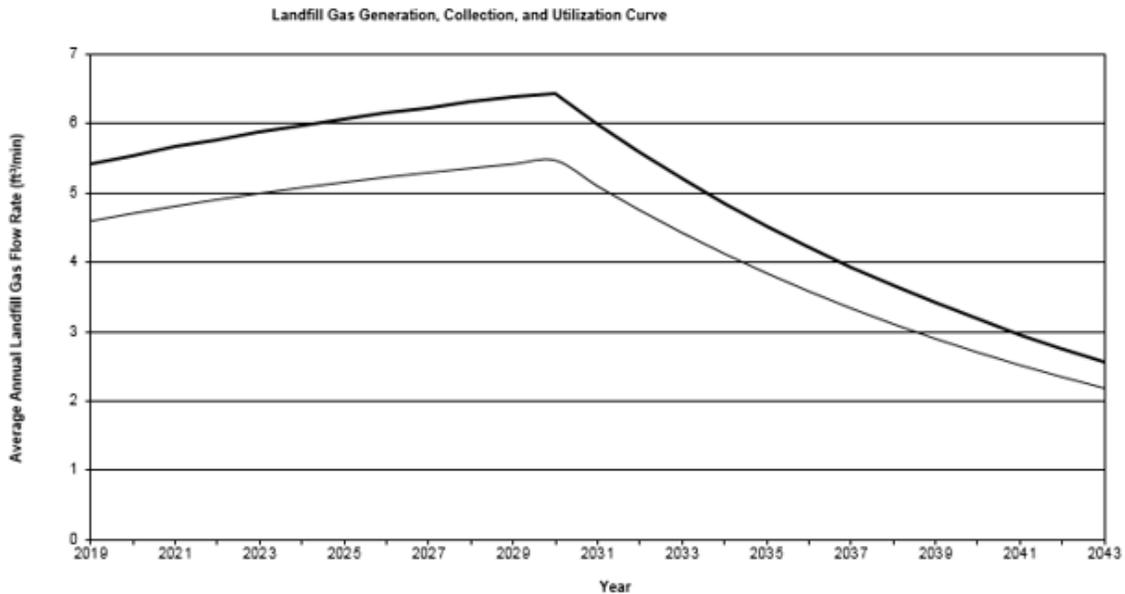


Figura 4. Gráfica de generación de gas de Relleno Sanitario y curva de recolección. (EPA, 2015)

En la figura 5, muestra el comportamiento de la generación de biogás, se observa un punto máximo y al paso de algunos años sufre declinación en la producción de biogás.

Año	Producción de gas en [m3/año]	Producción de gas en [m3/hora]
2019	138,870.40	126.82
2020	275,941.34	157.50
2020	411,230.31	234.72
2021	544,754.65	310.93
2021	676,531.53	386.15
2022	806,578.00	460.38
2022	934,910.96	533.62
2023	1,061,547.13	605.91
2023	1,186,503.14	677.23
2024	1,309,795.42	747.60
2024	1,527,574.43	871.90

Tabla 8. Resultado del estimado de biogás.

En la tabla 8 arrojan los resultados de la cuantificación de biogás, de acuerdo a los valores proporcionados en la tabla 6 y 7.

En cuanto a la evaluación de la viabilidad del proyecto, es con la finalidad de poder tener valores cuantitativos que permitan conocer si estamos en parámetros adecuados de negocio y poder realizar una inversión en algo fundamentado.

Conceptos de Evaluación de proyectos

Tas Interna de Retorno (TIR). Es igual a tasa de descuento que iguala los valores actualizados de costos y beneficios del proyecto.

Valor Actual Neto (VAN) = Beneficio – Costo. Es la diferencia entre los valores actualizados a la tasa de descuento elegida de los flujos de beneficios y costos del proyecto

Relación Beneficio Costo (RBC). Es igual a la relación de los valores actualizados a la tasa de descuento elegida de los flujos de beneficios y costos del proyecto.

CAPITULO 3. SITUACIÓN ACTUAL EN EL USO DE BIOGÁS A PARTIR DE RSU PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

3.1. PANORAMA ACTUAL DE PLANTAS BIODIGESTORAS EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

Hasta hoy el mayor crecimiento de plantas biodigestoras con la finalidad de generar energía eléctrica, en el continente Europeo es Alemania seguida de Reino Unido e Italia, mientras que en el continente Americano es Estados Unidos.

Alemania es actualmente, el líder en el despliegue de la tecnología en biogás. En la última década, el número de plantas incrementó de 370 en 1996 a 3,891 en el 2008 (M, Ward S, & Owende P, 2010)

Los mejores beneficios del aprovechamiento del biogás se obtienen cuando está ligado al tratamiento de los desechos en las granjas, aguas y basureros municipales, como parte de una estrategia integral del manejo de los desechos

La producción de biogás en pequeña escala puede ayudar a resolver la escasez de energía en algunos países en desarrollo y del tercer mundo proveyendo una alternativa al uso de la madera y otros combustibles de biomasa. Por otra parte el lodo residual subproducto del biogás también es una fuente de macronutrientes para las plantaciones otorgando nitrógeno, potasio y fósforo, y algunos otros nutrientes que se encuentran en elementos traza. (Mae-Wan, 2008)

3.1.1 PORCENTAJE DE ENERGÍA PROVENIENTE DE BIOMASA EN COMPARACIÓN CON OTRAS ENERGÍAS

La energía proveniente de fuentes renovables es apenas el 13% de la energía global, siendo la biomasa residual el mayor aportador de estas con un 77% (H, Moreira , & Dong, 2011)

En el caso de la Unión Europea, ha tenido una regulación rigurosa e inversión en gestión de residuos ya que cuenta con prevención, minimización, reúso, reciclado y actividades de valorización energética y reducción gradual de los rellenos sanitarios. (Internacional, 2015)

Tabla 9. Producción total de biogás, en unidades de energía primaria (ktep), en la Unión Europea en 2006 – 2008 (elaborada a partir de Barometer on the state of renewable energies in Europe (Europe, 2009))

	2006	2007	2008	Incremento 2007-2008 (%)	Incremento 2006-2008 (%)
Alemania	1,665.30	3,659.10	3,675.80	0.5%	120.7%
Reino Unido	1,498.50	1,584.40	1,637.10	3.3%	9.2%
Francia	298.10	418.90	452.00	7.9%	51.6%
Italia	383.20	387.90	410.00	5.7%	7.0%
Austria	118.10	216.90	232.40	7.1%	96.8%
Países Bajos	141.10	176.50	225.70	27.9%	60.0%
España	319.70	192.40	203.20	5.6%	-36.4%
Polonia	62.40	64.70	131.70	103.6%	111.1%
Suecia	27.10	96.50	103.00	6.7%	280.1%
Dinamarca	92.90	93.50	93.80	0.3%	1.0%
República Checa	63.40	76.20	90.00	18.1%	42.0%
Bélgica	77.60	79.50	87.60	10.2%	12.9%
Finlandia	36.50	41.70	45.00	7.9%	23.3%
Irlanda	32.30	33.50	35.40	5.7%	9.6%
Grecia	29.80	35.30	34.40	-2.5%	15.4%
Portugal	9.20	15.30	23.00	50.3%	150.0%
Eslovenia	8.40	11.90	14.10	18.5%	67.9%
Hungría	12.20	6.70	11.10	65.7%	-9.0%
Luxemburgo	9.20	9.10	10.90	19.8%	18.5%
Eslovaquia	7.70	7.50	10.30	37.3%	33.8%
Letonia		7.50	8.80	17.3%	-
Lituania	2.00	2.50	3.00	20.0%	50.0%
Estonia	4.20	4.20	2.80	-33.3%	-33.3%
Rumania		1.30	0.60	-53.8%	-
Chipre	0.00	0.20	0.20	0.0%	-
EU	4,898.90	7,223.20	7,541.90	4.4%	54.0%

Como se puede observar en la tabla 9, Alemania lleva la batuta en la producción de biogás y del 2006 al 2008 creció drásticamente (creció 120% en la producción de biogás), siguiendo Reino Unido y Francia.

3.2. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE PETRÓLEO



Figura 5. Producción de electricidad a partir del petróleo (% del total)

El uso de la energía es importante para mejorar el nivel de vida de las personas, pero la generación de electricidad también puede dañar el medio ambiente. Si el daño ocurre depende en gran medida de cómo se genera la electricidad. Por ejemplo, la quema de carbón libera el doble de dióxido de carbono, un importante contribuyente al calentamiento global, así como la quema de una cantidad equivalente de gas natural.

Las emisiones de dióxido de carbono resultan principalmente de la combustión de combustibles fósiles y la fabricación de cemento. En la combustión, diferentes combustibles fósiles liberan diferentes cantidades de dióxido de carbono para el mismo nivel de uso de energía: el petróleo libera aproximadamente un 50 por ciento más de dióxido de carbono que el gas natural, y el carbón libera aproximadamente el doble. (EIA, JULIO 2011)

En la figura 7, observamos como la generación de electricidad por fuentes del petróleo ha ido minimizando pues como se observa en la tabla 9, muchos de los países europeos han mostrado una tasa de crecimiento alta en la producción de

biogás, mismo que se utiliza para la generación de energía eléctrica, lo cual ha mermado el consumo de combustibles fósiles.

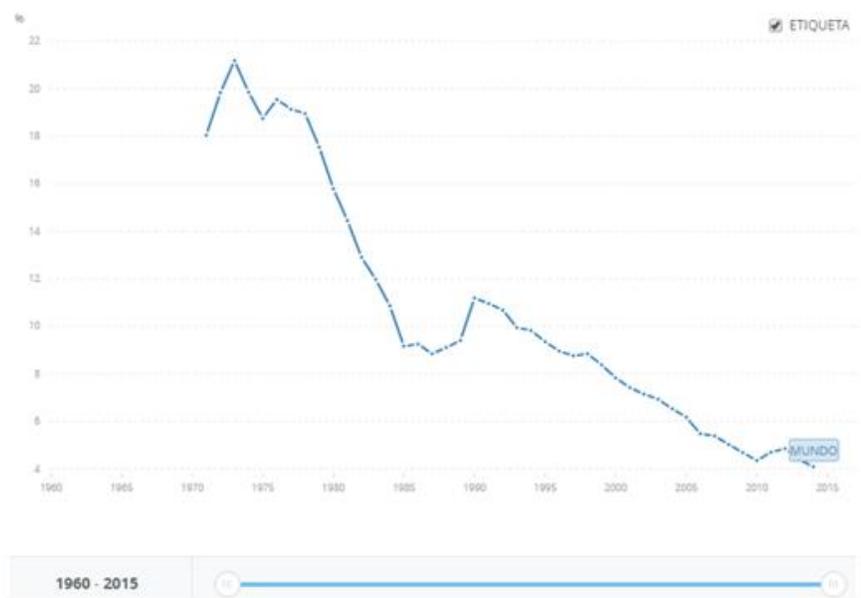


Figura 6. Producción de electricidad a partir del petróleo (% del total) a nivel mundial

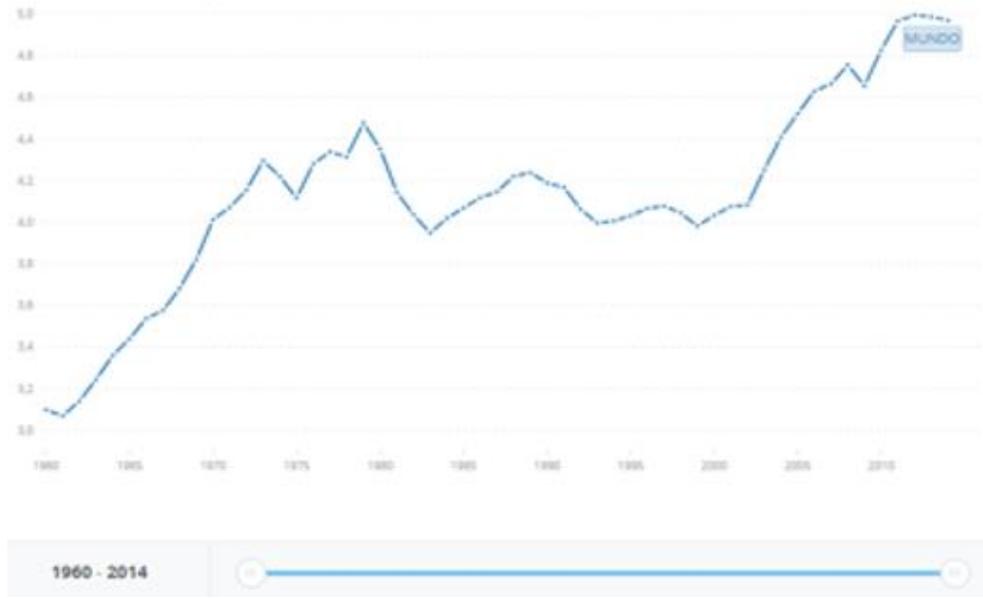


Figura 7. Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) a nivel mundial

En la figura 8, se observa que aun con el fuerte trabajo que han realizado principalmente países europeos por tener una disminución de emisión de gases, optando por energías renovables, en este caso una alta producción de biogás, se

tiene un comportamiento creciente de emisiones de CO₂ per cápita, dicho lo anterior solo sucede si lo estimamos de forma mundial, ya que en la figura 9, se aprecia que si vemos solo en el caso de Alemania (quien lleva la batuta con mayor cantidad de plantas biodigestoras) se aprecia lo contrario, es decir, se observa una disminución considerable de emisión de dióxido de carbono desde el año 1991 hasta el 2014.

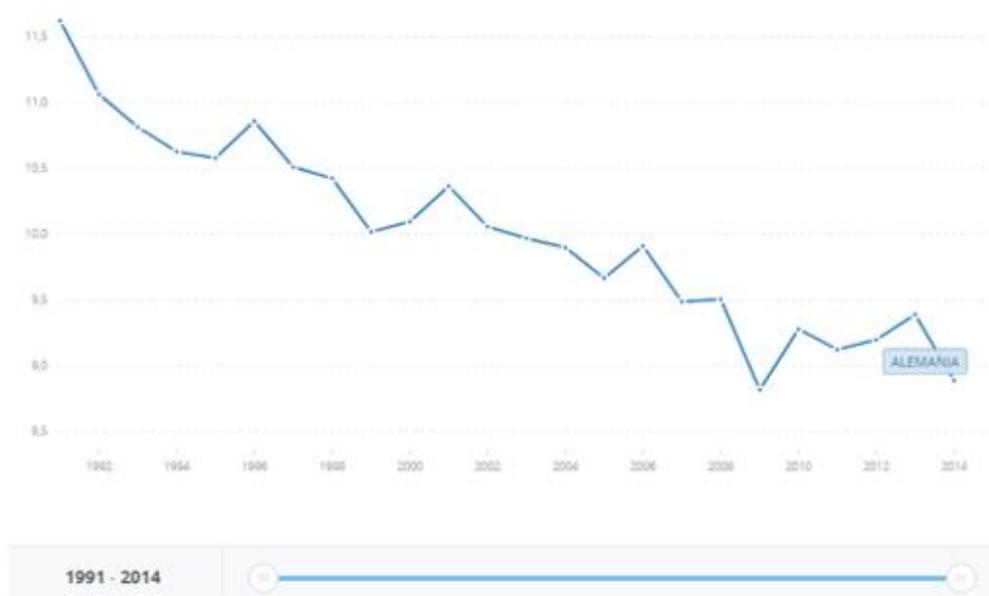


Figura 8. Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita) de Alemania

Mientras que en México en la siguiente grafica se puede observar que se comporta de forma ascendente hasta los años 90's, a partir del año 2005, aproximadamente se aprecia un descenso de emisiones de dióxido de carbono, esto se deba quizá a las plantas biodigestoras que hoy día ya se encuentran trabajando y a la apertura de nuevas tecnologías para la generación de energía eléctrica (nuevas alternativas de energías renovables)



Figura 9. Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) en México.

En la figura 10, se observa un crecimiento de emisiones de CO2 ya que muy poco se ha hecho por disminuir dichas emisiones es por ello que si nos fijamos en la gráfica, a partir del 2007 va en declive ya que esos son los años aproximados en que ya se encontraban trabajando las plantas de Aguascalientes, Ciudad Juárez y Monterrey.

La energía es el corazón del desarrollo, pues sin energía, las comunidades viven en la oscuridad, los servicios esenciales como las clínicas y las escuelas no podrían funcionar, y las empresas se paralizarían. La energía también hace posible las inversiones, las innovaciones y las nuevas industrias que son los motores del empleo y el crecimiento de economías enteras.

El apoyo a la integración energética regional ha mejorado la seguridad y la confiabilidad energética.

En la cocina y la calefacción se ha visto beneficiada por las energías limpias, el Banco Mundial actualmente administra una cartera de más de \$ 318 millones, con programas en 14 países, incluidos Bangladesh, China, Etiopía, Kenia, Kirguistán, Mongolia, Senegal y Uganda. Estos programas han ayudado a 11 millones de personas a tener acceso a soluciones de cocción y calefacción más limpias y eficientes.

El Banco Mundial es uno de los mayores proveedores de financiamiento para proyectos de energía renovable y eficiencia energética en países en desarrollo y de ingresos medios.

