



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE
RESIDUOS CON BIODIGESTORES.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO- ELECTRÓNICO

PRESENTA

YAMILET NAYELI REYES MORALES

ASESOR DE TESIS

DR. ALBERTO ELIZALDE BALTIERRA



MÉXICO, D. F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

Agradecimientos

A Dios

Por darme el don de la vida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por brindarme la oportunidad de aprender y crecer dentro y fuera de sus aulas y permitirme conocer a tantas lindas personas.

A la Facultad de Ingeniería

Por enseñarme disciplina y trabajo en equipo.

Al Dr. Alberto Elizalde

Por aceptarme como su tesista, por su tiempo, su paciencia, por sus comentarios y críticas constructivas.

Al Ing. Jacinto Viqueira

Porque sin ser su alumna aceptó sin pensarlo a ser parte de mi jurado de titulación, que es un lujo, pero creo que lo valgo.

Al Dr. Arturo Reinking

Por sus valiosas enseñanzas, por tomarse siempre el tiempo de explicar de la manera más sencilla lo que no se tiene claro.

A la Dra. Alejandra Castro

Por transmitirme la misma pasión con la que imparte su clase para enseñar lo que más le gusta.

Al Ing. José Eliseo Ocampo

Por lo que aprendí en su clase, que me es y será útil fuera del área profesional, sobre todo por enseñarme la diferencia entre realizar algo por necesidad y hacerlo por “mero” gusto.

A cada uno de los profesores que me formaron, a quienes tengo muy presente y estoy enormemente agradecida.

Al Ing. Gabriel Sánchez y al Lic. Joel Badillo

Por su apoyo, colaboración y confianza para la realización de esta tesis.

A mi madre

Por tomarme entre sus brazos y cobijarme con cariño desde el día que nací, por su apoyo, comprensión y amor.

A **mis hermanos**, quienes forman parte de mi pequeña familia, con quienes he compartido dichas y peleas:

A Aní

Por enseñarme el significado de la frase; “*ganas de vivir*”, por su fortaleza y aferrarse a sus sueños.

A Adrián

Por su capacidad de perdón y abrazarme fuerte tantas veces.

A papá Cachi y mamá Sarita

Por cuidarme y estar pendiente de mí todos estos años.

A mis queridos Amigos (por orden de aparición):

A Les

por compartir la mitad de su vida conmigo, por ser mejor amiga de lo que yo soy, porque me ha dado más de lo que pudiera esperar, por ser más que una buena amiga,
¡LA MEJOR!

A Jhon

por confiar en mí, por su apoyo espiritual y económico, por hacerme sentir tan bien cuando lo pasaba tan mal, por cuidarme y ser como el hermano mayor que no tuve, por creer y sobre todo, por poner toda su fe en mí.

A Bere, a Judith, a Miguel, a Lalo, a Robert y a Angelito

(Con quienes compartí tantos buenos momentos y aventuras)

Por aceptarme tal cual era y soy, por todos esos días inolvidables, por vivir conmigo la mejor etapa de mi vida, la cual extraño y añoro con alegría.

A Euni

Por mostrarme la vida a través de otro cristal, por escucharme, por sus consejos y por ayudarme a ver mis errores de la mejor forma, por compartir sus hombros y llorar y reír conmigo.

A Sergio, a Oscar, a Karem, a David, a Hector, a Erick y a Javier

(Mis compañeros y amigos de clase)

Por ayudarme a estudiar y realizar mis proyectos, por hacer mucho más pasajero el estrés escolar.

A Cesarín

Por ser el mejor compañero de equipo, pero sobre todo, por aguantar mi mal humor y mi histeria, por enseñarme el significado de la palabra tolerancia, pues la aplicó conmigo, por aceptarme como amiga y además, hacerme reír.

A Francisco

Por darme fuerzas al final de esta etapa, por apoyarme, por la paciencia, por el amor...

A todas aquellas personas que antes, durante y después han creído en mí, a las que nunca dudaron y también a las que sí lo hicieron.

y...

A mí

(Como reconocimiento a mi esfuerzo)

Por los desvelos, la perseverancia, las ganas, la satisfacción y la alegría.

Yamilet N. Reyes Morales.

Domingo

15 de agosto de 2010

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| 1. Los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; manejo y problemática en México | |
| Introducción | 9 |
| 1.1 Generación de residuos | 11 |
| 1.1.1 Definición, generación y tipos de residuos | 12 |
| 1.1.2 Definición, composición y características de los residuos | 16 |
| 1.1.3 Problemática asociada a la generación de residuos | 19 |
| 1.2 Manejo de los Residuos en México | 20 |
| 1.2.1 Clasificación de los residuos | 20 |
| 1.2.2 Antecedentes históricos del manejo de RSU y RME | 22 |
| ✿ Antes del siglo XIV | 22 |
| ✿ Siglo XIV | 22 |
| ✿ Siglo XIX | 22 |
| ✿ Siglo XX | 22 |
| ✿ Siglo XXI | 25 |
| 1.2.3 Marco legal | 25 |
| 1.2.4 Sistema de manejo de los RSU y RME | 27 |
| 1.2.4.1 Recolección y Transporte | 29 |
| ✿ Recolección mezclada | 29 |
| ✿ Recolección selectiva | 29 |
| ✿ Recolección separada | 30 |
| 1.2.4.2 Estaciones de transferencia | 31 |
| 1.2.4.3 Tratamiento | 32 |
| ✿ Separación y Reciclaje | 33 |
| ✿ Compostaje | 34 |
| ✿ Tratamiento mecánico – biológico | 35 |
| ✿ Incineración | 36 |
| 1.2.4.4 Disposición Final | 37 |

| | |
|--|----|
| ✿ Sitios de disposición final que No cumplen con la NOM | 39 |
| a) Sitio de disposición final controlado | 39 |
| b) Sitio de disposición final no controlado | 39 |
| ✿ Sitios de disposición final que cumplen con la NOM | 39 |
| a) Relleno sanitario tradicional | 39 |
| b) Relleno sanitario manual | 40 |
| c) Disposición final con pre-tratamiento | 41 |
| 1.2.5 Problemática asociada al manejo de residuos | 42 |
| Conclusiones. | 43 |
| | |
| 2. Producción de biogás a partir de residuos | |
| Introducción. | 47 |
| 2.1 Biogás | 49 |
| 2.1.1 Biomasa | 49 |
| 2.1.2 Definición, composición y características del biogás | 51 |
| 2.1.3 Utilización del biogás | 53 |
| 2.1.3.1 Gas de síntesis | 53 |
| 2.1.3.2 Iluminación | 53 |
| 2.1.3.3 Aplicaciones térmicas | 54 |
| 2.1.3.4 Refrigeración | 54 |
| 2.1.3.5 Combustible | 54 |
| 2.1.3.6 Electricidad | 54 |
| 2.1.4 Generación de biogás | 55 |
| 2.1.4.1 Generación natural | 55 |
| 2.1.4.2 Digestión anaeróbica | 55 |
| a) Etapa de Hidrólisis | 56 |
| b) Etapa de Acidogénesis | 56 |
| c) Etapa de Acetogénesis | 56 |
| d) Etapa de Metanogénesis | 57 |
| e) Etapa de Sulfurogénesis | 57 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 2.1.4.3 | Digestión anaeróbica Inducida | 57 |
| 2.2 | Producción de biogás a partir de residuos | 58 |
| 2.2.1 | Captación de biogás en celdas de Rellenos Sanitarios | 58 |
| 2.2.1.1 | Descripción del proceso de captación | 59 |
| 2.2.1.2 | Evolución de un relleno sanitario para la captación de biogás | 61 |
| 2.2.1.3 | Requerimientos técnicos. | 63 |
| 2.2.1.4 | Otras consideraciones | 64 |
| 2.2.1.5 | Proyectos de captación de biogás en Rellenos Sanitarios | 65 |
| 2.2.2 | Digestores | 66 |
| 2.2.2.1 | Tipos de digestores | 67 |
| ✿ | digestores en carga batch | 68 |
| ✿ | Digestores de régimen semicontinuo | 69 |
| ✿ | Digestores de régimen continuo | 70 |
| ✿ | Completamente mezclados | 71 |
| ✿ | Digestores de dos etapas | 72 |
| ✿ | Digestión seca | 73 |
| 2.2.2.2 | Digestores industriales | 74 |
| 2.2.2.3 | Requerimientos Técnicos | 75 |
| 2.2.2.4 | Otras consideraciones | 75 |
| 2.2.2.5 | Proyectos con Digestores | 76 |
| 2.2.3 | Captación de biogás VS Digestores | 79 |
| | Conclusiones. | 80 |
| 3. | Metodología de análisis | |
| | Introducción. | 85 |
| 3.1 | Análisis y evaluación de proyectos de inversión | 87 |
| 3.1.1 | ¿Qué es un proyecto? | 87 |
| 3.1.2 | Etapas de un proyecto | 88 |
| ✿ | Surgimiento de Ideas | 88 |
| ✿ | Preinversión | 88 |

| | |
|---|-----|
| ■ Perfil | 89 |
| ■ Prefactibilidad | 89 |
| ■ Factibilidad | 89 |
| ✿ Inversión | 90 |
| ✿ Operación | 91 |
| 3.1.3 Evaluación de proyectos de inversión | 91 |
| 3.1.4 Estudio de factibilidad | 93 |
| ✿ Estudio de mercado | 94 |
| ✿ Estudio técnico. | 94 |
| a) Tamaño del proyecto | 95 |
| b) Localización | 95 |
| c) Ingeniería del proyecto | 96 |
| ✿ Estudio económico - financiero. | 97 |
| a) Definición de los flujos del proyecto | 97 |
| b) Evaluación del proyecto | 98 |
| c) Análisis bajo condiciones de incertidumbre | 98 |
| 3.2 Descripción de la metodología a emplear | 98 |
| 3.2.1 Selección de la metodología | 98 |
| 3.2.1.1 Revisión de metodologías | 99 |
| 3.2.1.2 Selección de la metodología | 106 |
| 3.2.2 Descripción de la metodología | 107 |
| Conclusiones. | 111 |
| | |
| 4. Estudio de factibilidad evaluación técnica (caso de estudio) | |
| Introducción. | 115 |
| 4.1 Aprovechamiento de residuos para la generación eléctrica | 117 |
| 4.1.1 Descripción del proyecto | 117 |
| 4.1.1.1 Características generales del Municipio San Martín de las Pirámides | 117 |
| 4.1.1.2 Formulación del problema | 118 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| 4.1.1.3 | Antecedentes del problema | 119 |
| 4.1.1.4 | Justificación del proyecto | 120 |
| 4.1.2 | Análisis y diagnóstico de la situación actual y previsiones sin el proyecto | 121 |
| 4.1.3 | Objetivos y Metas. | 122 |
| 4.2 | Recopilación de la información | 122 |
| 4.2.1 | Información técnica requerida para el análisis | 122 |
| 4.2.1.1 | Datos energéticos básicos del municipio | 123 |
| 4.2.1.2 | Descripción general de la construcción del proyecto | 123 |
| 4.2.2 | Factores que definen la viabilidad del proyecto | 130 |
| 4.2.2.1 | Características del biogás | 132 |
| 4.2.2.2 | Determinación del potencial de generación eléctrica del biogás | 129 |
| 4.2.2.3 | Protección ambiental | 132 |
| 4.2.2.4 | Situación geográfica | 133 |
| 4.3 | Procesamiento de la información obtenida | 133 |
| 4.3.1 | Costos de energía eléctrica | 133 |
| 4.3.2 | Índices de consumo energético | 133 |
| 4.3.3 | Análisis y determinación del aprovechamiento de subproductos | 134 |
| 4.4 | Evaluación Técnica | 134 |
| 4.4.1 | Tamaño del proyecto. | 134 |
| 4.4.1.1 | Localización y descripción específica del sitio del proyecto | 135 |
| 4.4.1.2 | Infraestructura y equipo actual (disponibles para el proyecto) | 136 |
| 4.4.1.3 | Descripción técnica del proyecto | 136 |
| 4.4.1.4 | Cumplimiento de Normas Sanitarias, Ambientales y otras. | 138 |
| 4.4.2 | Ingeniería del proyecto. | 139 |
| Conclusiones | | 141 |
| | | |
| 5. | Estudio de factibilidad: evaluación económica y financiera (caso de estudio) | |
| Introducción. | | 145 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 5.1 | Premisas de la evaluación económica – financiera | 145 |
| 5.1.1 | Estudio financiero | 147 |
| 5.1.1.1 | Fuentes internas de financiamiento | 147 |
| 5.1.1.2 | Fuentes externas de financiamiento | 148 |
| 5.1.1.3 | Estimación de costos de operación | 148 |
| 5.1.1.4 | Programa de ventas (ingresos) | 149 |
| 5.1.1.5 | Flujo de efectivo (Periodo 5 años) | 149 |
| 5.1.2 | Evaluación económica | 149 |
| 5.2 | Desarrollo del modelo de evaluación económica | 150 |
| 5.2.1 | Valor Presente Neto (VPN) | 150 |
| 5.2.2 | Tasa Interna de Retorno (TIR) | 151 |
| 5.2.3 | Relación Costo/Beneficio (CB) | 151 |
| 5.2.4 | Análisis de sensibilidad | 152 |
| 5.2.5 | Periodo de recuperación del capital | 153 |
| 5.2.6 | Caracterización del modelo de evaluación económica | 153 |
| 5.3 | Resultados de la evaluación económica | 155 |
| 5.3.1 | Costos, egresos e ingresos del proyecto | 155 |
| 5.3.2 | Flujo de efectivo de nuestro proyecto | 157 |
| 5.3.3 | Valor Presente Neto (VPN) | 158 |
| 5.3.4 | Tasa Interna de Retorno (TIR) | 158 |
| 5.3.5 | Relación Costo/Beneficio (CB) | 159 |
| 5.3.6 | Análisis de sensibilidad | 159 |
| 5.3.4.1 | Escenario 1.- Costos por operación y mantenimiento se incrementan en un 10% | 160 |
| 5.3.4.2 | Escenario 2.- Costos por operación y mantenimiento se incrementan en un 20% | 162 |
| 5.3.4.3 | Escenario 3.- Evaluación para el escenario que no vendamos nada de bioabono. | 164 |
| 5.3.4.4 | Escenario 4.- Sin ventas de bioabono e incremento del 20% en los costos de operación y mantenimiento. | 166 |
| 5.3.4.5 | Escenario 5.- Fuera de operación 3 meses por año. | 168 |