En países como China, Marruecos y Turquía, los esfuerzos del Banco Mundial para ayudar a fortalecer las instituciones, desarrollar marcos legales y mejorar las políticas y regulaciones, han ayudado a preparar el escenario para una expansión histórica en la capacidad de energía renovable. En países como Brasil, India y México, el Banco ha ayudado a integrar la eficiencia energética en la contratación pública y la planificación urbana, y apoyó la amplia difusión de los electrodomésticos de bajo consumo.

En virtud del Plan de Acción de Cambio Climático adoptado en 2016, el Banco Mundial utilizará múltiples instrumentos para eliminar el riesgo de las inversiones en energía renovable con un objetivo acumulado de agregar 20 gigavatios en la generación de energía renovable

El Banco Mundial se compromete a trabajar con los países para la transición a sistemas de energía con bajas emisiones de carbono y garantizar que todos en el mundo tengan acceso a la energía.

3.3 CRECIMIENTO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El consumo de energía eléctrica cada vez demanda más, debido a que también hay una creciente demográfica, y eso lo podemos ver a continuación.

Población mundial actual 7'625'882,340

Fuente: *World Population Prospect: the 2017 Revision - United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (June 21, 2017)*

International Programs Center at the U.S. Census Bureau, Population Division

A continuación se muestra el comportamiento de la población a nivel mundial de forma gráfica.

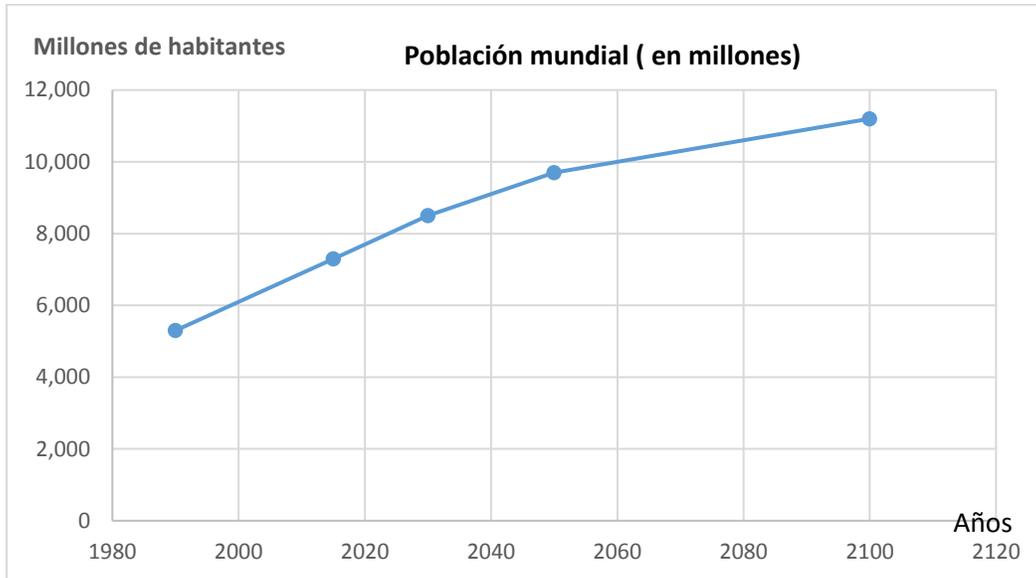


Figura 10. Comportamiento de la población de forma gráfica. . (ONU, Prospectos de población mundial, 2015)

Población proyectada hasta el 2100		
Año	Millones	Tasa de crecimiento
1990	5,300	
2015	7,300	38%
2030	8,500	16%
2050	9,700	14%
2100	11,200	15%

Tabla 10. Comportamiento de la población a nivel mundial. (ONU, Prospectos de población mundial, 2015) (ONU, Prospectos de población mundial, 2015)

En la figura 12, se observa que el consumo de energía eléctrica va a la alza, y es de esperarse pues tan solo de 1990 al 2010 se tuvo un crecimiento demográfico del 38.26%. Esta alza ocurre también para el mundo y esto lo podemos observar en la tabla 10, donde al ser graficada, muestra un comportamiento exponencial.

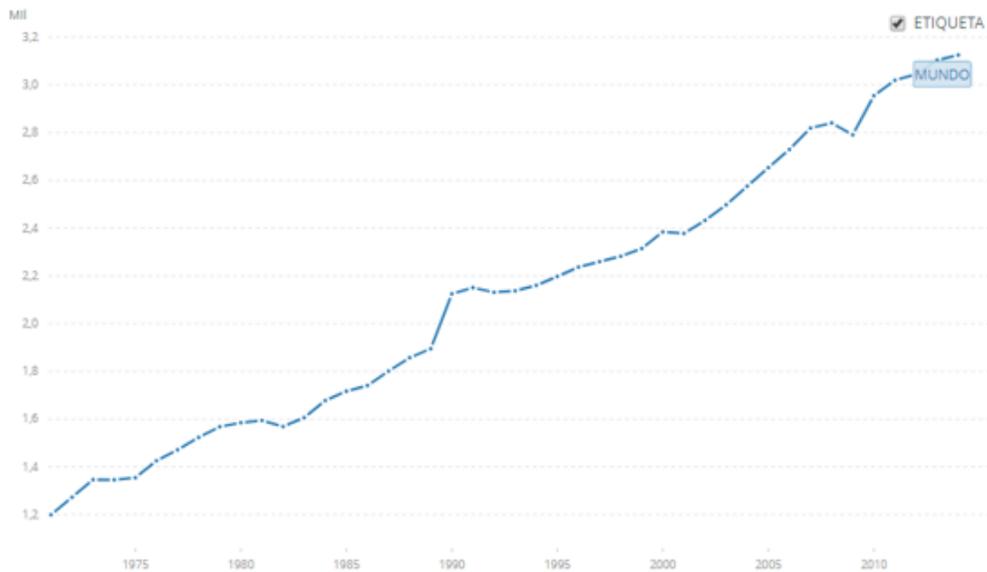


Figura 11. Consumo de energía eléctrica (kW per cápita) a nivel mundial.

Lo más preocupante ante el crecimiento de la población es que crece de la mano con la generación de residuos sólidos urbanos, y hasta hoy día muy poco se ha hecho, por lo menos en el caso de México.

3.4 ACCESO A ENERGÍA ELÉCTRICA A NIVEL MUNDIAL

En general el comportamiento al acceso de energía eléctrica a nivel mundial, se comporta de forma ascendente, pero hay lugares como Kosovo (se encuentra al sureste de Europa) donde su comportamiento es constante e incluso lugares donde en lugar de aumentar la disponibilidad de energía eléctrica, ha disminuido.

México ha tenido un crecimiento del 16.4% al acceso de energía eléctrica de 1990 a 2016. (EIA, JULIO 2011)

3.5 RESIDUOS A NIVEL MÉXICO

Existen numerosas razones para considerar seriamente el uso de energías renovables (ER) en el portafolio de recursos utilizados en México, sobre todo por la

parte en ser independientes en el tema de energético; aprovechando los recursos naturales y en este caso en particular de hacer uso de los residuos sólidos, que hasta hoy día solo es considerado como desechos.

Existen presiones de orden nacional e internacional para poder desarrollar una economía sostenible (esto lo podemos ver en el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el protocolo de KYOTO) que garantice un aseguramiento energético, y que vaya de la mano de un crecimiento económico, social y por supuesto no descuidando al medio ambiente.

Se sabe que las energías fósiles son el desarrollo económico a nivel mundial, y la transición de una energía a otra puede llevar algunos meses e incluso años. Esperando con ello que en los años próximos las fuentes renovables adquieran un valor relevante en nuestro país, convirtiéndose así en un elemento fundamental en el desarrollo económico y social (bienestar social)

Cabe señalar que en México se ha tenido poca promoción en la reducción de RSU, pues en muchos de los casos se cuenta con una gran cantidad de materia prima (biomasa residual) y no se generan proyectos de impacto social, económico y ambiental en la zona.

3.5.1. SITUACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MÉXICO

Se considera residuos sólidos urbanos (RSU) a la basura generada en las ciudades e incluye los desechos de los hogares (basura doméstica), entre otras fuentes como la comercial, construcción, demolición, pero no se incluyen los residuos peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios e industriales. (CFE, 2012)

Papel, cartón y producto de de papel.

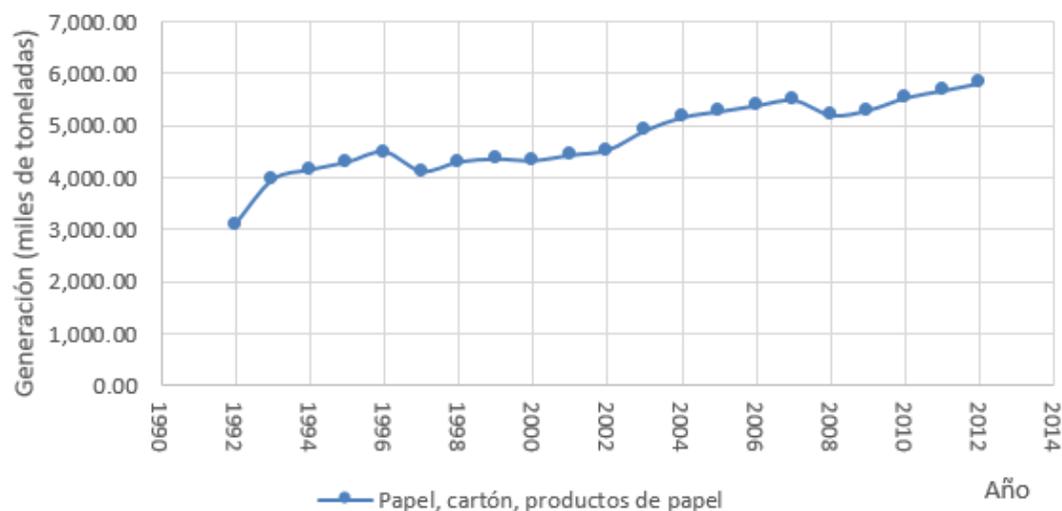


Figura 12. Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo; del papel, cartón y derivados del papel (miles de toneladas)

(SEDESOL, Generación estimada de residuos sólidos urbanos, 2013)

Plásticos

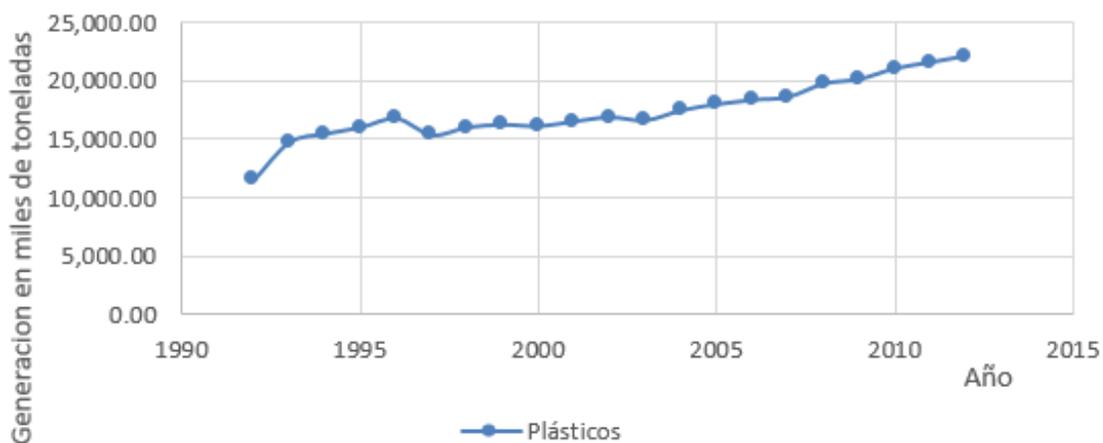


Figura 13. Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo; del plástico (miles de toneladas)

(SEDESOL, Generación estimada de residuos sólidos urbanos, 2013)

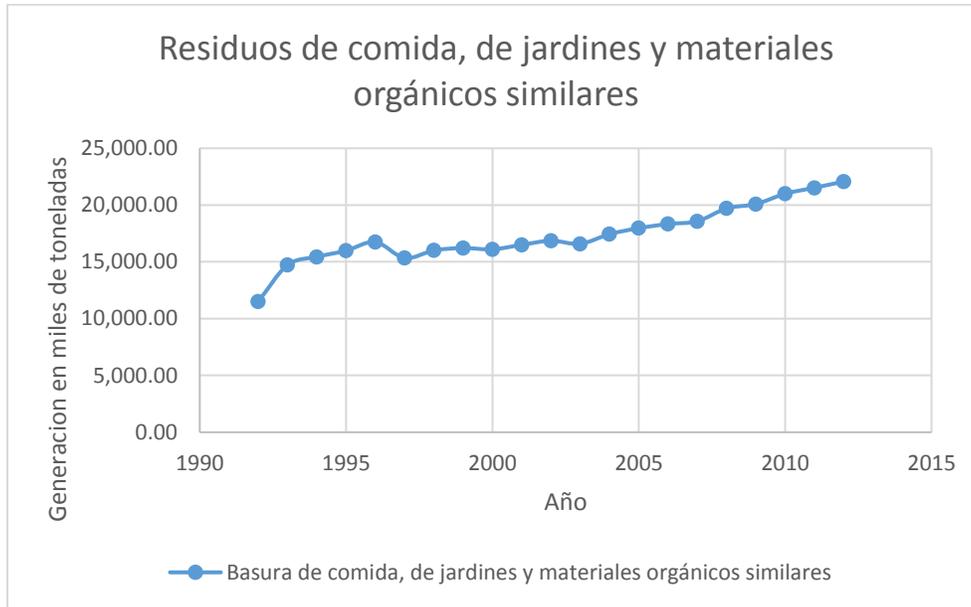


Figura 14. Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo; comida y materiales orgánicos (miles de toneladas)

(SEDESOL, Generación estimada de residuos sólidos urbanos, 2013)

Se graficaron algunos de los datos encontrados en SEDESOL en donde se observa un crecimiento de la cantidad de desechos a nivel nacional mismos que servirán como materia prima para la generación de electricidad. El tener un comportamiento creciente se debe a que hasta hoy día son muy pocas las plantas biodigestoras que hacen uso de estos desechos.

También se puede observar en las figuras 14, 15 y 16 que la generación de residuos urbanos va en aumento y esto va de la mano en la alza en la emisión de gases, tal como lo observábamos en las gráficas de emisiones de CO₂.

3.6. CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES MUESTRAS DE RSU

La composición puede no ser representativa para los residuos generados en determinada región o municipio ya que factores como los niveles de ingreso y hábitos de consumo de la población (rural o urbana), ubicación geográfica y estacionalidad son los que determinan la composición de los RSU.

Generalmente en las zonas rurales se contarán con porcentajes más altos de materia orgánica, mientras que en las zonas urbanas se tendrán mayores porcentajes de plástico, papel y cartón.

El contenido energético de los RSU es un factor importante a considerar, ya que de éste dependerá su utilización como material combustible en aplicaciones térmicas como son las calderas de incineración. (CFE, 2012)

Tabla 11. Características de diferentes muestras de RSU del país

Sitio	Humedad	Poder calorífico superior (kJ/kg)	Poder calorífico inferior (kJ/kg)
Guanajuato muestra 1*	49.90%	10,945	8,956
Guanajuato muestra 2	33.73%	12,164	10,491
Puebla*	38.70%	12,420	10,587
Matamoros	27.25%	14,855	13,125
Estado de México*	44.33%	13,402	11,454
Mexicali	13.90%	19,726	18,118
Morelia	23.71%	10,024	8,721
Morelos*	41.20%	14,255	12,317

***Muestras tomadas en temporada de lluvias**

(IIE, 2008)

De esta tabla se puede observar que en el Estado de México contamos con condiciones favorables para nuestro proyecto, pues el poder calorífico de los RSU es alto. Al graficarlo para tener una mejor visualización se observa lo siguiente:

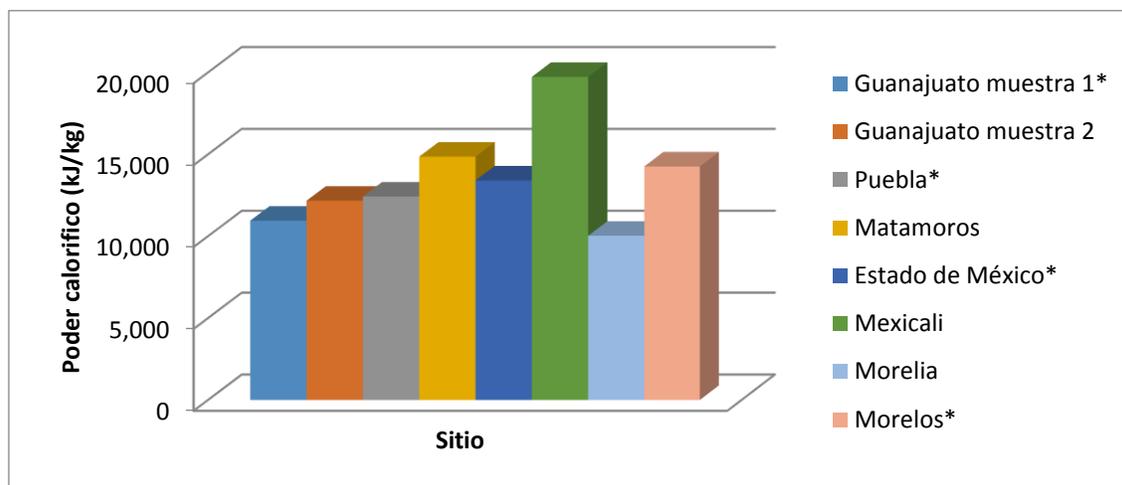


Figura 15. Visualización de poder calórico según el sitio. (IIE, 2008)

3.7. DATOS A NIVEL NACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se encuentra un promedio diario de residuos sólidos urbanos recolectados a nivel nacional de 102, 887,315 kilogramos (INEGI, 2014)

Donde también encontramos los siguientes datos estadísticos

Tabla 12. Datos de residuos sólidos a nivel nacional. (INEGI, 2014)

Residuos	Unidad	Año	
Promedio diario de residuos sólidos urbanos recolectados a nivel nacional.	Kilogramo	2014	102'887,315
Número de vehículos utilizados para la recolección de residuos sólidos urbanos a nivel nacional con compactador.	Número	2014	10,187
Con caja abierta	Número	2014	4,272
Otro tipo	Número	2014	1,379
Cantidad promedio diaria de residuos orgánicos enviados a tratamiento	Kilogramo	2012	2'748,727
Cantidad de residuos inorgánicos enviados a tratamiento.	Kilogramo	2012	6,083,199

Esto mismo se puede validar en los datos estadísticos de INEGI, en el cual se observa que en la producción de energía primaria y en el tema de biomasa aun no figura pues aún no está cuantificada.