| | |
|---|-----|
| 5.3.7 Periodo de recuperación del capital | 169 |
| Conclusiones | 170 |
| CONCLUSIONES GENERALES | 173 |
| BIBLIOGRAFÍA | 169 |

ÍNDICE DE FIGURAS:

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Cultura desechable | 11 |
| Figura 1.2 Etapas de producción | 13 |
| Figura 1.3 Generación de residuos en las diferentes etapas de un sistema producción | 14 |
| Figura 1.4 Generación per cápita de residuos domésticos de algunos países en función de su PIB | 15 |
| Figura 1.5 Evolución en la generación de Residuos en México | 17 |
| Figura 1.6 Composición de los residuos | 18 |
| Figura 1.7 Disposición final de las 103 mil ton/día de residuos generados | 18 |
| Figura 1.8 Diagrama de flujo de un sistema simple de manejo de RSU y RME | 28 |
| Figura 1.9 Diagrama de flujo de un sistema de manejo de residuos diferenciado | 29 |
| Figura 1.10 Camión recolector típico | 30 |
| Figura 1.11 Instalaciones de la estación de transferencia Chabacano-La Viga | 32 |
| Figura 1.12 Separación desde la fuente | 33 |
| Figura 1.13 Composición general de la composta | 34 |
| Figura 1.14 Clasificación de acuerdo al cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 | 38 |
| Figura 1.15 Ejemplo de tiradero a cielo abierto | 40 |
| Figura 1.16 Relleno manual | 41 |
| Figura 2.1 Flujo de energía procedente del Sol | 49 |
| Figura 2.2 Ciclo de la biomasa | 50 |
| Figura 2.3 Transformaciones energéticas de la biomasa | 51 |

| | |
|---|-----|
| Figura 2.4 Etapas de la digestión anaeróbica | 56 |
| Figura 2.5 Captura de biogás en un relleno sanitario | 59 |
| Figura 2.6 Operación de un Relleno Sanitario con sistema de captura y quema de biogás | 61 |
| Figura 2.7 Caracterización de las fases de un relleno sanitario | 63 |
| Figura 2.8 Central de biogás en relleno sanitario de Salinas Victoria | 66 |
| Figura 2.9 Proceso de generación de biogás en un digestor | 67 |
| Figura 2.10 Clasificación general de los digestores | 68 |
| Figura 2.11 Digestor horizontal flujo-pistón | 69 |
| Figura 2.12 Digestor de régimen continuo | 71 |
| Figura 2.13 Digestor de régimen completamente mezclado | 72 |
| Figura 2.14 Digestor de dos etapas | 73 |
| Figura 2.15 Recirculación de biogás | 74 |
| Figura 2.16 Digestor industrial en España | 77 |
| Figura 2.17 Digestor para tratamiento de residuos ganaderos | 77 |
| Figura 3.1 Etapas de un proyecto | 88 |
| Figura 3.2 Estructura general de la evaluación de proyectos | 93 |
| Figura 3.3 Diagrama de flujo de Metodología a aplicar | 110 |
| Figura 4.1 Localización de San Martín de las Pirámides | 118 |
| Figura 4.2 Fase de excavación | 124 |
| Figura 4.3 Colocación de la geomembrana | 124 |
| Figura 4.4 Mezclador para digestor | 125 |
| Figura 4.5 Llenado de laguna | 126 |
| Figura 4.6 Laguna completamente llena | 126 |
| Figura 4.7 Burbujas de gas metano a las 18 horas de haber llenado el digestor | 127 |
| Figura 5.8 Cubierta de laguna con geomembrana de polietileno | 127 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.9 Formación del biogás | 128 |
| Figura 4.10 Equipo para medir producción de biogás | 128 |
| Figura 4.11 Instalación del equipo motogenerador | 129 |
| Figura 4.12 Motogenerador | 129 |
| Figura 4.13 Diagrama de flujo del proceso de digestión anaeróbica de la fracción orgánica de los RSU | 138 |
| Figura 5.1 Flujo de efectivo de un proyecto | 148 |
| Figura 5.2 Flujo de efectivo de nuestro proyecto | 154 |
| Figura 5.3 Flujos de efectivo para escenario 1 | 156 |
| Figura 5.4 Flujos de efectivo para escenario 2 | 157 |
| Figura 5.5 Flujos de efectivo para escenario 3 | 158 |
| Figura 5.6 Flujos de efectivo para escenario 4 | 159 |
| Figura 5.7 Flujos de efectivo para escenario 5 | 160 |

ÍNDICE DE TABLAS:

| | |
|---|-----|
| Tabla 1.1 Origen y tipos de residuos | 14 |
| Tabla 1.2 Composición típica de residuos domésticos de algunos países (%) | 15 |
| Tabla 1.3 Generación de Residuos por Tipo de Localidad | 16 |
| Tabla 1.4 Marco legal actual para el manejo de los residuos. | 26 |
| Tabla 1.5 Clasificación de los sitios de disposición final de acuerdo a recepción de residuos | 38 |
| Tabla 2.1 Composición bioquímica del biogás | 52 |
| Tabla 2.2 Características del biogás | 52 |
| Tabla 2.3 Aprovechamiento de biogás usando digestores en granjas porcinas | 78 |
| Tabla 2.4 Rellenos sanitarios vs. Digestores | 79 |
| Tabla 5.1 Costos del proyecto | 155 |

| | |
|---|-----|
| <i>Tabla 5.2 Ahorros de consumo eléctrico mensual</i> | 156 |
| <i>Tabla 5.3 Ingresos por venta de excedentes de energía eléctrica</i> | 156 |
| <i>Tabla 5.4 Ingresos por venta de bioabono</i> | 156 |
| <i>Tabla 5.5 Flujo de Efectivo</i> | 157 |
| <i>Tabla 5.6 Flujo de efectivo para el cálculo en hoja de Excel</i> | 153 |
| <i>Tabla 5.7 Flujos de efectivo con incremento de costos de operación y mantenimiento del 10%</i> | 160 |
| <i>Tabla 5.8 Flujos de efectivo con incremento de costos de operación y mantenimiento del 20%</i> | 162 |
| <i>Tabla 5.9 Flujos de efectivo sin venta de bioabono</i> | 164 |
| <i>Tabla 5.10 Flujos de efectivo sin venta de bioabono y con incremento de costos de operación y mantenimiento un 20%</i> | 166 |
| <i>Tabla 5.11 Flujos de efectivo con equipo generador fuera de operación por cuatro meses cada año</i> | 168 |

Introducción General.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

Introducción General

El incremento de la población, la actividad industrial y los patrones actuales de consumo, entre otros factores, han modificado de manera importante la cantidad y composición de los residuos que son producidos. En México de las 36 millones de toneladas generadas anualmente de residuos se recolecta solo el 83% y de esta cantidad solo del 20 al 25% son depositados en sitios de disposición final que cumplen las Normas Oficiales Mexicanas, dejando al resto depositados en tiraderos a cielo abierto y sin control alguno (www.inegi.org.mx).

El volumen de basura que debe ser tratada y confinada es tan grande, que la extensión de los rellenos sanitarios no debe considerarse ya como una solución aceptable, pues no ofrece seguridad a largo plazo. Este problema no solo representa un peligro latente para la salud de las poblaciones, el incremento de la producción de basura también representa un problema ecológico, económico y social.

El acelerado aumento en la demanda de servicios y la falta de conciencia en la separación desde el origen, hace que la gestión integral de los residuos tenga un costo que ya no es completamente autofinanciable y constituyen una carga en las finanzas municipales

La gestión integral de los residuos consta de varias etapas, que van desde la recolección y barrido hasta su confinamiento en sitio de disposición final. Una de las etapas más importantes de la gestión corresponde al tratamiento de dichos residuos, pues nos permite reaprovechar y recuperar los subproductos materiales que son desechados como consumidores en un ciclo y reincorporarlos como insumos en un nuevo ciclo productivo.

La ausencia del tratamiento de los residuos se debe a que para algunos municipios representa un gasto adicional y por lo general es más fácil implementar medidas a corto y mediano plazo autofinanciables. El tratamiento correcto de los residuos puede traer ventajas un municipio, pues tiene potencial para generar energía limpia que puede destinarse para cubrir necesidades de autoabastecimiento, beneficios por reducción de emisiones y generación de empleos.

4 | Introducción General

Generación de energía eléctrica a partir de residuos con biodigestores

Para muchos Municipios de la República Mexicana la idea de desarrollar proyectos que den solución al problema de manera integral comienzan a tomar más fuerza que antes por los múltiples compromisos internacionales en materia de reducción de emisiones. Tal es el caso del Municipio de San Martín de las Pirámides en el Estado de México, cuyos administradores municipales están interesados en desarrollar un proyecto que solucione su problema de manejo y disposición de residuos, ya que el sitio de disposición final que se encuentra en él está a punto de llegar al fin de su vida útil.

El Municipio de San Martín de las Pirámides Edo. de México tiene una población de casi 20 mil habitantes, de los cuales aproximadamente el 50 por ciento se dedica a la ganadería y la agricultura, el resto se dedica a la industria, el comercio y a la actividad turística (debida a su cercanía a la zona arqueológica de Teotihuacán). Tienen un cobertura porcentual del 80 por ciento en el servicio de recolección de basura y limpieza de vías públicas con algunas deficiencias y sin un correcto manejo de los residuos provenientes a la actividad agrícola y ganadera.

De esta manera, en este trabajo de tesis se propone abordar la siguiente problemática centrada en tres preguntas:

1. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas del tratamiento de los residuos para producción de biogás en la generación de energía eléctrica?
2. ¿Cuáles son las especificaciones técnicas y económicas que deben tomarse en cuenta para la generación eléctrica a partir del biogás?
3. ¿Cuál es la factibilidad técnica y económica de un proyecto de generación eléctrica a partir del tratamiento de residuos que se generan en el Municipio de San Martín de las Pirámides Edo. de México?

Para dar respuesta a la problemática antes citada, se desarrollará nuestra tesis en cinco capítulos atendiendo a los objetivos siguientes:

1. Realizar un estudio de la evolución en la generación de residuos, problemática, manejo adecuado y clasificación, evaluando los principales factores que determinan su crecimiento, composición y características, revisando el marco legal actual en materia de manejo de residuos en México y las distintas etapas que conforma el correcto manejo de acuerdo al marco legal aplicable.
2. Estudiar los proyectos de aprovechamiento energético del biogás en México, describiendo las características físico-químicas del mismo, etapas de la digestión anaeróbica para generación de biogás, así como las condiciones que se deben cuidar para la optimización del proceso de generación.
3. Seleccionar una metodología que permita estructurar y dar coherencia a la evaluación de un proyecto para el tratamiento y disposición final de los residuos generados en el Municipio San Martín de las Pirámides, revisando diversas metodologías empleadas para la evaluación de proyectos similares y analizando cual o cuales de ellas podemos utilizar de guía.
4. Desarrollar el estudio de factibilidad técnica del proyecto para manejo, disposición final y producción de energía eléctrica en el municipio de San Martín de las Pirámides en el Estado de México, revisando las características generales del municipio, cantidad de generación y composición de residuos y evaluando si cumple con los requerimientos básicos para implementar el proyecto.
5. Desarrollar el estudio de factibilidad económica de nuestro proyecto y analizar los indicadores que permiten determinar la rentabilidad del mismo, evaluando nuestros indicadores económicos (TIR, VPN y RCB), así como realizando un análisis de sensibilidad para determinar la o las variables de mayor peso que permiten que nuestro proyecto sea rentable.

En el primer capítulo, se estudia la generación de residuos de acuerdo a la fuente, el tipo y la composición de los mismos, se hace una comparación entre algunas ciudades del mundo para relacionar el porcentaje y composición con el nivel socioeconómico y su cultura de consumo. También se hace un estudio para el caso de México, donde se abarca la problemática asociada a la generación y manejo de los residuos, sus antecedentes históricos y el marco legal vigente.