3.8. MARCO REGULATORIO DE RSU EN MÉXICO

En el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece que los municipios tendrán a su cargo las funciones de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos (CFE, 2012)

Las dependencias con las cuales se lleva a cabo los trámites y gestiones para poder llevar a cabo un proyecto de energía renovable (ER) como es el caso de generación de electricidad por medio de biogás, es la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Comisión Reguladora de Energía (CRE), y la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

3.9. PLANTAS GENERADORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL USO DE BIOGÁS

En México hasta hoy día sólo se encuentran 3 proyectos caminando, en la generación de electricidad a partir del uso de biogás en los estado de Nuevo León, Chihuahua y Aguascalientes

3.9.1 RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO DE SALINAS VICTORIA, NUEVO LEÓN

Bioenergía de Nuevo León, S.A de C.V. (BENLESA) desarrolló el primer proyecto en México y Latinoamérica de energía renovable, utilizando como combustible el biogás generado por el relleno sanitario del municipio de Salinas Victoria, el cual es propiedad estatal.

BENLESA es el producto de la alianza estratégica entre el Gobierno del Estado de Nuevo León, a través del Sistema para el Manejo Ecológico y Procesamiento de desechos (SIMEPRODE) y las empresas privadas Bioeléctrica de Monterrey, S. A.

de C.V., empresa subsidiaria de Sistemas de Energía Internacional, S.A de C.V. (SEISA) (Project, January 23 2007)

La planta se inauguró en 2003 con una capacidad de 7.42 MW, con una inversión privada de 5.7 millones de dólares y 5.1 millones de dólares del Banco Mundial. Actualmente ha ampliado su capacidad instalada a 16.96 MW (neta 16MW), la cual se utiliza para el alumbrado público, edificios del gobierno del Estado, servicios de agua, y líneas 1 y 2 del Metro.

La instalación del relleno sanitario cubre un área de 212 Ha, 140 de las cuales cuentan con una red de captación de biogás, cuya composición es de aproximadamente 55% metano y 45% dióxido de carbono. El paquete de generación cuenta con 16 motores de combustión interna de 1.06 MW marca GE Jenbacher, modelo JGC 320 GS-L.L. (CFE, 2012)

La planta generadora de bioenergía diariamente recibe 800 camiones que depositan 4,500 toneladas de basura en un biodigestor (contenedor hermético que descompone los desechos para extraer el biogás con el que se crea energía).

En el fondo del contenedor del biodigestor existe una geomembrana para evitar que los líquidos se filtren en el subsuelo y lo contaminen (evitando contaminación por lixiviados).

Hay beneficios ambientales importantes, dado que con este proyecto se tiene disminuciones de gases de efecto invernadero (GEI).

La planta se diseñó para operar durante los próximos 25 a 30 años, dependiendo de la vida del relleno sanitario con un esquema modular, de manera que los equipos se pueden remover e instalar en otras locaciones según se requiera. (CFE, 2012)

El proceso empieza en la celda de confinamiento de los residuos sólidos, utilizando procedimientos de alta tecnología, aquí se produce el biogás por la descomposición de la parte orgánica de estos desechos. El biogás es conducido a los motores que generan la energía eléctrica, en caso de que exista exceso de biogás, este es quemado antes de llegar al motor, ya que no debe escapar al medio ambiente por que provoca un alto impacto en la emisión de gases de efecto invernadero.

De los motogeneradores de energía, esta pasa a un transformador que regula el voltaje de salida. La energía eléctrica se inyecta a la red de distribución de CFE para llevarla hasta sus socios usuarios que son los municipios de Nuevo León. El biogás que producen tiene un poder calorífico de 600 a 700 BTU/pe3.



Figura 16. Fotografía del paquete de generación eléctrica de BENLESA.

Esta empresa cuenta con 470 pozos, con un volumen de extracción de biogás de 7,800 m³/hr promedio. (Méndez, Junio 2009)



Figura 17. Sistema de extracción y quemador de biogás. (Méndez, Junio 2009)

3.9.2. RELLENO SANITARIO DE SAN NICOLÁS, AGUASCALIENTES

Como un proyecto para sustituir el basurero de Cumbres, el municipio de Aguascalientes inicio la operación del relleno sanitario de San Nicolás en 1998. Actualmente, el relleno sanitario cuenta con cinco celdas de confinamiento, cuatro de las cuales ya están cerradas y sólo una de ellas se mantiene en operación. (CFE, 2012)

El municipio es el dueño del terreno y se encarga de los trabajos de las celdas, manejar lixiviados, y del mantenimiento. El proyecto de generación eléctrica surgió hasta 2009, año en que se tramitaron los permisos ante la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la interconexión de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). El paquete generador consta de dos motogeneradores Caterpillar de 1.35 MW cada uno, para un total de 2.7 MW. La inversión aproximada ha sido de 7.0 MDD. En la Figura 20 se muestran las instalaciones de tratamiento y generación de San Nicolás, Aguascalientes.



Figura 18. Fotografía del área de tratamiento de biogás y generación eléctrica, San Nicolás, Aguascalientes.



Figura 19. Cabezal de captación de biogás en relleno sanitario.

3.9.3. RELLENO SANITARIO DE CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA

El relleno sanitario de Ciudad Juárez fue abierto en 1994, cuenta con una macrocelda de 32 Ha con 30 metros de profundidad, en la que se han confinado aproximadamente 10 millones de toneladas de RSU.

Las empresas involucradas en el proyecto son Gases de Metano (subsidiaria de Biogás de Juárez), encargada de la extracción de gas metano, Transformadora de Energía Eléctrica de Juárez (también subsidiaria de Biogás de Juárez), encargada de la generación y venta de energía eléctrica.

La instalación cuenta con tres unidades Caterpillar G3520C con una capacidad de 4.5 MW, comenzando operaciones el 15 de junio de 2011, para cubrir necesidades de autoabastecimiento y alumbrado público municipal de Ciudad Juárez y Nuevo Casas Grandes, Chihuahua (CFE, 2012).

A la fecha se ha realizado una inversión de 220 millones de pesos y se tenía contemplada una futura ampliación de la planta con una capacidad de generación adicional de 3.5 MW. (CFE, 2012)



Figura 20. Fotografía de las instalaciones de Biogás de Juárez.



Figura 21. Fotografía de los moto generadores con los que cuenta Eléctrica de Juárez.

CAPITULO 4. CADENA DE VALOR EN LA PRODUCCIÓN DE CH₄ A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS

El biogás, como resultado de la degradación biológica de residuos orgánicos producidos en las actividades agrícolas y con los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) tienen altas afectaciones ambientales. Su correcto manejo se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también las vías de descontaminación y eliminación de residuos.

La equivalencia energética del biogás es la siguiente:

$$1 \text{ TEP} = 2,000 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kW} = 0.17 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kcal} = 0.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

(Biogás, 2014)

En la figura 24 se muestra un panorama a grandes rasgos de cómo se lleva a cabo la generación de biogás a través de procesos físico-químicos y de esta energía calorífica obtener energía eléctrica.



Figura 22. Descripción del proyecto de generación eléctrica con biogás. (Biogás, 2014)

En la actualidad, un relleno sanitario no puede ser construido en cualquier sitio, requiriéndose la participación de un equipo multidisciplinario de expertos en geología, hidrogeología, hidráulica, química, mecánica de suelos, ecologistas y probablemente alguna otra profesión que en este momento me pase por desapercibido. Para su ubicación, un buen sitio se caracteriza principalmente por no contar con algún acuífero cercano al proyecto, ya que uno de los riesgos principales es contaminarlo con los lixiviados, los cuales son fluidos con alto contenido de materia orgánica y algunos elementos altamente contaminantes como es el caso del plomo (Pb), que al desplazarse verticalmente pueden llegar al subsuelo.

El biogás es una mezcla constituida principalmente de metano y bióxido de carbono, en con concentraciones fluctuantes entre 45% a 60% para el metano y entre 40% a 60% para el bióxido de carbono, otros constituyentes presentes en concentraciones menores son el monóxido de carbono, ácido sulfhídrico, nitrógeno, oxígeno y trazas de compuestos orgánicos diferentes al metano. (CFE, 2012).

Para prevenir las fugas de biogás y lixiviados, el sitio es acondicionado con geomembranas o capas de material arcilloso impermeable.

El biogás producido puede ser colectado mediante tubos verticales u horizontales perforados y llevado, ya se a un mechero para su quemado, o a una instalación de generación eléctrica donde es comprimido, filtrado, deshidratado e introducido en motores de combustión interna que generan energía eléctrica. (CFE, 2012)

Diagrama de flujo

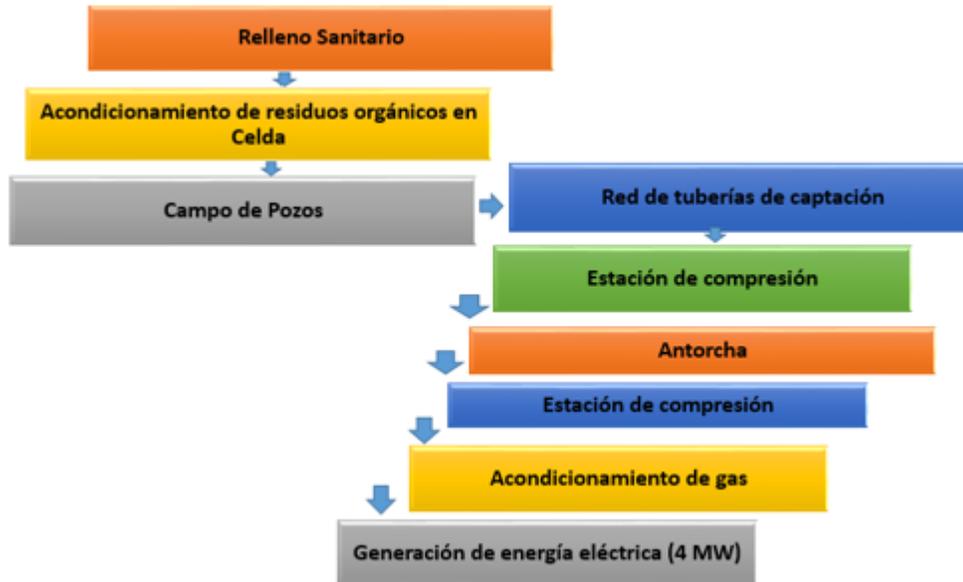


Figura 23. Diagrama de Flujo. Fuente propia en base a estudios de campo.

En la figura 25, se muestra el diagrama de flujo con los procesos por los cuales se tiene que pasar para poder obtener energía eléctrica a través de residuos orgánicos.

Proceso biogás – generación de energía eléctrica

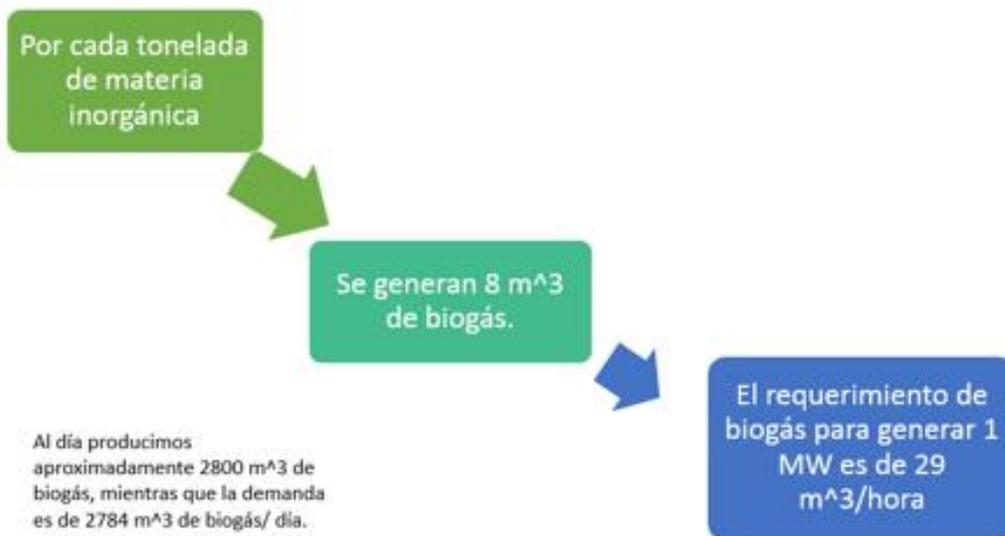


Figura 24. Proceso de biogás a energía eléctrica. Elaboración propia en base a estudios de campo.

De acuerdo a la investigación realizada se encuentra que por cada tonelada de residuos orgánicos, se obtienen 8 m³ de biogás. Y para poder generar 1MW se requiere de una tasa de combustible de 29 m³ por hora.

4.1 PROCESO BIOLÓGICO

Las fases para la composición del biogás se llevan a cabo mediante 5 fases, las cuales son las siguientes; Fase 1: Ajuste inicial (aerobia), Fase 2: Fase de transición, Fase 3: fase ácida, Fase 4: Metanogénica (anaerobia) y la Fase 5: Fase de maduración. (Sergio Durandean Stegman, 2010)

En cuanto al potencial energético del biogás, se estima que un metro cúbico de biogás contiene 48.5 % de metano (CH₄) y el valor calorífico del metano es 10 kWh/m³. (Sergio Durandean Stegman, 2010)

Por lo que el potencial energético de 1m³ de biogás es: 1m³ x 48.5% x 10kWh/m³ =4.85 kWh.

Componentes del Biogás

Todos los RSU sufren cierto grado de descomposición, pero la fracción orgánica es la que sufre los cambios más importantes; la cual depende del tipo de materia orgánica.

El biogás se produce de la descomposición de la materia orgánica, siendo un proceso por descomposición anaerobia (proceso químico y biológico en ausencia de oxígeno). Los principales gases que se forman es el metano (CH₄) y bióxido de carbono (CO₂) y algunos elementos traza.

Componente	% Componente (volumen base seca)
Metano	47.5
Bióxido de carbono	47.5
Nitrógeno	3.7
Oxígeno	0.8
Hidrocarburos parafínicos	0.1
Hidrocarburos aromáticos y cíclicos	0.2
Hidrógeno	0.1
Ácido sulfhídrico	0.01

Monóxido de carbono	0.1
Compuestos trazas	0.5
Capacidad calorífica	300-550
Gravedad específica	1.04
Contenido de humedad	SATURADO

Tabla 13. Componentes del biogás.

(SEDESOL, Manual para la operación de rellenos sanitarios, 1996)

Como es de esperarse los RSU en el territorio nacional no es homogénea, responde a la distribución de hábitos de consumo y poder adquisitivo de la población según el área geográfica. En la siguiente tabla se observa la distribución de residuos.

Sub-producto	Frontera Norte	Norte	Centro	Sur	D.F
Cartón	3.97	4.37	1.83	4.84	5.36
Residuos finos	1.37	2.23	3.51	8.08	1.21
Hueso	0.5	0.64	0.27	0.25	0.08
Hule	0.28	0.2	0.09	0.35	0.2
Lata	2.93	1.41	1.7	2.97	1.58
Material ferroso	1.18	1.48	0.29	0.4	1.39
Material no ferroso	0.23	0.65	0.94	1.7	0.06
Papel	12.13	10.56	13.68	8.85	14.58
Pañal desechable	6.55	8.31	6.01	5.72	3.37
Plástico película	4.79	5.12	1.66	1.72	6.24
Plástico rígido	2.9	3.15	1.95	1.23	4.33
Residuos alimenticios	26.97	21.27	38.54	16.33	34.66
Residuos de jardinería	16.09	19.76	7.11	26.98	5.12
Trapo	1.2	2.41	0.81	2.16	0.64
Vidrio de color	2.06	0.93	4.25	0.6	4
Vidrio transparente	4.59	5.25	5.05	3.72	6.77
Otros	11.5	12.27	12.33	14.1	10.41
Total	100	100	100	100	100

Tabla 14. Composición de los residuos por zona geográfica.

Las cantidades están en porcentaje respecto a su peso. (OPS, 2003)

4.2 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO

La producción de biogás de un relleno sanitario es función de la composición de RSU y el propio diseño de la instalación, también influye la población bacteriana presente, las características térmicas, la entrada de humedad y el escape de gas (los mecheros). (CFE, 2012).

Figura 27, tomada de la Environmental Protection Agency (EPA) muestra el comportamiento de la composición del gas de relleno sanitario a partir del confinamiento de los RSU, distinguiéndose cuatro fases.

La primera es aeróbica, mientras que las siguientes son anaeróbicas. El gas metano aparece en la fase III, llegando a estabilizarse hasta la fase IV, que corresponde aproximadamente al lapso de un año.

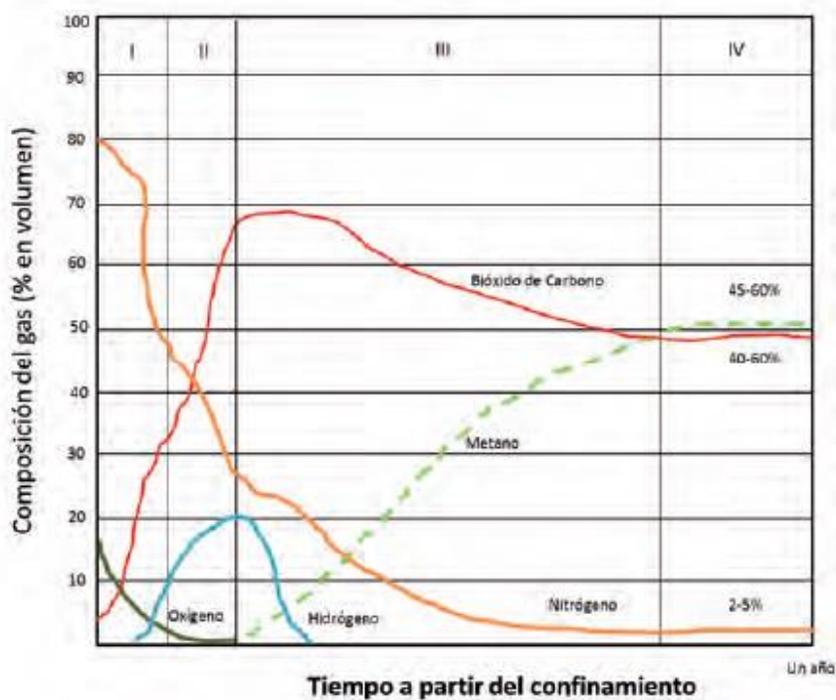


Figura 25. Modelo típico de generación de gas en rellenos sanitarios (CFE, 2012)

4.2.1 MODELO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Landfill Methane Outreach Program (LMOP) de la EPA desarrolló en 2003, el primer modelo de biogás mexicano, para ayudar a operadores y dueños de rellenos

sanitarios a evaluar la viabilidad, así como los beneficios en la captación y uso del biogás como fuente de energía. La ecuación del modelo se encuentra en el apartado de metodología de esta tesis.

4.3. EXTRACCIÓN DE BIOGAS

El biogás es captado a través de celdas, donde se lleva a cabo la fermentación y captación de la materia orgánica. Una vez llevado a cabo el proceso de fermentación, se perforan pozos para la extracción del biogás y poder ser llevado a procesos de deshidratación, y adecuarlo a la presión requerida por el generador a combustión interna.



Figura 26. Imagen donde se muestra de forma general las áreas de tratamiento de lixiviados, impermeabilización y manejo de biogás. (Biogás, 2014)

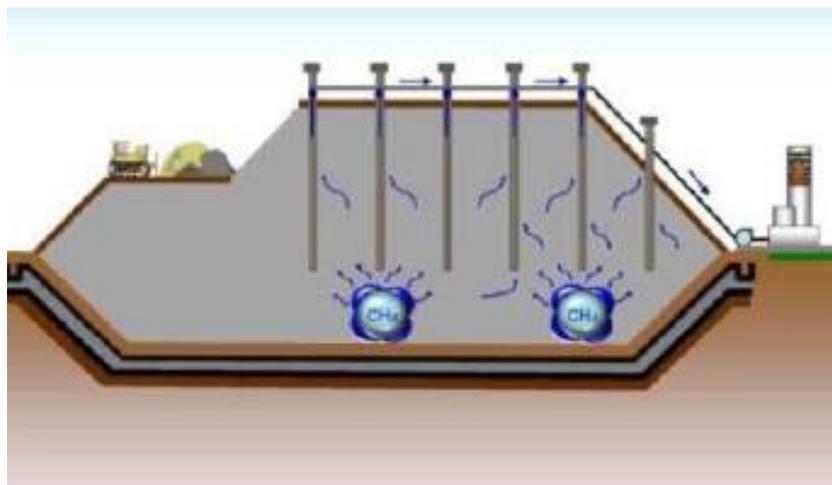


Figura 27. Esquema general de pozos verticales para la extracción de biogás. (Biogás, 2014)

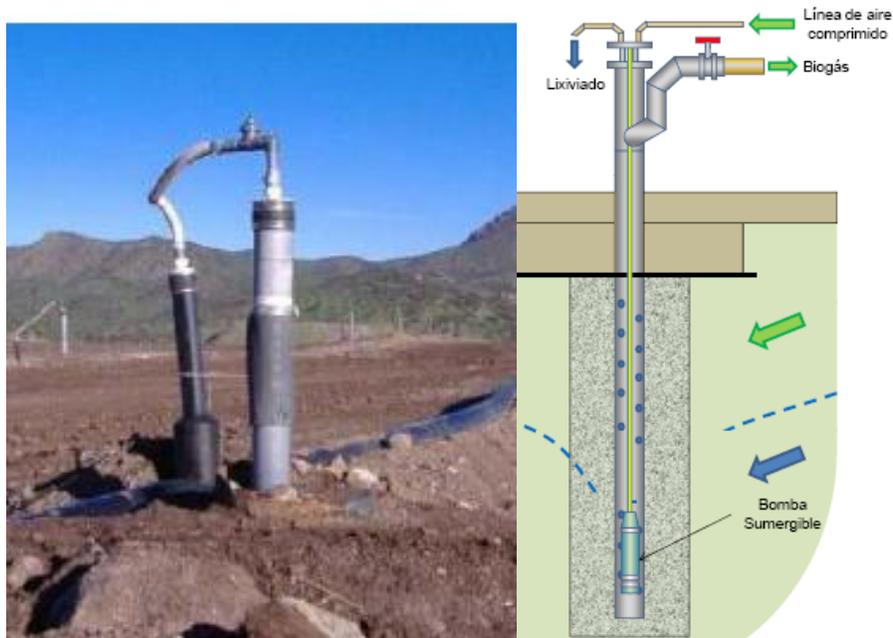


Figura 28. Imagen donde se muestra la válvula del pozo de biogás. (Biogás, 2014)

4.4. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL BIOGÁS MEDIANTE MOTOGENERADORES

La tecnología disponible y más ampliamente utilizada para la conversión energética del biogás, son los motores de combustión interna, donde estas alcanzan eficiencias; Eficiencia eléctrica: 42% y Eficiencia Térmica: 43%. (Sergio Durandean Stegman, 2010)

Los motores recíprocos de combustión interna son los más utilizados ya que presentan alta eficiencia en comparación con las turbinas de gas y microturbinas (LMOP, 2015). Son de bajo costo por kW en comparación con las turbinas de gas y microturbinas, y existen en varios tamaños adecuados a los flujos de gas de rellenos sanitarios (GRS).

También presentan la ventaja de permitir añadir o quitar los motores según las tendencias de recuperación de gas. Aunque cabe señalar que si los costos de electricidad del mercado son bajos, la rentabilidad de estos equipos resulta marginal. (CFE, 2012)

El rango de tamaño para proyectos típicos asumiendo 50% de metano de gas de relleno sanitario entre 8 y 30 m³/min de GRS, y capacidades entre 800 kW y 3 MW; para proyectos de mayor escala se pueden combinar varios motores.

Con ello por ejemplo, si tuviésemos una energía contenida en 3,000 m³/hora de biogás, puede ser convertida a energía eléctrica y energía térmica, obteniéndose los siguientes valores:

Energía eléctrica = 3,000 m³/hora X 48.5% X 10 kWh/m³ =14.55MWh x 42%= 6.111 MWh

Y en energía térmica =3,000 m³/hora X 48.5% X 10 kWh/m³ =14.55MWh x 43%= 6.256 MWh (Fuente: elaboración propia)



Figura 29. GE. Jenbacher Tipo 2 Motor a gas. Fuente: <http://powergen.gepower.com/products/reciprocating-engines>

4.4.1 LA ENERGÍA ELÉCTRICA NECESARIA EN UN HOGAR

El cálculo de la energía que se consume en una casa permite contratar la potencia eléctrica adecuada y evitar gastos innecesarios.

El consumo de electricidad en una casa depende de varios factores, pero el más importante se da por los aparatos eléctricos que se posean y el uso que se haga de ellos. En función de ello conviene contratar más, o menos potencia; en la Comisión Federal de Electricidad CFE.

4.4.2 FACTORES DE LOS QUE DEPENDE EL CONSUMO DE ELECTRICIDAD

La cantidad de energía eléctrica que se consume en cada casa depende de muchos factores. Uno de ellos es el clima; ya que en las épocas con temperaturas extremas (ya sea frío o calor), se tienen mayores consumos por el uso excesivo (de aparatos

que ayudan a mantener una temperatura agradable); para el sistema de calefacción, ventilación o aire acondicionado.

Otro factor que determina el consumo, y el más importante es por el requerido en cada uno de los aparatos electrodomésticos, bomba de agua y focos, que posee cada casa, todo esto condicionado al uso que se hace de ellos (el tiempo ocupado durante el día). Conviene tener en cuenta este dato al momento de establecer el tipo de contrato que se mantendrá en la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

El contrato determina cuanta energía máxima se puede consumir en una casa y cuanto se pagara en el recibo de luz. Cabe mencionar que si la potencia contratada es superior a la necesaria el usuario aun así pagara más de lo debido, ahora bien si por el contrario tiene contratada menos, de lo de necesario sufrirá que el limitador de potencia (el interruptor), este haciendo un corte de luz constantemente.

4.4.3 ENERGÍA ELÉCTRICA NECESARIA EN UN HOGAR

El cálculo de la energía que se ha consumido en el hogar permite contratar la potencia eléctrica adecuada, evitando pagos superiores o cortes constantes de luz. Para el cálculo de energía necesaria en un hogar se pueden hacer de dos formas: 1. sumando los kilowatts consumidos por cada uno de los aparatos electrodomésticos con que contamos en casa y de estos irlos multiplicando por el tiempo de uso al día. 2. Hacer la medición de Amperaje cuando todos los electrodomésticos y focos se encuentren en uso y de estos multiplicarlos por el voltaje, obteniendo con ello la potencia requerida.

4.4.4 POTENCIA CONTRATADA EN CFE SEGÚN LO REQUERIDO

La potencia que se puede contratar se mide en kilowatts o también conocido como kilovatios (kW) y, lo general se clasifican por múltiplos de 1.15 kW. Es decir, se pueden contratar potencias de 1.15 kW, 2.30 kW, 3.45 kW, 4.60 kW, 5.750 kW, 6.90 kW, 8.05 kW o 9.20 kW.

<http://www.consumer.es/web/es/bricolaje/electricidad/2002/05/21/46247.php>

En general, el consumo promedio de una casa es 5.75 kW, es decir 5750 kilowatts.

Potencia x Tiempo = Consumo (energía consumida)

4.5 PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Más del 85% de las instalaciones que generan electricidad a partir del biogás de relleno sanitario utilizan motores de combustión interna, siendo el porcentaje restante compartido por turbinas de gas y microturbinas. Los motores de combustión interna son la tecnología ideal para aplicaciones entre 800 kW y 3 MW, para mayores tamaños se utilizan turbinas de gas (> 5 MW) y las microturbinas para potencias que van de 30 kW a 250 kW. (USEPA, 2012)

Sistema de bombeo de gas. Consta de un soplador que provee la presión negativa en la red colectora, para trasladar el biogás del relleno sanitario a la estación de acondicionamiento.

Sistema eliminador de humedad. Consiste en un condensador de la humedad presente en el biogás, donde el agua se retorna al relleno sanitario.

Módulo de acondicionamiento del biogás para separación de impurezas. Después de eliminar la humedad, se remueve del biogás mediante un sistema de filtros o absorbedores.

Compresor de gas. Para proveer la presión requerida del mismo para la operación del motor a gas.

Paquete motogenerador. Donde incluye un motor de combustión interna a gas con bujía que trabaja de manera similar a un motor de un automóvil, con la diferencia que en lugar de gasolina usa biogás. Se acopla a un generador eléctrico que permite generar la electricidad.

Antorcha. Es utilizada para quemar el biogás no utilizado por la planta eléctrica.

Sistema de medición de gas. Cuenta con analizadores para determinar la composición de gas, y un medidor de flujo para contabilizar con precisión el flujo de biogás.

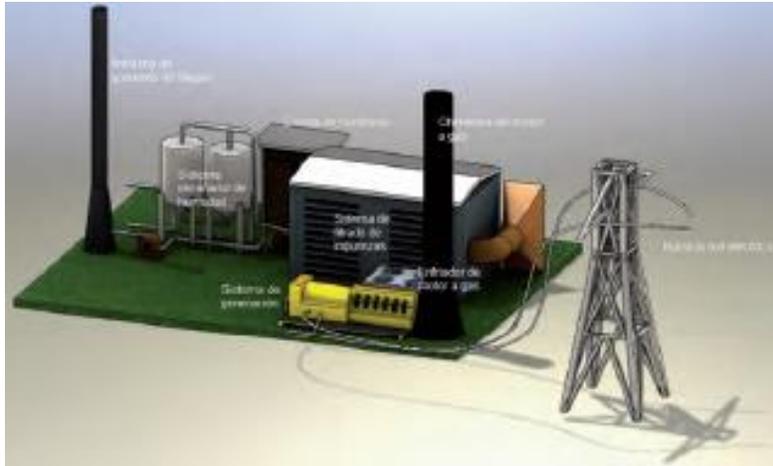


Figura 30. Equipos principales de acondicionamiento del gas y de generación eléctrica. (CFE, 2012)

4.6 MANEJO DEL GAS Y GENERACIÓN ELÉCTRICA

- El relleno sanitario se forma de residuos comprimidos y es sellado por capas de tierra u otros materiales y una geomembrana.
- En el relleno se hacen pozos para colocar tubería con perforaciones para extraer el gas. Los pozos verticales de extracción de gas son de 4 a 6 pulgadas (10.16 a 15.24 cm) de diámetro y por lo general son instalados después de que el relleno sanitario o porciones de él han sido completados.
- Una red de tubería une todos los pozos y transporta el biogás hasta cabezales en donde se monitorea y evalúa el comportamiento de la sección de pozos. El biogás es conducido en tubería flexible de PVC o polietileno de alta densidad hasta las instalaciones anexas, donde se procederá ya sea a su quemado, o a su acondicionamiento previo para uso como combustible en el paquete de generación eléctrica.
- El biogás es pasado por un sistema de filtrado de impurezas que pudieran dañar los componentes del motogenerador y reducir la eficiencia del sistema, y por un condensador para retirar la humedad. Esta planta puede tener equipo adicional lavador de gas para purificar el metano, separando el bióxido de carbono.

- El biogás es extraído del relleno mediante una bomba que crea una presión negativa en éste, con lo que de esta manera fluye hasta las instalaciones de quemado o acondicionamiento.
- El biogás llega hasta el lugar donde se encuentran los motores de combustión interna
- El biogás es quemado en el motor, generando la electricidad en el generador eléctrico.
- Un transformador incrementa el voltaje para poder ser incorporado a la red eléctrica

CAPITULO 5. MODELO DE NEGOCIO PARA LA GENERACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS CAPTURADO DE RESIDUOS SÓLIDOS

5.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El presente trabajo tiene como finalidad poder brindar conocimiento aplicable al municipio de Texcoco, Estado de México; para poder implementar las ideas, cálculos y beneficios a los texcocanos y que en un futuro no muy lejano no se sufra de enfermedades acarreadas por la contaminación de los rellenos sanitarios, además de poderse beneficiar económicamente con el proyecto de la generación de electricidad utilizando los residuos sólidos orgánicos del municipio que hasta hoy día no se obtiene nada benéfico.

El municipio de Texcoco se localiza en el oriente del Estado de México, colinda al norte con los municipios de Atenco, Chiconcuac, Chiautla, Papalotla y Tepetlaoxtoc, al oeste con los municipios de Nezahualcoyotl y Chimaluacan, al sur con San Vicente Chicoloapan y al oriente (este) con los Estados de Tlaxcala y Puebla.