En el capítulo dos, se describe la producción de energía desde diversas fuentes a partir de la energía proveniente del sol, haciendo un principal énfasis en la obtención de energía a partir de biomasa, así como la obtención de biogás a partir de la misma. Se estudiarán las propiedades fisicoquímicas del biogás, ejemplos de su aprovechamiento energético y se realizará una descripción de los procesos para la obtención de biogás así como comparación para analizar ventajas y desventajas.

Posteriormente, en el tercer capítulo, se habla un poco sobre la teoría de proyectos, define el proyecto y se describen las etapas que lo conforman, así como se plantea la metodología a seguir para llevar a cabo la realización del mismo, se hace un estudio de diferentes metodologías que se pueden aplicar y al final se elige aquella que nos permite realizar el análisis y la evaluación del proyecto para nuestro caso de estudio.

El capítulo cuatro desarrolla el estudio de factibilidad técnica de un proyecto para nuestro caso de estudio, empezando desde la formulación del problema en el Municipio de San Martín de las Pirámides en el Estado de México, describiremos la justificación del proyecto, un análisis de la situación actual y un diagnóstico para evaluar si para el Municipio cuenta con requerimientos técnicos básicos para llevar a cabo el proyecto.

Finalmente el capítulo cinco desarrolla la evaluación económica-financiera de nuestro estudio de factibilidad, esto con ayuda de los indicadores financieros, el VPN y la TIR, así como de desarrollará un estudio de sensibilidad con el fin de castigar al proyecto y determinar a cuales costos o factores es más sensible nuestro proyecto y deje de ser rentable o autosostenible.

Capítulo

1.

Los residuos sólidos urbanos y de manejo especial;
manejo y problemática en México

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

1. Los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; manejo y problemática en México

Introducción.

En la naturaleza (sin la intervención del hombre) nada se desperdicia, pues los desechos de unos organismos son utilizados por otros.

Los procesos en los que se desarrollan los sistemas biológicos naturales forman ciclos en donde se aprovechan al máximo los recursos y son altamente eficientes en su consumo de energía. Los procesos en los que se desarrollan las actividades humanas son lineales, desde la obtención de materias primas hasta su transformación en productos y su destino final, que hacen ineficiente no solo el consumo de energía, también lo es el aprovechamiento los recursos naturales.

Lo anterior ejerce presiones excesivas sobre la propia naturaleza, sobre todo cuando los productos dejan de aportar utilidad al usuario, convierten en residuos y son depositados irresponsablemente en los suelos y cuerpos de agua, agotando los recursos y liberando contaminantes al ambiente, afectando así, la calidad de vida y comprometiendo la supervivencia de las generaciones futuras.

Lo dicho antes, hace necesario adoptar políticas multinacionales, nacionales, regionales y locales, tendentes a detener y revertir estos daños, así como a lograr un desarrollo sustentable. Entre las medidas propuestas, se encuentran las relativas a promover esquemas de producción más limpia, enfoques preventivos y multimedios para reducir la liberación de contaminantes al ambiente, así como al desarrollo de programas para la minimización y el manejo integral de todo tipo de residuos.

La mayoría de estas medidas son propuestas a nivel multinacional, pero no se cuentan con personal responsable y capacitado para llevarlas a cabo, así, estos programas terminan como una serie de buenas intenciones sin que se lleve a cabo la planeación necesaria o le sean otorgados los recursos financieros y humanos para poder llevarlos a cabo. Intereses económicos y políticos interfieren en la realización de dichos proyectos.

La primera parte del capítulo, describe que es un residuo según la ley, los factores que influyen en su generación y composición. Analizamos, como consecuencia al incremento de residuos, su problemática en diversas áreas; por ejemplo la ambiental, pues la generación exagerada en cortos periodos de tiempo impide que los recursos naturales se reintegren a sus ciclos respectivos.

En un segundo tiempo, estudiamos la evolución histórica en materia de manejo de residuos en México, así como su situación actual, enunciamos su marco regulatorio, y clasificación de acuerdo a las normas y describimos las partes del sistema de manejo; que puede ser muy sencillo o muy complejo, pero su principal objetivo es darle un concepto que contemple un ciclo de vida, no solo aminorando los impactos ambientales, que en la actualidad tienen prioridad, sino también en los sociales, políticos y tecnológicos.

1.1 Generación de residuos

Desde los días de la sociedad primitiva los seres humanos y los animales han utilizado los recursos de la tierra para la supervivencia. Poblaciones pequeñas, uso de herramientas primitivas así como una poca disponibilidad de tecnologías contribuían a que la economía fuera básicamente de subsistencia, los impactos al medio ambiente eran mínimos y el hombre vivía en completo equilibrio con la naturaleza.

El desarrollo de las civilizaciones, las innovaciones científicas, los avances tecnológicos, así como un cambio en los hábitos de consumo, provocaron que ese equilibrio que se tenía con la naturaleza se rompiera. Este desarrollo evoluciono de forma exponencial en un periodo de tiempo relativamente corto, forzando la capacidad de la naturaleza a adaptarse a los cambios, provocando así, la sobre explotación de los recursos naturales y la alteración al medio ambiente poniendo en peligro no solo la subsistencia de los recursos, también la del propio ser humano, pues el desarrollo desordenado actual no será sostenible en un futuro inmediato.

Figura 1.1 Cultura desechable



Fuente: adaptado a partir de <http://usuarios.lycos.es>

En las ciudades se introducen grandes cantidades de productos para uso y consumo de los habitantes, los cuales tienen una vida útil muy corta, creados para satisfacer necesidades y proporcionar comodidad instantánea al usuario, así, invadidos por la inevitable cultura de lo

desechable, de aquello que después de usarse deja de ser útil o simplemente pierde interés y da lo mismo a donde va a parar.

La costumbre de arrojar al bote de basura lo definido como desechable se expande a otro tipo de materiales y productos que en principio no lo son, finalmente, lo que no es aprovechado se desecha y es considerado como “residuo” (López Ruiz, 2002).

1.1.1 Definición, generación y tipos de residuos

Un residuo es un material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final (LGPGIR¹, 2003).

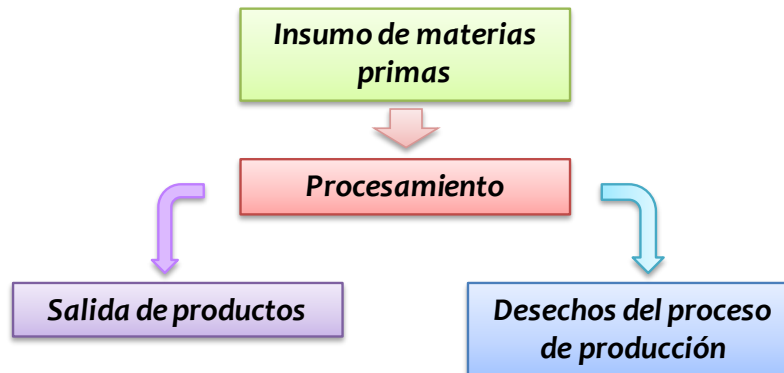
Un ecosistema no genera residuos, porque los desechos de unos organismos son aprovechados por otros. En los ecosistemas donde se encuentra inmerso el ser humano, se consumen grandes cantidades de recursos naturales en sus procesos productivos, que a su vez generan grandes cantidades de sustancias y materiales, que por su composición y volumen superan la capacidad de la propia naturaleza para incorporarlos de nuevo al ecosistema.

En las actividades humanas para la utilización y manejo de productos naturales se tienen cuatro etapas, las cuales se muestran en la figura 1.2.

Esto sucede tanto a nivel industria como en los hogares, ya sea el producto un par de zapatos o plato de sopa. Cuando la actividad humana incluye solo la modificación de productos, los desechos de esta pueden regresar a la naturaleza sin alguna alteración notable. Cuando dicha actividad incluye la “transformación” de los productos los desechos de esta no pueden ser asimilados tan fácilmente.

¹ LGPGIR: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Figura 1.2 Etapas de producción



Fuente: Adaptado de López Ruiz (2002)

Los sistemas de producción actuales requieren de una estructura organizada y compleja de captación, transformación primaria, transporte, transformación secundaria, empaque, transporte final, desempaque y consumo, y en todas sus etapas genera algún tipo de residuo, ver Figura 1.3.

Las fuentes y los tipos de residuos según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1991) vienen detallados en la tabla 1.1.

Los residuos no se ajustan a un estándar y normalmente, no existen dos residuos iguales; por ejemplo los residuos generados en una casa varían de semana en semana y de estación en estación, así como entre grupos socioeconómicos de un país y de un país a otro, como lo vemos en la figura 1.4.

En la tabla 1.2 Podemos observar como varían los residuos domésticos dependiendo del país, por ejemplo en Estados Unidos los residuos alimenticios corresponden al 9 por ciento del total, esto debido al uso de trituradores en los fregaderos de las cocinas, el plástico se usa mucho en Irlanda por eso produce más residuos plásticos que los otros países y la cantidad de cenizas disminuye a nivel internacional a medida que crece el PIB.

Figura 1.3 Generación de residuos en las diferentes etapas de un sistema producción



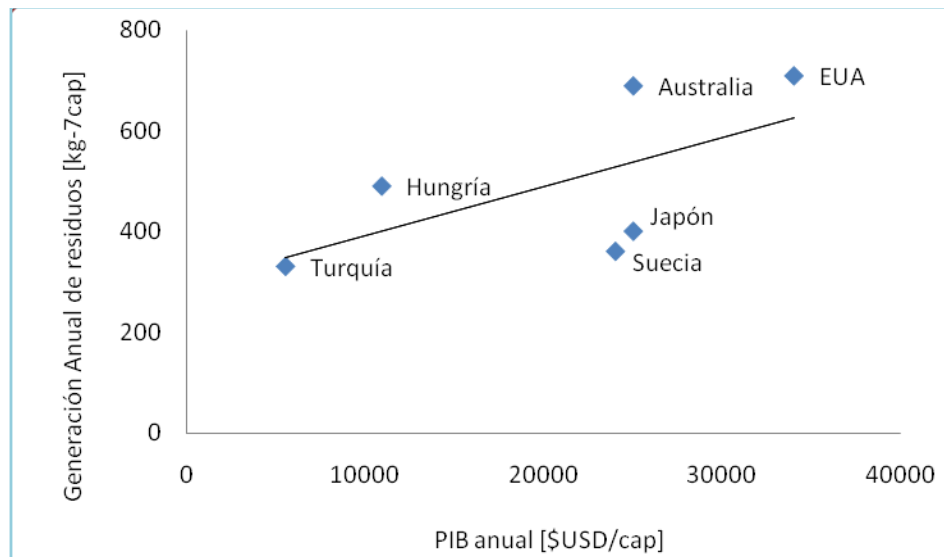
Fuente: adaptado a partir de Tchobanoglous, Theisen y Vigil; 1994

Tabla 1.1 Origen y tipos de residuos

| ORIGEN | LOCALES | TIPO DE RESIDUO |
|---------------------------|--|---|
| Doméstica | Viviendas unifamiliares y multifamiliares, apartamentos de media y gran altura. | Alimentos, papel, embalaje, vidrio, metal, cenizas de basura doméstica peligrosa |
| Comercial | Tiendas, restaurantes, mercados, oficinas y hoteles. | Alimentos, papel, embalaje, vidrio, metal, cenizas de basura doméstica peligrosa |
| Industrial | Fabricación, industrias productoras de materiales ligeros y pesados, refinerías, plantas químicas, minas, generación de energía... | Residuos de procesos industriales, metales, madera, plásticos, aceites y residuos peligrosos. |
| Construcción y demolición | | Tierra, cemento, madera, acero, plástico, vidrio, vegetación. |

Fuente: G. Kiely, 1999.

Figura 1.4 Generación per cápita de residuos domésticos de algunos países en función de su PIB



Fuente: Adaptado de C. Ludwig, 2003

Tabla 1.2 Composición típica de residuos domésticos de algunos países (%)

| Componente | EUA 1993 | Dinamarca 1992 | Londres 1993 | Polonia 1992 | China 1985 | Irlanda Dublín 1992 |
|--|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------------------|
| Residuos alimenticios | 9 | 35 | 26.7 | 24 | 36 | 34.2 |
| Papel, cartón | 40 | 35 | 35.5 | 11 | 2 | 18.7 |
| Plásticos | 7 | 6 | 5.2 | 2 | 1.5 | 16.1 |
| Vidrio | 8 | 8 | 10.8 | 6 | 1 | 5.4 |
| Metales | 9.5 | 4 | 6 | 2 | 1 | 2.9 |
| Ropas/telas | 2 | 8 | 3.4 | 10 | 1.5 | 2.6 |
| Cenizas, polvo | 3 | 4 | 5 | 45 | 57 | 17.2 |
| Inclasificados (jardín, patios, madera) | 21 | | 7.1 | | | 2.9 |

Fuente: G. Kiely, 1999.

1.1.2 Definición, composición y características de los residuos

Muchos países en el mundo se enfrentan grandes retos debido al incremento demográfico e industrial, aumento en los niveles de bienestar, así como la tendencia de la población a concentrarse en zonas urbanas y México no es la excepción.