El municipio de Texcoco tiene una superficie territorial de 41,869.4 hectáreas, es decir 418.694 kilómetros cuadrados. El cual representa el 1.86 por ciento de la superficie del estado de México. (García Bastian Victor. Director de Desarrollo Urbano y Ecología., 2003-2006) Dicho municipio se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas, longitud mínima 98° 39' 28", longitud máxima 99° 01' 45", latitud mínima 19° 23' 40" y latitud máxima 19° 33' 41". A una altitud media de 2,240 m.s.n.m



Figura 31. Mapa de localización de Texcoco. (García Bastian Victor. Director de Desarrollo Urbano y Ecología., 2003-2006)

Este municipio es uno de los 125 que forman parte del Estado de México, se compone de la cabecera municipal y 56 comunidades. (García Bastian Victor. Director de Desarrollo Urbano y Ecología., 2003-2006)

Cabe señalar que el proyecto se encuentra en un área estratégica ya que si al paso de los años, los municipios aledaños a Texcoco deciden aliarse a este, se encuentran a una distancia bastante considerable, lo cual no involucraría mayores gastos de traslado de la materia prima.

5.1.1 DIAGNÓSTICO

La cantidad de recursos naturales que hay en Texcoco, han sido alterados por la sobrepoblación, mal manejo forestal (quema del monte y poca conciencia por la reforestación), cambio del uso del suelo sin planeación, sobreexplotación de los mantos freáticos, contaminación de los ríos, deforestación irracional y erosión. (Enrique, 2007)

Cabe mencionar que en muchas de las comunidades se tiene una mala conciencia sobre el manejo de la basura pues en muchos de los casos es quemada o tirada en las barrancas e incluso en la misma calle.

Si bien es cierto que el panorama actual es desalentador, también es indudable que existen oportunidades que nos pueden permitir cambiar el rumbo hacia un desarrollo sustentable, que satisfaga las necesidades sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias, por lo que para ponerlo en práctica requiere que sea técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable. (Enrique, 2007)

El problema en el que nos centraremos es la elevada generación de basura, donde la causa es la sobrepoblación, el consumismo y la falta de un sistema de manejo de residuos sólidos.

Otro problema que se presenta son camiones insuficientes de recolecta de basura (es por ello que en muchos de los casos se opta por quemarla o tirarla en las barrancas y ríos, tomando a estos como basureros), falta de espacios para depositar la basura.

5.1.2 CANTIDAD DE BASURA EN EL MUNICIPIO DE TEXCOCO

De acuerdo a datos recabados en el Ayuntamiento de Texcoco, se encuentra que al día se disponen de 100 toneladas de basura al día en promedio, mismas que se envían a una planta tratadora privada ubicada en San Vicente Chicolopan.

El pago que realiza el municipio a la planta procesadora es de 140 pesos/Ton. Pero datos recabados en otras zonas indican que se tienen costos diferenciados según los desechos a tirar.

Hoy día el Ayuntamiento cuenta con 15 camiones de basura los cuales son los que dan el servicio a la cabecera de Texcoco y sus 56 comunidades. (Fuente: Consulta personalmente en las oficinas del Ayuntamiento).

El municipio de Texcoco tiene un total de 235, 151 personas, de las cuales 115,648 son hombres y 119, 503 son mujeres.

En la ramificación de la base de datos INEGI, Sistema Estatal y Municipal de base de datos, se encuentran los valores reportados de la cantidad de residuos municipales de Texcoco, del año 2002-2015, y en donde se aprecia una diferencia drástica según la reportada vía oficinas.

Año	(miles de toneladas al año)	Toneladas al día
2002	91	249.3150685
2003	No se reporta	No se reporta
2004	91	249.3150685
2005	58	158.9041096
2006	58	158.9041096
2007	No se reporta	No se reporta
2008	69	189.0410959
2009	69	189.0410959
2010	69	189.0410959
2011	77	210.9589041
2012	33	90.4109589
2013	33	90.4109589
2014	33	90.4109589
2015	128	350.6849315
	67.41666667	184.7031963

Tabla 15. Volumen de basura recolectada.

(SIMBAD-INEGI, 2015)

De lo cual se concluye un estimado de 1.491 kg de generación de basura por día per cápita en el año 2015.

En la figura 34, se muestra el comportamiento, de forma gráfica, del volumen de basura recolectada en miles de toneladas al año.

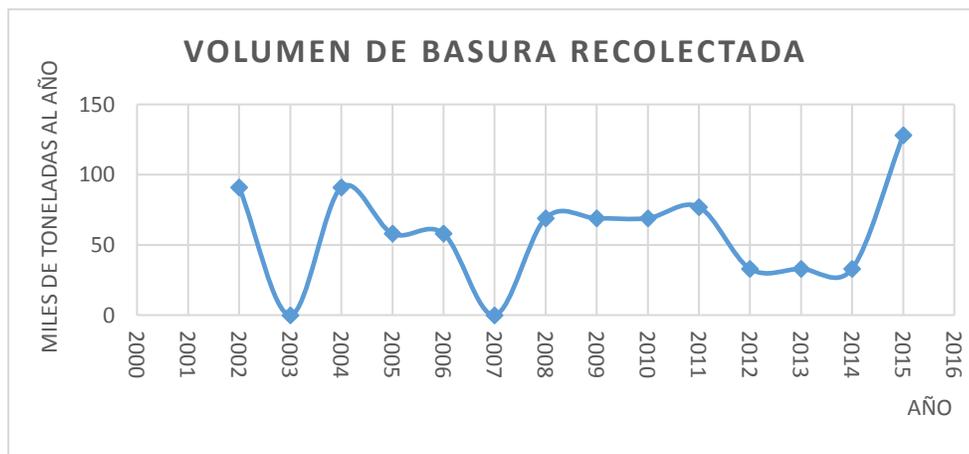


Figura 32. Volumen de basura recolectada anualmente en el municipio de Texcoco. Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada

De acuerdo a los datos observado existe mucha variación de un año con otro, pero todo apunta a que esta ira en aumento si el aeropuerto, hasta hoy ya avanzado, se pone a trabajar.

Lugar	Total	Hombre	Mujer
Texcoco	235,151	115,648	119,503

Tabla 16. Número de habitantes en el municipio de Texcoco.

(INEGI, Datos de población, 2015)

De acuerdo a presentes datos estadísticos, se busca que en Texcoco se tenga la implementación de una planta generadora de electricidad a partir del uso de biogás capturada de los residuos sólidos del municipio.

5.1.3 RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

La recolección de la materia prima, para la empresa generadora de electricidad, se realiza en la cabecera de Texcoco y las 56 comunidades con la ayuda de 15 camiones pertenecientes al municipio. Donde las comunidades que conforman a dicho municipio se muestran en el Anexo A.

5.2 BENEFICIOS PARA EL MUNICIPIO AL DESARROLLAR EL PROYECTO

Al generar su propia energía eléctrica, el gobierno local puede disminuir sus costos por pago de la misma (esto en el caso de que el gobierno de Texcoco opte por tomar el proyecto).

Se tendrá una derrama económica local (en la fase de construcción, empleos temporales y fijos) por el desarrollo del proyecto.

Mejora en la calidad del aire local y disminución de riesgos en la salud, ya que otros compuestos orgánicos diferentes al metano y el dióxido de carbono son destruidos al quemarse.

Reducción de malos olores del relleno por la presencia de sulfatos (olor a huevo podrido).

Al capturar los gases de metano y dióxido de carbono por un buen manejo en el relleno sanitario y la quema de los mismos, implica una reducción de gases de efecto invernadero (GEI).

5.3 CANTIDAD DE GAS METANO DE ACUERDO AL MODELO MEXICANO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE BIOGÁS

Año	Producción de gas en [m3/año]	Producción de gas en [m3/hora]
2019	138,870.40	126.82
2020	275,941.34	157.50
2020	411,230.31	234.72
2021	544,754.65	310.93
2021	676,531.53	386.15
2022	806,578.00	460.38
2022	934,910.96	533.62
2023	1,061,547.13	605.91
2023	1,186,503.14	677.23
2024	1,309,795.42	747.60
2024	1,527,574.43	871.90

Tabla 17. Cuantificación de biogás de acuerdo a modelo mexicano.

Fuente: Elaboración propia en base a modelo mexicano.

5.4 UBICACIÓN DEL TIRADERO A CIELO ABIERTO, EN SAN VICENTE CHICOLOAPAN.



Figura 33. Ubicación del Relleno Sanitario. San Vicente Chicoloapan.

Se estima una superficie aproximada de 343.4218 acres = 138.978 Ha
Es decir con un total aproximado de 1'389,780.09 m2 = 1,389.78 km2 = 343.4218 acres (Maps, 2018)

5.5. COSTOS

Para los costos variables se dividen en cuatro principalmente:

a) SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y QUEMA

Los componentes típicos incluyen:

- Ingeniería, permisos y administración
- Pozos y boca de pozo
- Sistemas de recolección de tuberías
- Sistema de eliminación de condensados
- Sopladores
- Instrumentos de control
- Quemadores
- Sitio de monitoreo
 - 1. Costo de Perforación y Movilización de Tripulación de Tubería

(CPMTT)

$$CPMTT = CVP * UP \dots \dots \dots Ec. (1)$$

Crterios y empleados:

Donde:

CVP = Costo Variable por Perforación, con base a Environmental Protection Agency (EPA) se estima, USD\$ 20,000

UP = Unidad de Pozo, donde esto implica el número de pozos a perforar.

- 2. Costo de Instalación de Extracción de Gas de Pozos Verticales

(CIEG)

$$CIEG = PPR * CVIE \dots \dots \dots Ec. (2)$$

Donde:

PPR = Profundidad Promedio de los Residuos en pies (ft), donde a la profundidad promedio estimada de los residuos, serán restados 10 ft; esto último con base a EPA. [ft]

CVIE= Costo Variable de Instalación de Extracción por cada Pozo, se estima USD\$85 por cada pie perforado, con base a un estimado de EPA. [USD\$/ft]

Para este proyecto la profundidad promedio es de 12 mts = 39.37 feet

- 3. Costo de Instalación de Boca de Pozo (wellheads and pipe) y tubería de sistema de recolección. **(CIBP)**

$$CIBP = CVIBP * UP \dots \dots \dots Ec. (3)$$

Donde:

CVIBP = Costo Variable de Instalación de Boca de Pozo, con base a Environmental Protection Agency (EPA) se estima, USD\$ 17,000

UP = Unidad de Pozo, donde esto implica el número de pozos a perforar.

- 4. Costo de Instalación de Acondicionamiento de Gas: costo de instalación de eliminador de condensados, soplador (blower) y sistema de quemado. **(CAG)**

$$CAG = Q * CFAG \dots \dots \dots Ec. (4)$$

Donde:

Q = Gasto de gas en ft³/min, elevado a la 0.61, es decir; (ft³/min) 0.61.

CFAG = Costo Fijo de Acondicionamiento de Gas, se estiman USD\$ 4,600 de acuerdo a la EPA.

- 5. Ingeniería, permisos e inspección. **(IPE)**

$$IPE = CI * UP \dots \dots \dots Ec. (5)$$

Donde:

CI = Costo de Ingeniería, con base a EPA, se estima en USD\$700

UP = Unidad de Pozo

- 6. Costos Anuales de Operación y Mantenimiento de Extracción (excluyendo costos de energía) **(CAOME)**

$$CAOME = COME * UP + CUQ \dots \dots \dots Ec. (6)$$

Donde:

COME = Costo de Operación y Mantenimiento de Extracción, de acuerdo a EPA se estima en USD\$ 2,600

UP = Unidad de Pozo

CUQ = Concepto de Uso de Quemador, en base a EPA se estima en USD5, 100

b) SISTEMAS DE USO DIRECTO

Los componentes típicos incluyen:

- Ingeniería, permisos y administración.
- Compresor y unidad de deshidratación
- Tubería para transportar gas a planta de generación eléctrica
- Sitio de monitoreo
 - 7. Costos de Instalación de Filtros, Compresores y Unidades de Deshidratación. **(CIFCUD)**

$$CIFCUD = CFCUD * Q + CFIE \dots \dots \dots Ec. (7)$$

Crterios empleados:

Donde:

CFCUD = Costo de Filtros, Compresores y Unidad de deshidratación, en base a EPA se estima en USD\$360

Q = Gasto de acuerdo a EPA, se mide en, ft³/min

CFIE = Costo Fijo de Instalación de Equipo, de acuerdo a EPA, se estima en USD\$830,000

- 8. Costo de Instalación de Tubería. **(CIT)**

$$CIT = CVT * LT + CFIT \dots \dots \dots Ec. (8)$$

Con base a EPA se tienen dos criterios I) para flujos menores de 1,000 pies cúbicos por minuto, donde el diámetro óptimo es 8 pulgadas y II) para flujos que oscilan entre 1,001 - 3,000 pies cúbicos por minuto.

I) Para tasas de flujo ≤ 1,000 ft³/min (8 pg. Ø.)

Donde:

CVT = Costo Diámetro de Tubería, de acuerdo a EPA, se estima en USD\$80 para un diámetro de 8 pg, donde en este trabajo de investigación es el que se ocupa.

LT = Longitud de tubería en pies (ft)

CFIT = Costo Fijo de Instalación de Tubería, de acuerdo a EPA, se estima en USD\$ 178,000

II) Para tasas de flujo 1,001 - 3,000 ft³/min (12 pg. Ø.) En este caso variaría CVT y CFIT, donde;

CVT = Costo Diámetro de Tubería, de acuerdo a EPA, se estima en USD\$106

CFIT = Costo Fijo de Instalación de Tubería, de acuerdo a EPA, se estima en USD\$ 207,00

- 9. Costo Anual de Operación y Mantenimiento de Uso Directo (excluyendo electricidad) **(CAOMUD)**

$$CAOMUD = COMUD * QUD \dots \dots \dots Ec. (9)$$

Donde:

COMUD = Costo de Operación y Mantenimiento de Uso Directo, de acuerdo a EPA, se estima en \$USD57, 000

Q = Gasto de Uso Directo, medido en pies cúbicos por minuto, dividido por un factor de 700, donde todo esto va elevado al 0.2, es decir; $((ft^3/min)/700)^{0.2}$

c) SITIO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE MOTOR RECIPROCANTE

Los componentes típicos incluyen:

Motor reciprocante (motor de combustión interna) y generador (incluye control de motor, interruptor, radiador, escape, silenciadores, todo el cableado y plomería)

Equipo de conexiones eléctricas.

Ingeniería de instalaciones totales, diseño y permisos.

- 10. Costo de instalación del Moto generador. **(CIM)**

$$CIM = CI * K + CFI \dots \dots \dots Ec. (10)$$

Criterios empleados:

Donde:

CI = Costo de Instalación, estimado en USD\$1,300, de acuerdo a EPA.

K = Capacidad de la planta generadora en KW

CFI = Costo Fijo por Interconexión, de acuerdo a EPA, se estima en USD\$250,000

- 11. Costo anual de Operación y Mantenimiento en I Generación de Energía **(CAOMGE)**

$$CAOMGE = COMG * KGA \dots \dots \dots Ec. (11)$$

Donde:

COMG = Costo de Operación y Mantenimiento en Generación, de acuerdo a EPA, se estima en USD\$0.025

KGA = Capacidad generada al año, (kWh generado/año)

Fuente: Desde la ecuación 1 a la 11, la fuente es Environmental Protection Agency (EPA, 2015)

d) COSTO DE AISLAMINETO CON GEOMEMBRANA (**CAG**)

➤ 12. Costo de geo membrana por metro cuadrado (m2)

$$CAG = CG * MCO \dots \dots \dots Ec. (12)$$

Donde;

CG = Costo de geomembrana, USD\$2.27 por cada metro cuadrado, con 15 milímetros (mm) de grosor.

MCO = Metros Cuadrados Ocupados (m2)

Fuente: Investigación de campo.

5.6 PLAN FINANCIERO

5.6.1 INVERSIÓN

PRESUPUESTO DE INVERSION				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO EN USD\$ / UNIDAD	IMPORTE
INVERSION FIJA				
Terreno	Ha	139	20,000	2,780,000
Geomembrana	Ha	8.00	22,700.00	181,600
Planta generadora de luz a biogás (CG170-12 de 1,200 Kw)	Unidad	4	710,000.00	2,840,000
Excavadora 374 FL	Unidad	1	1,080,000	1,080,000
Tractor topador D9T WH/310 HP	Unidad	1	1,040,000	1,040,000
Landfill Compactador (maquinaria)	Unidad	1	634,000	634,000
Camión de carga	Unidad	1	100,000	100,000
(3) Palas rectas	Pieza	3	7.50	22.50
(3) Picos	Pieza	3	5.00	15.00
(2) Rastrillos	Pieza	2	5.00	10.00
(2) Carretilla	Pieza	2	45.00	90.00
Instalación de luz	Unidad	1	750.00	750.00
Instalación de agua	Unidad	1	500.00	500.00
Cisterna (de 25,000 L)	Unidad	1	5,000	5,000.00
Bomba centrífuga	Pieza	1	150.00	150.00
Baño	Unidad	1	1,500	1500
Subtotal				8,663,637.50
Inversión diferida				
				-
Asistencia técnica	Asesoría	1	2,500.00	2,500.00
Subtotal				2,500.00
Capital de trabajo				
				448,788.56
TOTAL				9,114,926.06

Tabla 18. Necesidades de inversión

*Las características técnicas del generador eléctrico a biogás se encuentra en el anexo C. Fuente: Elaboración propia, con base en investigación de Campo.