En el país, la población incremento de 91.2 millones de personas en 1998 a 103.3 millones al 2006, según estadísticas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en ese mismo periodo la generación de residuos per cápita aumentó de 850 g al día a poco más de 1300 g en zonas metropolitanas.

Los patrones de consumo no son iguales en todo el país, así que se pueden encontrar diversas condiciones y variables que inciden sobre la generación en diferentes localidades mexicanas (Bernache, 2006) (ver tabla 1.3). Entre las más relevantes se pueden identificar a los niveles de ingreso, a la propensión a consumir, crecimiento demográfico, a la estructura por edades de la población y nivel de urbanización de la sociedad (GTZ/COMIA, 2003).

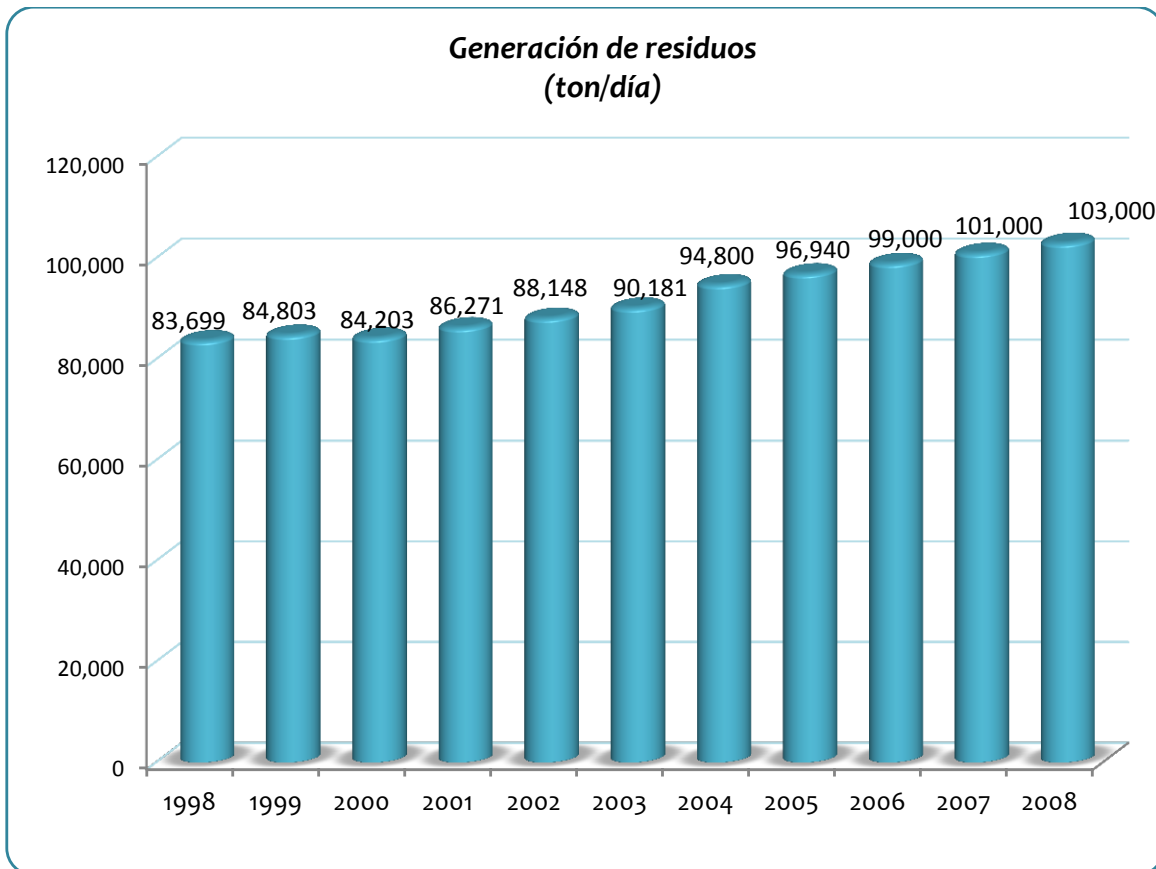
Lo anterior contribuye a una generación nacional estimada de 103 mil toneladas diarias de residuos, como se puede ver en la figura 1.5.

Tabla 1.3 Generación de Residuos por Tipo de Localidad

| Tipo de localidad | Número de localidades | Población/ (Mill, hab) | Generación (t/día) | Generación (Kg/hab/día) |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|
| Zonas Metropolitanas | 7 | 33 | 43,820 | 1.328 |
| Ciudades Medias | 173 | 30.2 | 30,290 | 1.003 |
| Localidades Urbanas Pequeñas | 267 | 9.8 | 8,330 | .850 |
| Localidades semirurales y rurales | 199,600 | 33.5 | 14,560 | .435 |
| Total | 200,000 | 106.5 | 97,000 | .911 (media) |

Fuente: El autor a partir del INEGI, estadísticas para el año 2006.