Suponemos que del total de la inversión el 50% se obtiene vía crédito por parte del Banco Mundial donde su tasa de interés es del 7.75%, y el 50% restante proviene de aportación del municipio, en cuanto al capital de trabajo el 30% es aportación de los socios y el 70% restante es mediante un crédito de avió, también del Banco Mundial.

Teniendo una inversión total del USD\$ 9, 514,808.72.

5.6.2 COSTOS

Se separaron los costos de producción en costos fijos y costos variables. Siendo los primeros aquellos costos que se generan a través del tiempo y que no varían con el nivel de producción. Los costos variables son aquellos que varían de acuerdo al nivel de producción. Dentro de los costos fijos están considerados los pagos de agua, mano de obra (operadores, administrativo, vigilancia y personal extra), el combustible de máquinas y 1 camión. En las siguientes tablas se muestran solo hasta el quinto año, pero el horizonte del proyecto es a 15 años.

Años	1	2	3	4	5
Costos Fijos de operación	520,681.37	520,681.37	520,681.37	520,681.37	520,681.37
Combustible para maquinas y camión	13,000.00	13,000.00	13,000.00	13,000.00	13,000.00
Pago de operadores (4)	18,000.00	18,000.00	18,000.00	18,000.00	18,000.00
Administrativo (1)	9,000.00	9,000.00	9,000.00	9,000.00	9,000.00
Vigilancia (2)	7,200.00	7,200.00	7,200.00	7,200.00	7,200.00
Personal extra para revisión, maniobras y mantenimiento (3)	12,600.00	12,600.00	12,600.00	12,600.00	12,600.00
Pago de agua	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00

Tabla 19. Costos Fijos

Los costos que están directamente relacionados con el nivel de producción serán: perforación de pozos verticales para la extracción de gas, instalación de boca de pozo, instalaciones de eliminador de condensados, sistema de quemado, filtros e instalación de tuberías

Costos variables de operación (USD\$)	2,916,222.36
SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y QUEMA	
CPMTT	20,000.00
CIEG	49,929.00
CIBP	340,000.00
CAG	12,278.05
CAOME	57,100.00
SISTEMAS DE USO DIRECTO	
CIFCUD	831,800.00
CIT	186,000.00
CAOMUD	21,215.30
SITIO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
CIM)	1,395,500.00
CAOMGE	2,400.00

Tabla 20. Costos variables.

*Para recordar a que se refiere cada abreviatura, puede dirigirse a las páginas 55 y 56 de esta investigación.

Años	1	2	3	4	5
Costos totales	3,436,903.72	520,681.37	520,681.37	520,681.37	520,681.37

Tabla 21. Costos totales.

5.6.3 DEPRECIACIÓN DE INVERSIÓN FIJA

La depreciación representa el costo anual por el uso de activos fijos como lo son la maquinaria pesada (excavador, tractor topador, compactador, camión, y otros). La depreciación anual es de USD\$ 482,921 y un valor de rescate por activos fijos de USD\$7, 059,025.

Depreciación	VALOR INICIAL	Tasa de depreciación en %	Año 1	Año 2	Año 3
Terreno	2,780,000	0%	0	0	0
Geomembrana	181,600	5%	9,080	9,080	9,080
Planta generadora de luz a biogás (CG170-12 de 1,200 Kw)	2,840,000	5%	142,000	142,000	142,000
Excavadora 374 FL	1,080,000	10%	108,000	108,000	108,000
Tractor topador D9T WH/310 HP	1,040,000	10%	104,000	104,000	104,000
Landfill Compactador (maquinaria)	634,000	10%	63,400	63,400	63,400
Camión de carga	100,000	33%	33,333	33,333	33,333
(3) Palas rectas	23	33%	7	7	7
(3) Picos	15	33%	5	5	5
(2) Rastrillos	10	33%	3	3	3
(2) Carretilla	90	33%	30	30	30
Instalación de luz	750	5%	38	38	38
Instalación de agua	500	5%	25	25	25
Cisterna (de 25,000 L)	5,000	5%	250	250	250
Bomba centrífuga	150	20%	30	30	30
Baño	1,500	5%	75	75	75
Total Depreciación	8,663,637.5		460,201	460,201	460,201
Amortización					
0	-	10%	-	-	-
Asistencia Técnica	2,500	20%	500	500	500
Total Amortización	2,500		500	500	500
Total	8,666,138		460,701	460,701	460,701

Tabla 22. Depreciación de inversión fija

* Fuente: Elaboración propia. En la tabla solo se muestra hasta el año 3, pero el horizonte del proyecto es a 15 años.

5.6.4 INGRESOS Y EGRESOS DE LA EMPRESA

En la siguiente tabla se encuentran los ingresos generados por ventas de energía eléctrica y los costos totales de la actividad, en resumen se encuentran todas las operaciones financieras que la empresa realiza. Se muestra el flujo operacional de la empresa a 5 años, pero cabe mencionar que el proyecto es de largo plazo y se propuso a 15 años.

Los ingresos generados corresponden únicamente a la venta de energía eléctrica, a las instalaciones de gobierno, y hospitales.

El primer año presenta un flujo de efectivo negativo, mientras que en los posteriores años se presenta un flujo positivo, es decir los ingresos son mayores a los costos

totales. A medida que el proyecto crezca y requiera de mayores inversiones, quizá tendremos flujos de efectivo negativos en los años de reinversión y costos, pero esto se compensaría ya que se tendrían mayores ingresos por generación de electricidad, de los hasta ahora proyectados.

		1	2	3	4	5
	INGRESOS TOTALES EN EFECTIVO (USD\$)	12,553,917	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991
1	Ingresos totales por ventas	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991
2	Aportacion	4,647,721				
3	VIA CREDITO	4,467,205				
4	Valores residuales					
	EGRESOS TOTALES EN EFECTIVO (USD\$)	12,103,250	812,512	812,512	812,512	812,512
1	Inversiones en activos fijos	8,663,638				
2	Inversiones en activos diferidos	2,500				
3	Reinversiones					
4	Costos totales	3,436,904	520,681	520,681	520,681	520,681
5	I.S.R. (0%)	-	-	-	-	-
6	PTU.	209	291,831	291,831	291,831	291,831
	FLUJO DE EFECTIVO (USD\$)	450,667	2,626,479	2,626,479	2,626,479	2,626,479

Tabla 23. Flujo de efectivo.

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de Campo, los valores residuales se visualizan en el año 15, y las inversiones en el año 11, es por ello que aunque en la tabla 23 no se aprecian esos valores se optó por no eliminar la fila ya que en el apartado del anexo F se encuentra la tabla completa.

5.6.5 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para calcular la tasa de rentabilidad mínima aceptable (TREMA), se consideró lo siguiente:

TASA DE RENTABILIDAD MINIMA ACEPTABLE	
Costo de capital	7.75%
Riesgo (inflación)	4.50%
BENEFICIO	10%
TREMA	22.25%

Tabla 24. Calculo de la TREMA

Fuente: Elaboración propia, el costo de capital es considerando que el crédito proviene del Banco de Mundial, el valor de inflación (aquí considerado como riesgo) proviene del Banco de México.

Para que el proyecto de generación de energía eléctrica a partir de biogás capturado de residuos pueda funcionar es de 22.25%. Recordando que el costo de capital, es de 7.75% debido a que provendría del Banco de México, para fines de desarrollo social.

Se considera un proyecto social, donde se estima un beneficio del 10% como utilidad total, en base a un oficio emitido por la Secretaria de Hacienda y Crédito Público.

Bajo esta tasa se actualizaron los ingresos y los costos para calcular el valor actual neto (VAN) y la relación beneficio costo (RBC).

		AÑOS DE OPERACIÓN DEL PROYECTO					
		0	1	2	3	4	5
A	BENEFICIOS CON EL PROYECTO	0	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991
	1 Ingresos totales		3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991
	2 Recuperación del CT.						
	3 Valor de rescate						
B	COSTOS CON EL PROYECTO	9,114,926	3,437,112	812,512	812,512	812,512	812,512
	1 Costos de operación		3,436,904	520,681	520,681	520,681	520,681
	2 Impuestos sobre la renta (0%)		-	-	-	-	-
os Trat	3 PTU.		209	291,831	291,831	291,831	291,831
	4 Inversión en activos fijos	8,663,638					-
	5 Inversión en activos dif.	2,500					
	6 Capital increm. Trabajo	448,789					
C	FLUJO DE FONDOS INCREMENTAL	-	1,878	2,626,479	2,626,479	2,626,479	2,626,479

Tabla 25. Flujos utilizados para calcular los indicadores de rentabilidad.

*La recuperación del Capital de Trabajo y el Valor de Rescate, se verán reflejados hasta el último año del horizonte el proyecto, es decir; en el año 15.

CONCEPTOS	
VALOR ACTUAL DE LOS BENEFICIOS (USD\$)	13,723,972
VALOR ACTUAL DE LOS COSTOS (USD\$)	12,766,045
VALOR ACTUAL NETO (VAN) (USD\$)	957,927
RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C)	1.075
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	24.85%
INVERSIÓN TOTAL (USD\$)	9,114,926

Tabla 26. Rentabilidad.

De acuerdo a la evaluación realizada, con los indicadores presentados, se tiene un VAN mayor que cero, lo que significa que el proyecto además de la recuperación, las utilidades y ganancias, se tendrá al final de los 15 años una ganancia extra, un excedente de dinero. Se tiene una TIR (24.85%) mayor que la TREMA (22.25%), lo que indica viabilidad. Y por último la relación Beneficio-Costo es de 1.075, es decir que por cada peso invertido se tendrán 75 décimas de centavos como ganancia.

5.6.6 ANÁLISIS DE RIESGO

Indicadores de rentabilidad en la merma o pérdida de energía eléctrica.

CONCEPTOS	
VALOR ACTUAL DE LOS BENEFICIOS (USD\$)	12,324,572
VALOR ACTUAL DE LOS COSTOS (USD\$)	12,303,965
VALOR ACTUAL NETO (VAN) (USD\$)	20,607
RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C)	1.002
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	22.31%

El proyecto soporta hasta un 13% en mermas debido a operaciones de transferencia de energía eléctrica.

Análisis de rentabilidad con aumento de los costos.

CONCEPTOS	
VALOR ACTUAL DE LOS BENEFICIOS (USD\$)	13,723,972
VALOR ACTUAL DE LOS COSTOS (USD\$)	13,659,668
VALOR ACTUAL NETO (VAN) (USD\$)	64,304
RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C)	1.005
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	22.41%

El proyecto soporta un aumento en los costos, en hasta 7%, arriba de este porcentaje deja de ser económicamente rentable.

Análisis de rentabilidad con una reducción de los ingresos.

CONCEPTOS	
VALOR ACTUAL DE LOS BENEFICIOS (USD\$)	12,366,554
VALOR ACTUAL DE LOS COSTOS (USD\$)	12,317,827
VALOR ACTUAL NETO (VAN) (USD\$)	48,727
RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C)	1.004
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	22.39%

El proyecto sólo soporta una reducción en los ingresos del 10%, mayores a este porcentaje arrojan indicadores no viables.

Los ingresos se ven afectados por la producción de energía producida, como el precio pagado por los consumidores. El proyecto soporta bajar hasta 4,300 kW por máquina, por debajo de esta producción se vuelve inviable económicamente.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En este trabajo de investigación se optó por la alternativa de generación de energía eléctrica por medio de un moto generador de combustión interna a biogás, ya que una planta generadora de electricidad por medio de calderas, es una opción más costosa, así como un personal mucho más capacitado para operar y dar mantenimiento, además de considerar que las calderas son ocupadas para generar por arriba de los 5 MW.
- En un tiradero a cielo abierto se tienen altas emisiones de gases de CO₂, y CH₄ principalmente, además de un foco de infección (para la gente más cercana), la mala presencia del lugar y el mal olor (olor a huevo podrido, debido al ácido sulfhídrico).
- La cantidad de dinero que hoy día se paga a los tiraderos de la zona de Texcoco, es dinero desaprovechado, ya que de cierta forma se paga solo por almacenar los residuos sólidos urbanos (RSU) del municipio, pero el problema social y ambiental persiste.
- El modelo que se propone en la tesis, servirá como prototipo a seguir, con la finalidad de poderse beneficiar social, económica y ambientalmente.
- La generación de energía eléctrica a partir de biomasa residual, es un proyecto a largo plazo, en este trabajo lo abordamos a 15 años.
- Este modelo es reproducible ya que lo podemos pasar a cualquier parte de la república e incluso a cualquier parte del mundo con solo modificar algunos parámetros como son: el índice de generación de metano (k), generación potencial de metano (L0), los costos variables y en su defecto actualizar los costos de la maquinaria involucrada en el proyecto.
- Se deben generar espacios para fomentar educación ambiental, en donde se enseñe a la población a recolectar, separar y producir menos residuos.
- Con este proyecto habría generación de oportunidades de empleo en el municipio de Texcoco e ingresos locales, desarrollo industrial, saneamiento (lugar donde se establecen condiciones sanitarias) rural y ambiental.

- Reducción de emisiones de gases de efectos invernaderos (GEI) debido al buen manejo de los residuos sólidos.
- Además de tener un alto justificante por la parte ecológica (ambiental), este tipo de proyectos se vuelve muy atractivo, ya que no se pagan impuestos (de acuerdo a una visita realizada a las oficinas de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público) al provenir de una energía renovable. Y al mismo tiempo se contribuye de forma considerable ya que hoy día en la zona de Texcoco se tienen muchos tiraderos a cielo abierto, e incluso hay varios de los cuales ya se encuentran cerrados, pues ya están al tope, mas sin embargo, la generación de residuos va en aumento ya que tan solo el aumento de la población del 2010 al 2015 paso de 112, 336,538 a 119, 938,473, es decir un crecimiento del 6.8%.
- A la fecha el municipio de San Vicente Chicoloapan recibe residuos del Municipio de Texcoco y de la ciudad de México pues ya que en la visita a este tiradero se encontró con varios de los tráileres de la ciudad de México.
- Se tendrá una derrama económica local (en la fase de construcción, empleos temporales y fijos) por el desarrollo del proyecto.
- Existe muy poca investigación y divulgación de este tema en México, considero que es de gran importancia fomentar la creación de más plantas generadoras de electricidad a partir del uso de biogás, lo cual traería beneficios económicos, sociales y ambientales de gran impacto.
- En México hoy día solo existen en tres partes en la República Mexicana que generan energía eléctrica mediante el uso de biogás, captado de residuos orgánicos (Monterrey, Nuevo León, Aguascalientes, y Ciudad Juárez, Chihuahua), con una producción de energía eléctrica de 11 MW, 2.7 MW y 4.5 MW respectivamente.
- Se propone la creación de una empresa de generación de electricidad, ya que a través de la investigación realizada se puede apreciar que es viable económica, social y ambientalmente. Por la parte económica se observa una TIR del 24.85%, mayor que la TREMA (22.25%), es decir el proyecto da

2.60% más de utilidad de la ya pedida en la TREMA, una relación beneficio costo mayor que uno y al final de los 15 años propuestos del proyecto se tendría una ganancia adicional de \$ 957,927 dólares. Si analizamos la parte social se beneficiaría significativamente a las zonas aledañas, a los hoy tiraderos a cielo abierto, a no tener focos de infección, reducir significativamente malos olores, poderse beneficiar de electricidad zonas marginadas, brindar fuentes de trabajo a la zona. Y por último la parte ambiental, existiría una reducción de emisiones de gases significativa, desde el simple hecho de llevar a cabo un buen manejo de los residuos.

- Con la energía generada en esta planta se podría abastecer a 930 hogares, considerando un consumo de 5 kW por hogar.

LITERATURA CITADA

- Biogás, T. I. (2014). Recomendaciones para políticas públicas de biogás para América Latina y el Caribe. Foz de Iguazú, Brasil: Taller Internacional de Biogás.
- CFE. (2012). Generación de electricidad mediante el uso de residuos sólidos urbanos. México: Unidad de electrificación.
- CONACYT. (2003). RESIDUOS SOLIDOS. CIUDAD DE MEXICO.
- EIA. (JULIO 2011). GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA. EUA: Guías de revision técnica de EIA.
- Enrique, M. S. (2007). Características territoriales, ambientales y sociopolíticas del municipio de Texcoco. Quivera, 185.
- EPA. (2015). Landfill Gas Web Cost. U:S: EPA.
- Europe, B. o. (2009). Produccion de biogas total en Union Europea. Europa: EurObserv ER.
- García Bastian Victor. Director de Desarrollo Urbano y Ecología. (2003-2006). Mapa de localización de Texcoco. Texcoco: Ayuntamiento de Texcoco.
- Guzzone, B., & Muller, D. (2003). Manual de usuario Modelo mexicano de biogas.
- H, C., Moreira , J., & Dong, H. (2011). In IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. USA: Cambridge University Press.
- Hoornweg, D. y. (2012). What a waste. A global review of solid Waste management., papers no.15.
- IIE. (2008). Estudios sobre la factibilidad técnica y economica de generación de electricidad via incineracion de basura municipal en los estados de Puebla, Morelos, Guanajuato, Valle de Mexicali y la Ciudad de Morelia. Comisión Federal de Electricidad.
- INEGI. (2014).
- INEGI. (2015). Datos de población. INEGI.
- INEGI. (2016). Producción de energía primaria.
- internacional, F. (2015). Valorización energética de residuos urbanos. México: Experiencias y estrategias globales.

- IPCC CORE WRITING TEAM et al. . (2007). Synthesis Report contribution of working Groups. Geneva, Switzeland: Climate Change .
- M, P., Ward S, & Owende P. (2010). Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. Appl Energy.
- Mae-Wan. (2008). Biogas bionanza for third world development. Institute of Science in Society.
- Magaña, P. (2011). ¿ Es sólo basura? Ciencias 102, 24.
- Maps, G. (2018). Ubicación de Tiradero. Texcoco: Google Maps.
- Mendez, J. L. (Junio 2009). Bioenergía de Nuevo León S.A de C.V. México, D.F: BENLESA.
- OECD. (2016). Municipal Waste, Generation and Treatment. OECD.
- ONU. (2015). Prospectos de población mundial. Departamento de asuntos economicos y sociales, división de poblacion.
- ONU. (2015). World population prospects. Departamento de información pública.
- OPS. (2003). Evaluacion regional de los servicios de manejo de los residuos sólidos. Organizacion Panamericana de la Salud (OPS).
- Project, M. B. (January 23 2007). Lessons Learned and Expansion Strategy. Conference and Project Expo.
- SEDESOL. (1996). Manual para la operación de rellenos sanitarios. Dirección general de infraestructura y equipamiento.
- SEDESOL. (1996). Manual para la operación de rellenos sanitarios. Dirección general para la infraestructura y equipamiento.
- SEDESOL. (2010). Catálogo de localidades. México: Sistema de Apoyo para Planeación del PDZP.
- SEDESOL. (2012). Direccion general de equipamiento e infraestructura en Zonas Urbano-Marginales. SEDESOL.
- SEDESOL. (2013). Dirección general de equipamiento e infraestructura en zonas urbano marginadas. México.
- SEDESOL. (2013). Generación estimada de residuos sólidos urbanos. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginales.

Sergio Durandeu Stegman. (2010). El caso del relleno sanitario. Santiago, Chile: Conservando guardianes del medio ambiente.

SIMBAD-INEGI. (2015). volumen de basura recolecta en Texcoco.(en miles de Toneladas) . Texcoco.

Stege, G., & Davila, J. (2009). Manual del usuario modelo mexicano de biogas. washington.

USEPA. (2012). A guide to developing and implementing green house reduction programs. Landfill gas energy.

Páginas de internet consultadas:

<https://www.oecd.org/centrodemexico/temas/> consultado el 7 de marzo del 2018

<http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Paginas/default.aspx> consultado el 7 de marzo del 2018

ISR (Ley de Impuesto sobre la Renta). Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/82.pdf>, consultado el 11 de junio del 2017

<https://www.cfe.mx/Pages/Index.aspx> consultada el 14 de junio del 2018

<http://www.banxico.org.mx/portal-mercado-valores/> página consultada el 14 de junio del 2018

<http://powergen.gepower.com/products/reciprocating-engines>
<http://tiie.com.mx/tasa-interes-objetivo-banxico/> Consulta del 15 de junio del 2018

ANEXOS

ANEXO A

Localidades pertenecientes al municipio de Texcoco	
Clave de localidad	Nombre de la localidad
150990006	Guadalupe Amanalco
150990024	San Jerónimo Amanalco
150990038	Santa Cruz de la Constancia
150990070	Xalapango
150990090	El Jardín (Rancho el Jardín)
150990098	La Presa
150990104	San José (El Paraíso)
150990106	Santa Irene
150990108	Santa Lucía
150990109	Santa Martha
150990111	Santa Rosa (Rancho Santa Rosa)
150990113	Ex-hacienda de Tepetitlán
150990116	La Nopalera
150990121	Candelapa (Rancho Candelapa)
150990139	Rancho el Barco
150990140	Ejido San Juan Tezontla
150990141	Pozo el Milagro
150990143	San Agustín
150990144	Los Sauces
150990151	Rancho la Castilla
150990152	San Borja

150990154	Colonia las Tijeras
150990155	La Nopalera (La Siberia)
150990156	Praderas de Tecuac
150990159	Ejidos de Beltrán Cuautlalpan
150990161	Puente Quebrado (Pozo San Isidro)
150990165	Santa María Hidalgo y Carrizo
150990167	Valle de Tláloc (Colonia Valle de Tláloc)
150990168	Ejido los Reyes San Salvador
150990001	Texcoco de Mora
150990003	El Cooperativo
150990005	El Chilar
150990007	San Luis Huexotla
150990008	La Magdalena Panoaya
150990012	Montecillo
150990014	Colonia Nezahualcóyotl (Boyeros)
150990015	Pentecostés
150990016	La Purificación Tepetitla
150990017	La Resurrección
150990018	Los Reyes San Salvador
150990020	San Bernardino
150990021	San Diego
150990022	San Dieguito Xochimanca
150990023	San Felipe
150990025	San Joaquín Coapango
150990026	San José Texopa

150990027	San Juan Tezontla
150990028	San Mateo Huexotla
150990029	San Miguel Coatlinchán
150990030	San Miguel Tlaixpan
150990031	San Nicolás Tlaminca
150990032	San Pablo Ixayoc
150990033	San Sebastián
150990034	San Simón
150990035	Santa Catarina del Monte
150990036	Santa Cruz de Abajo
150990037	Santa Cruz de Arriba
150990039	Santa Inés
150990040	Santa María Nativitas
150990041	Santa María Tecuanulco
150990042	Villa Santiago Cuautlalpan
150990043	Tequexquináhuac
150990044	San Miguel Tocuila
150990045	Santa María Tulantongo
150990046	Unidad Habitacional Emiliano Zapata-ISSSTE
150990047	Vicente Riva Palacio
150990048	Xocotlán
150990052	Lomas de Cristo
150990053	Lomas de San Esteban
150990062	Santiaguito
150990063	Fraccionamiento el Tejocote
150990064	La Trinidad

150990069	San Isidro
150990078	San Andrés (La Alcanforera)
150990081	El Batán
150990083	Rancho la Cabaña
150990086	Hacienda de la Flor
150990093	Colonia Lázaro Cárdenas
150990095	Nextlalpan
150990096	Colonia Guadalupe Victoria
150990102	Rancho San Antonio
150990110	Santa Mónica (Rancho Santa Mónica)
150990114	Colonia Villas de Tolimpa
150990115	Apatzingo
150990117	Rancho Junípero
150990119	San José Tepetitlán (Rancho el Nopal)
150990120	Rancho Gama (El Lago)
150990123	Ejido de Nativitas
150990124	Ejidos de la Magdalena
150990125	Ejido San Andrés (San Isidro)
150990126	Colonia Lázaro Cárdenas
150990127	San Camilo
150990129	Rancho Tecuac
150990130	San Felipe de Jesús
150990132	El Pino (Ejidos del Pino)
150990133	Rancho la Arboleda
150990134	Rancho San Antonio
150990136	Rancho Santo Tomás

150990137	Rancho San Rafael
150990142	Los Niños de San Francisco de Asís [Casa Hogar]
150990145	Rancho Buenavista
150990146	Tecaxhe la Escondida
150990148	Ejido de Chiautla (Colonia Guadalupe)
150990149	Ejido Santa Úrsula (El Colorado)
150990150	Pozo Guadalupe
150990157	Colonia San Judas Tadeo (Ejido de Riva Palacio)
150990158	Ejididos de la Purificación
150990160	Ejido San Felipe
150990162	Tlapahuetzia
150990164	Santa Maria Magdalena
150990166	Plantas de Tratamiento de Agua
150990169	Ejido Tlaminca de Texcotzingo (Ejido San Nicolás Tlaminca)
150990170	San Esteban (San Miguel Tlaixpan)
150990171	Colonia Leyes de Reforma
150990172	Colonia Wenceslao Victoria
150990173	Salitrería
150990174	Unidad Habitacional Embotelladores

ANEXO B

Políticas nacionales para el estímulo del uso de tecnologías de producción de biogás Las afectaciones del cambio climático provocadas por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero son evidentes a nivel mundial y por supuesto, en México. Esta situación ha motivado al establecimiento de políticas nacionales que promuevan acciones eficaces de mitigación y adaptación ante el cambio climático global.

Las políticas públicas en materia de cambio climático que se han promovido en México van dirigidas a la implementación de acciones concretas a través de los diferentes órdenes de gobierno para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Se estableció la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) para dar cumplimiento a los compromisos suscritos por México en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), junto con los demás instrumentos derivados con ellas, particularmente el protocolo de Kioto. Dicha estrategia tiene como objetivo la identificación de las oportunidades para llevar a cabo acciones de mitigación y de adaptación ante el cambio climático. Dentro de sus propuestas está el realizar estudios necesarios para identificar la vulnerabilidad de sectores y áreas de competencia que permitan llevar a cabo proyectos para la mitigación y adaptación al cambio climático (en donde se incluyen los de producción de biogás).

En el marco de esta estrategia y en sinergia con otras dependencias, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Rural (SAGARPA) ha emprendido un Programa de Apoyo a los Agronegocios y Fuentes de Energía Renovable para dar cumplimiento a los compromisos que México firmó, derivados del Protocolo de Kioto.

Las líneas de acción que tienen relación con la producción de biogás son:

- Disminución de la utilización de combustibles fósiles en la generación de energía, por sustitución parcial y progresiva por fuentes de energía renovable.
- Generación de electricidad mediante fuentes de energía renovable para la interconexión a la red convencional.

Por otro lado, la agenda de transversalidad de las políticas públicas que la SEMARNAT establece con otras dependencias de la Administración Pública Federal busca desarrollar estas acciones en sus respectivos ámbitos de competencia.

En este sentido, el Programa Sectorial del Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012, reconoce la importancia de la sustentabilidad ambiental para el desarrollo del país. Por lo que se han articulado estrategias productivas para la promoción de proyectos con tendencia a la producción de bioenergéticos.

ANEXO C

CAT CG170

Generador a biogás marca Carterpillar

Smarter energy solution

COMMERCIAL AND INDUSTRIAL FACILITIES

Facilities such as manufacturing plants, resorts, shopping centers, office or residential buildings, universities, data centers and hospitals reduce operating costs and carbon footprint simultaneously.

ELECTRIC UTILITIES

Caterpillar has led innovation to deliver stationary and containerized gas power plants to electric utilities and district energy facilities around the world for both continuous grid support and peak electricity demand.

MINES

Mining operators increase mine safety and reduce carbon emissions with coal gas, while many other mining operations are realizing the benefits of onsite gas power generation to support greenfield site development.

AGRICULTURE AND FOOD / BEVERAGE PROCESSING

Biogas, a useful byproduct of the anaerobic digestion of organic waste, is created by food processors, ethanol and biodiesel manufacturers, and farms around the world as a renewable fuel resource for Cat® powered electricity generation.

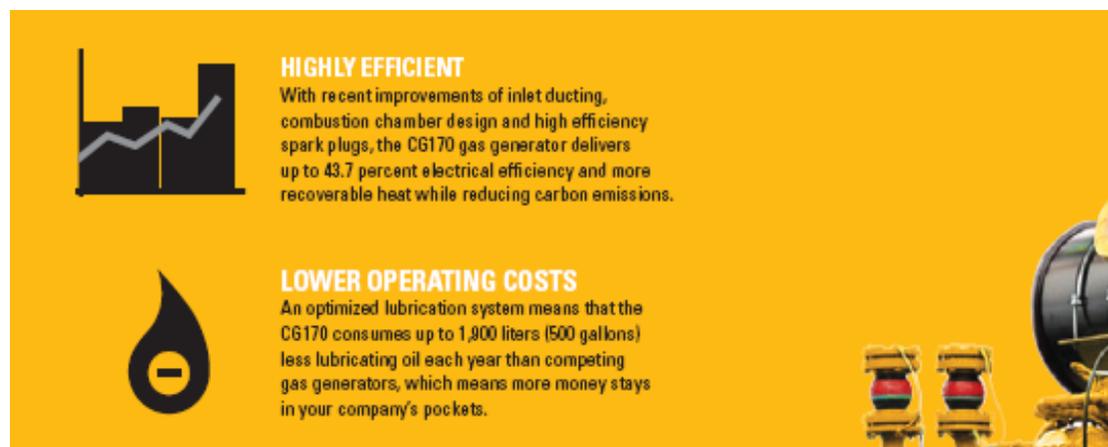
LANDFILLS AND WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Landfill and sewage gases are generated by communities around the world as part of sanitary process infrastructure. Instead of destroying or flaring the methane gas produced, communities make beneficial use of this fuel as part of a sustainable energy program.

GREENHOUSES

In greenhouses, Cat gas generator sets simultaneously deliver electricity for lighting or sale to the local grid, hot water for facility heating, and carbon dioxide as an organic fertilizer for increased crop production.

CG170: HIGH PERFORMANCE



The infographic features a yellow background. On the left, there is a bar chart with a line graph overlaid, showing an upward trend. Below it is a black silhouette of a drop with a minus sign inside. On the right, there is a partial view of a yellow generator with red and black components.

HIGHLY EFFICIENT
With recent improvements of inlet ducting, combustion chamber design and high efficiency spark plugs, the CG170 gas generator delivers up to 43.7 percent electrical efficiency and more recoverable heat while reducing carbon emissions.

LOWER OPERATING COSTS
An optimized lubrication system means that the CG170 consumes up to 1,800 liters (500 gallons) less lubricating oil each year than competing gas generators, which means more money stays in your company's pockets.

GREATER AVAILABILITY
The CG170 utilizes soot-free combustion with chamber plugs for extended maintenance intervals up to 4,000 hours. Newly optimized blow-by gas recirculation reduces turbocharger maintenance intervals and boosts efficiency.

SYSTEM CONTROL
Control the entire system, not just the engine, with the Cat Total Electronic Management System. Control or monitoring of ancillary equipment such as heat recovery modules, exhaust aftertreatment and fuel treatment systems becomes seamless. Features like temperature monitoring for each cylinder and anti-knock control allow for maximum power output and the best possible fuel utilization, even with fluctuating gas composition.

HIGH TRANSIENT RESPONSE
When your facility requires operation isolated from the electric utility grid, an optimized CG170 turbocharging system is provided to ensure transient load response that will keep your operation running.

WHIT LOW OPERATING COST

50 Hz PRODUCT PERFORMANCE

ENGINE TYPE	UNITS	CG170-12		CG170-16		CG170-20	
Bore/stroke	mm in	170/195	6.7/7.7	170/195	6.7/7.7	170/195	6.7/7.7
Displacement	l in ³	53.1	3,240	70.8	4,320	88.5	5,401
Speed	rpm	1500		1500		1500	
Mean piston speed	m/s ft/s	9.8	32	9.8	32	9.8	32
Length ¹⁾	mm in	4,640	183	5,360	211	6,200	244
Width ¹⁾	mm in	1,810	71	1,810	71	1,710	67
Height ¹⁾	mm in	2,210	87	2,210	87	2,190	86
Dry weight genset	kg lb	10,600	23,373	12,600	27,783	17,200	37,826

NATURAL GAS

ENGINE TYPE	UNITS	CG170-12		CG170-16		CG170-20	
Electrical power ²⁾	kW _e	1,200		1,560		2,000	
Mean effective pressure	bar psi	18.6	270	18.1	274	18.6	270
Thermal output (+/-8 %) ²⁾	kW Btu/m	1,189	67,677	1,576	89,705	1,977	112,530
Electrical efficiency ²⁾	%	43.7		43.3		43.7	
Thermal efficiency ²⁾	%	43.3		43.8		43.2	
Total efficiency	%	87.0		87.1		86.9	

NO_x ≤ 500 mg/Nm³, 1 g/bhp-h

BIOGAS

ENGINE TYPE	UNITS	CG170-12		CG170-16		CG170-20	
Electrical power ²⁾	kW _e	1,200		1,560		2,000	
Mean effective pressure	bar psi	18.6	270	18.1	263	18.6	270
Thermal output (+/-8%) ²⁾	kW Btu/m	1,249	71,093	1,641	93,405	2,021	115,035
Electrical efficiency ²⁾	%	42.1		41.8		42.9	
Thermal efficiency ²⁾	%	43.8		44.0		43.3	
Total efficiency	%	85.9		85.8		86.2	

NO_x ≤ 500 mg/Nm³, 1 g/bhp-h

60 Hz PRODUCT PERFORMANCE

ENGINE TYPE	UNITS	CG170-12		CG170-16		CG170-20	
Bore/stroke	mm in	170/195	6,7/7.7	170/195	6,7/7.7	170/195	6,7/7.7
Displacement	l in ³	53.1	3,240	70.8	4,320	88.5	5,401
Speed	rpm	1500		1500		1500	
Mean piston speed	m/s ft/s	9.8	32	9.8	32	9.8	32
Length ¹⁾	mm in	4,640	183	6,640	261	7,470	294
Width ¹⁾	mm in	1,810	71	1,790	70	1,710	67
Height ¹⁾	mm in	2,210	87	2,210	87	2,190	86
Dry weight genset	kg lb	10,600	23,373	14,850	32,744	19,400	42,777

NATURAL GAS

ENGINE TYPE	UNITS	CG170-12		CG170-16		CG170-20	
Electrical power ²⁾	kW _e	1,200		1,550		2,000	
Mean effective pressure	bar psi	18.8	273	18.2	264	18.8	273
Thermal output (+/-8%) ²⁾	kW Btu/m	1,196	68,076	1,589	2,003	1,983	112,872
Electrical efficiency ²⁾	%	43.4		43.0		43.5	
Thermal efficiency ²⁾	%	43.2		43.7		43.2	
Total efficiency	%	86.6		86.7		86.7	

NO_x ≤ 500 mg/Nm³, 1 g/bhp-h

BIOGAS

ENGINE TYPE	UNITS	CG170-12		CG170-16		CG170-20	
Electrical power ²⁾	kW _e	1,200		1,550		2,000	
Mean effective pressure	bar psi	18.8	273	18.2	264	18.8	273
Thermal output (+/-8%) ²⁾	kW Btu/m	1,258	71,605	1,657	94,316	2,027	115,376
Electrical efficiency ²⁾	%	41.5		41.4		42.6	
Thermal efficiency ²⁾	%	43.8		43.9		43.6	
Total efficiency	%	85.6		85.3		86.0	

NO_x ≤ 500 mg/Nm³, 1 g/bhp-h

ANEXO D

DATOS PROPORCIONADOS POR GENERAC – MOTOR A GAS

-¿CUAL ES EL REQRIMIENTO DE GAS? DIFIERE DE ACUERDO AL PODER CALORIFICO

-¿CUAL ES EL COSTO LA DE 35 KW Y 400KW? 16,000 DOLARES MAS IVA, PERO ESTE GENERADOR SOLO ES PARA EMERGENCIA, SIN SOBREPASR 200 HRS AL AÑO (SÓLO ES PARA USO DE EMERGENCIA)

150 BKW 43,000 DOLARES

-ESTAS MAQUINAS SON LAS UTILIZADAS EN POZO. DE GAS, A CONDICIONES ÓPTIMAS

-¿DE QUÉ DEPENDE EL CONSUMO ENTRE GAS NATURAL Y GAS? DEPENDE DEL PODER CALORIFICO RECORDEMOS QUE EL METANO CH₄ TIENE 4 CARBONOS Y EL GAS NATURAL QUE ES YA SEA PROPANO O BUTANO C₃H₈ Y C₄H₁₀ RESPECTIVAMENTE

CON ING MIGUEL DUARTE

DF (55) 5386 3108

GDL 01 (800) 379 78705

LADA SIN COSTO 01 (800) 054 56 08

EXT. 112

REFERENCIA:

<http://www.cimepowersystems.com.mx/plantas-de-luz/linea/industriales/motor-a-gas-industriales/#>

DATOS PROPORCIONADOS POR CARTERPILLAR

-¿CUÁL ES EL COSTO DE MAQUINARIA PESADA OPTIMA PARA EL MANEJO DE UN RELLENO SANITARIO?

74FL CHI 1 HYDRAULIC EXCAVATOR, BUCKET 4.6 CUM MASS
.....\$ 931,000.00 USD mas IVA

D8T WHA BRA 1 WH TRACTOR C15/310HP/38.5TON/SU 19.9M3
.....\$ 896,332.00 USD mas IVA

816K USA 1 816K LANDFILL COMPACTOR 286HP/PESO 25.5T
.....\$ 548,699.00 USD mas IVA

-¿PRECIO DE GENERADORES A BIOGÁS?

- G3406C de 132 kW - USD \$ 87,000.00 (más IVA)

- CG170-12 de 1,200 kW - USD \$ 710,000.00 (más IVA)

LOS PRECIOS SOLO INCLUYEN EL MOTOGENERADOR CON ACCESORIOS ESTÁNDAR DE FÁBRICA COMO RADIADOR, SILENCIADOR, BOMBAS, CONTROLADOR LOCAL DEL MOTOGENERADOR.

Ing. Jose Tiro Lozano

VENTAS MAQUINARIA |MADISA TLALNEPANTLA

+52 (55) 52208000 ext: 8108

ANEXO E

IMPUESTOS

Los impuestos a energías renovables son 100% deducibles de impuestos, aparte de ser una excelente inversión a mediano y largo plazo, y sobre todo disminuir consumo de combustibles fósiles.

Producen de manera independiente energía (sustentabilidad; es un adjetivo que indica algo que se puede soportar por sí mismo con razones suficientes que evitan su extensión, es decir que tiene posibilidades de existir)

Sustentable es usado en economía y ecología como un sistema que puede mantenerse en el tiempo sin necesidad de agotar los recursos naturales ni causar daños al medio ambiente.

- Deducción de impuestos en energía renovable al 100% para la inversión en maquinaria y equipo generador proveniente de fuentes renovables. (Art. 40, ISR).

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (PDB, 2008) tiene como finalidad la de contribuir a la diversificación energética y el desarrollo sustentable de campo mexicano y establece las bases para promover la producción de insumos para bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano, sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país.

ANEXO F

Cálculos realizados en la viabilidad del proyecto

Inversión

PRESUPUESTO DE INVERSION					APORTANTES	
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO EN USD\$ / UNIDAD	IMPORTE	VIA CREDITO	APORTACIÓN
INVERSION FIJA						
Terreno	Ha	139	20,000	2,780,000	1,390,000.00	1,390,000.00
Geomembrana	Ha	8.00	22,700.00	181,600	90,800.00	90,800.00
Planta generadora de luz a biogás (CG170-12 de 1,200 Kw)	Unidad	4	710,000.00	2,840,000	1,420,000.00	1,420,000.00
Excavadora 374 FL	Unidad	1	1,080,000	1,080,000	540,000.00	540,000.00
Tractor topador D9T WH/310 HP	Unidad	1	1,040,000	1,040,000	520,000.00	520,000.00
Landfill Compactador (maquinaria)	Unidad	1	634,000	634,000	317,000.00	317,000.00
Camión de carga	Unidad	1	100,000	100,000	50,000.00	50,000.00
(3) Palas rectas	Pieza	3	7.50	22.50	11.25	11.25
(3) Picos	Pieza	3	5.00	15.00	7.50	7.50
(2) Rastrillos	Pieza	2	5.00	10.00	5.00	5.00
(2) Carretilla	Pieza	2	45.00	90.00	45.00	45.00
Instalación de luz	Unidad	1	750.00	750.00	375.00	375.00
Instalación de agua	Unidad	1	500.00	500.00	250.00	250.00
Cisterna (de 25,000 L)	Unidad	1	5,000	5,000.00	2,500.00	2,500.00
Bomba centrífuga	Pieza	1	150.00	150.00	75.00	75.00
Baño	Unidad	1	1,500	1500	750.00	750.00
Subtotal				8,663,637.50	4,331,818.75	4,331,818.75
Inversión diferida						
				-		
Asistencia técnica	Asesoría	1	2,500.00	2,500.00	750.00	1,750.00
Subtotal				2,500.00	750.00	1,750.00
Capital de trabajo						
				448,788.56	134,636.57	314,151.99
TOTAL				9,114,926.06	4,467,205.32	4,647,720.74
PARTICIPACION EN PORCENTAJE					49.01%	50.990%

Concepto de depreciación anual

CONCEPTOS	VALOR INICIAL	Tasa dep. anual					
		%	1	2	3	4	5
Depreciación	VALOR INICIAL	Tasa de depreciación en %	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Terreno	2,780,000	0%	0	0	0	0	0
Geomembrana	181,600	5%	9,080	9,080	9,080	9,080	9,080
Planta generadora de luz a biogás (CG170-12 de 1,200 Kw)	2,840,000	5%	142,000	142,000	142,000	142,000	142,000
Excavadora 374 FL	1,080,000	10%	108,000	108,000	108,000	108,000	108,000
Tractor topador D9T WH/310 HP	1,040,000	10%	104,000	104,000	104,000	104,000	104,000
Landfill Compactador (maquinaria)	634,000	10%	63,400	63,400	63,400	63,400	63,400
Camión de carga	100,000	33%	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333
(3) Palas rectas	23	33%	7	7	7	7	7
(3) Picos	15	33%	5	5	5	5	5
(2) Rastrillos	10	33%	3	3	3	3	3
(2) Carretilla	90	33%	30	30	30	30	30
Instalación de luz	750	5%	38	38	38	38	38
Instalación de agua	500	5%	25	25	25	25	25
Cisterna (de 25,000 L)	5,000	5%	250	250	250	250	250
Bomba centrífuga	150	20%	30	30	30	30	30
Baño	1,500	5%	75	75	75	75	75
Total Depreciación	8,663,637.5		460,201	460,201	460,201	460,201	460,201
Amortización							
0	-	10%	-	-	-	-	-
Asistencia Técnica	2,500	20%	500	500	500	500	500
Total Amortización	2,500		500	500	500	500	500
Total	8,666,138		460,701	460,701	460,701	460,701	460,701

Continuación por concepto de depreciación

Depreciación o amortización anual						
6	7	8	9	10	11	12
Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
0	0	0	0	0	0	0
9,080	9,080	9,080	9,080	9,080	9,080	9,080
142,000	142,000	142,000	142,000	142,000	142,000	142,000
108,000	108,000	108,000	108,000	108,000	108,000	108,000
104,000	104,000	104,000	104,000	104,000	104,000	104,000
63,400	63,400	63,400	63,400	63,400	63,400	63,400
33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333
7	7	7	7	7	7	7
5	5	5	5	5	5	5
3	3	3	3	3	3	3
30	30	30	30	30	30	30
38	38	38	38	38	38	38
25	25	25	25	25	25	25
250	250	250	250	250	250	250
30	30	30	30	30	30	30
75	75	75	75	75	75	75
460,201	460,201	460,201	460,201	460,201	460,201	460,201
-	-	-	-	-		
460,201	460,201	460,201	460,201	460,201	460,201	460,201

Continuación por concepto de depreciación

			DEPRECIACIÓN ACUMULADA	VALOR DE RESCATE
13	14	15		
Año 13	Año 14	Año 15		
0	0	0	0	2,780,000
9,080	9,080	9,080	45,400	136,200
142,000	142,000	142,000	710,000	2,130,000
108,000	108,000	108,000	540,000	540,000
104,000	104,000	104,000	520,000	520,000
63,400	63,400	63,400	126,800	507,200
33,333	33,333	33,333	0	100,000
7	7	7	0	23
5	5	5	0	15
3	3	3	0	10
30	30	30	0	90
38	38	38	188	563
25	25	25	125	375
250	250	250	1,250	3,750
30	30	30	0	
75	75	75	375	
460,201	460,201	460,201	1,943,763	6,718,225
			-	0
			2,500	0
				-
460,201	460,201	460,201	1,943,763	6,718,225

Ingresos por venta de energía eléctrica

Año	1	2	3	4	5	6
Producción total por hora (kWh)	4,300.00	4,300.00	4,300.00	4,300.00	4,300.00	4,300.00
Producción total por día (kWh)	103,200.00	103,200.00	103,200.00	103,200.00	103,200.00	103,200.00
Producción total por mes (kWh)	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00
Mermas (3%)	94,861.44	94,861.44	94,861.44	94,861.44	94,861.44	94,861.44
Vol. Comercializado por mes (kWh)	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56
Volumen comercializado anual (kWh)	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72
Precio de venta ponderada	1.869	1.869	1.869	1.869	1.869	1.869
0.807	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39
0.978	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29
2.862	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61
	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30
Total	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91
Costo pagado a CFE por conectarse a su red de distribución						
Ingreso total anual antes de pagar a CFE (\$)						
Ingreso total anual después del pago a CFE (\$)	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91

Continuación del apartado de ingresos.

7	8	9	10	11	12	13	14	15
4,300.00	4,300.00	4,300.00	4,300.00	4,300.00	4,300.00	4,300.00	4,300.00	4,300.00
103,200.00	103,200.00	103,200.00	103,200.00	103,200.00	103,200.00	103,200.00	103,200.00	103,200.00
3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00	3,162,048.00
94,861.44	94,861.44	94,861.44	94,861.44	94,861.44	94,861.44	94,861.44	94,861.44	94,861.44
3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56	3,067,186.56
36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72	36,806,238.72
1.869	1.869	1.869	1.869	1.869	1.869	1.869	1.869	1.869
8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39	8,910,790.39
7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29	7,199,300.29
52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61	52,669,727.61
68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30	68,779,818.30
3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91	3,438,990.91
3,438,990.91								

Para determinar el capital de trabajo, se usó el método de Mínimo flujo acumulado negativo

CONCEPTO ANUAL	1	2	3	4	5	6
VENTAS DE ENERGÍA	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991
COSTOS DE OPERACIÓN	2,990,202	59,980	59,980	59,980	59,980	59,980
COSTOS VARIABLES	2,930,222	-	-	-	-	-
SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y QUEMA						
CPMTT	20,000					
CIEG	49,929					
CIBP	340,000					
CAG	12,278					
IPE	14,000					
CAOME	57,100					
SISTEMAS DE USO DIRECTO						
CIFCUD	831,800					
CIT	186,000					
CAOMUD	21,215					
SITIO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA						
CIM)	1,395,500					
CAOMGE	2,400					
COSTOS FIJOS	59,980	59,980	59,980	59,980	59,980	59,980
Combustible para maquinas y camión	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000
Pago de operadores (4)	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
Administrativo (1)	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000
Vigilancia (2)	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200
Personal extra para revisión, maniobras y mantenimiento (3)	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600
Pago de agua	180	180	180	180	180	180
SALDO MENSUAL	448,789	3,379,011	3,379,011	3,379,011	3,379,011	3,379,011
SALDO ACUMULADO	448,789	3,827,799	7,206,810	10,585,821	13,964,832	17,343,843
CAPITAL DE TRABAJO	448,789					

Costos Totales

Años	1	2	3	4	5	6
Costos totales	3,436,903.72	520,681.37	520,681.37	520,681.37	520,681.37	520,181.37
Años	1	2	3	4	5	6
Costos variables de operación (USD\$)	2,916,222.36					
SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y QUEMA						
CPMTT	20,000.00					
CIEG	49,929.00					
CIBP	340,000.00					
CAG	12,278.05					
CAOME	57,100.00					
SISTEMAS DE USO DIRECTO						
CIFCUD	831,800.00					
CIT	186,000.00					
CAOMUD	21,215.30					
SITIO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA						
(CIM)	1,395,500.00					
CAOMGE	2,400.00					
Años	1	2	3	4	5	6
Costos Fijos de operación	520,681.37	520,681.37	520,681.37	520,681.37	520,681.37	520,181.37
Combustible para maquinas y camión	13,000.00	13,000.00	13,000.00	13,000.00	13,000.00	13,000.00
Pago de operadores (4)	18,000.00	18,000.00	18,000.00	18,000.00	18,000.00	18,000.00
Administrativo (1)	9,000.00	9,000.00	9,000.00	9,000.00	9,000.00	9,000.00
Vigilancia (2)	7,200.00	7,200.00	7,200.00	7,200.00	7,200.00	7,200.00
Personal extra para revisión, maniobras y mantenimiento (3)	12,600.00	12,600.00	12,600.00	12,600.00	12,600.00	12,600.00
Pago de agua	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
Depreciación de activos fijos	460,701.37	460,701.37	460,701.37	460,701.37	460,701.37	460,201.37

Flujo de efectivo

	CONCEPTOS	PERÍODO DE ANÁLISIS DEL PROYECTO				
		1	2	3	4	5
	INGRESOS TOTALES EN EFECTIVO (USD\$)	12,553,917	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991
1	Ingresos totales por ventas	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991
2	Aportación	4,647,721				
3	VIA CREDITO	4,467,205				
4	Valores residuales					
	EGRESOS TOTALES EN EFECTIVO (USD\$)	12,103,250	812,512	812,512	812,512	812,512
1	Inversiones en activos fijos	8,663,638				
2	Inversiones en activos diferidos	2,500				
3	Reinversiones					
4	Costos totales	3,436,904	520,681	520,681	520,681	520,681
5	I.S.R. (0%)	-	-	-	-	-
6	PTU.	209	291,831	291,831	291,831	291,831
	FLUJO DE EFECTIVO (USD\$)	450,667	2,626,479	2,626,479	2,626,479	2,626,479

Continuación de flujo de efectivo

6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991	3,438,991
									6,718,225
812,062	812,062	812,062	812,062	812,062	3,566,062	812,062	812,062	812,062	812,062
					2,754,000				
520,181	520,181	520,181	520,181	520,181	520,181	520,181	520,181	520,181	520,181
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
291,881	291,881	291,881	291,881	291,881	291,881	291,881	291,881	291,881	291,881
- 812,062	- 3,566,062	- 812,062	- 812,062	- 812,062	- 812,062				

Rentabilidad del proyecto

CONCEPTOS	
VALOR ACTUAL DE LOS BENEFICIOS (USD\$)	12,309,995
VALOR ACTUAL DE LOS COSTOS (USD\$)	12,299,152
VALOR ACTUAL NETO (VAN) (USD\$)	10,843
RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C)	1.001
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	22.28%
INVERSIÓN TOTAL (USD\$)	9,114,926