Figura 1.5 Evolución en la generación de Residuos en México

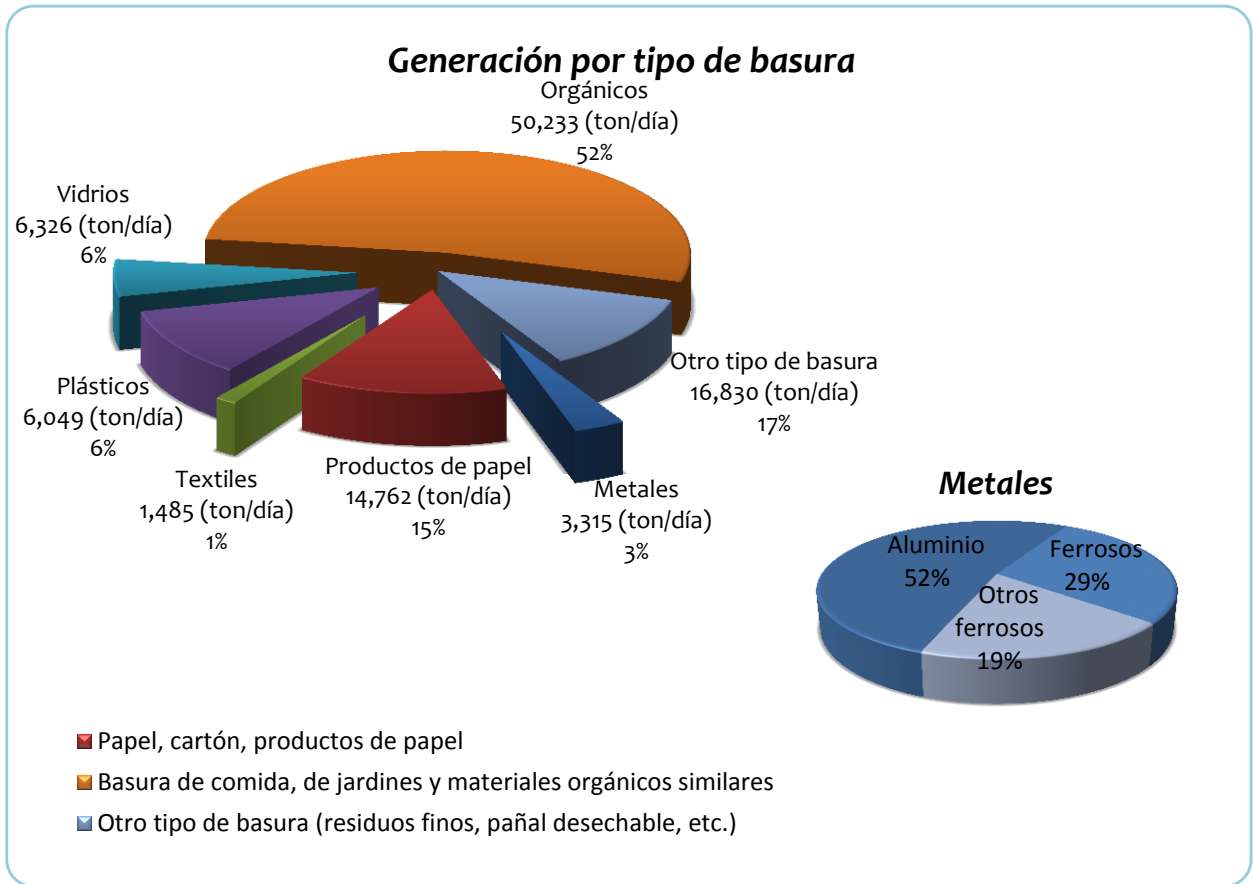


Fuente: El autor a partir del INEGI, estadísticas para el año 2008.

Así mismo las características de los residuos se transformaron de materiales mayoritariamente orgánicos, a elementos cuya descomposición es lenta (ver figura 1.6). Estos elementos difíciles de reintegrar a la naturaleza pueden aprovecharse si se llevan a cabo procesos complementarios.

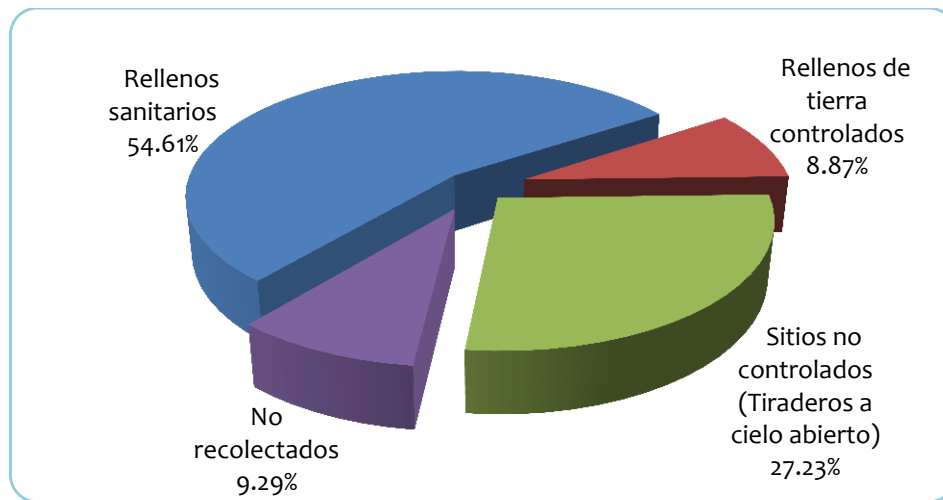
Actualmente, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) estima que se recolecta únicamente 90.12% del total de los residuos que se generan diariamente, es decir 92,824 ton, quedando dispersas en calles y caminos 10,176 ton. Del total generado, sólo poco más de 63.48% son depositados en sitios controlados, esto es, 69,502 ton, lo que quiere decir que 29,808 ton se disponen diariamente a cielo abierto en tiraderos no controlados o en tiraderos clandestinos (ver figura 1.7).

Figura 1.6 Composición de los residuos



Fuente: El autor a partir del INEGI, estadísticas 2008.

Figura 1.7 Disposición final de las 103 mil ton/día de residuos generados



Fuente: El autor a partir del INEGI

1.1.3 Problemática asociada a la generación de residuos

La generación de residuos, propia de las actividades humanas, no es un problema en sí mismo, siempre y cuando sean devueltos al ambiente en concentraciones que permitan ser incorporados a los sistemas ecológicos. Analizaremos la problemática asociada a la generación de residuos:

✿ Ambiental

Agotamiento de recursos naturales y acumulación de residuos que no pueden reintegrarse al ambiente causando efectos nocivos en los organismos vivos.

✿ Política

Preocupación por la creciente demanda de servicios y para proporcionar un destino final adecuado que no afecte negativamente al ambiente ni a la salud.

✿ Tecnológicos

Importación de procesos que inciden en el volumen y características de los residuos.

✿ Económica

Los servicios de limpia tienen un costo que ya no es completamente autofinanciable.

✿ Social

La cultura úsese y tírese, se ha vuelto un común denominador, pues la comodidad para el consumidor es un eje que motiva los nuevos patrones de consumo (Bernache, 2006).

1.2 Manejo de los Residuos en México

La **prevención** de los residuos² es el conjunto de acciones que debe realizar la autoridad, tanto federal, como estatal y municipal, en corresponsabilidad con la comunidad, para disminuir la cantidad de residuos generados, con el fin de que los trabajos relacionados con el manejo

² Antes conocido como Servicio Público de Limpia.

integral de residuos sean realizados con eficiencia, los recursos humanos, técnicos y financieros **puedan** ser mejor administrados y los daños al ambiente puedan ser disminuidos.

La **gestión integral** de los residuos comprende todas las acciones a llevar a cabo entorno a los residuos. Por ejemplo: expedición de reglamentos de limpia, estímulos para la reducción de la basura, promoción de centros de acopio, gestión de recursos y apoyos, capacitación, el manejo integral, así como el impacto al medio ambiente natural y social³.

“El **manejo integral** es la parte técnica de la gestión integral e incluye todos los aspectos relacionados con los residuos; la generación, almacenamiento, barrido, recolección, traslado, tratamiento, aprovechamiento de materiales y disposición final” (GTZ/SEMARNAT, 2006).

1.2.1 Clasificación de los residuos

Los residuos pueden clasificarse de acuerdo a; su origen, su composición o su peligrosidad, pero en México, los residuos se clasifican como lo establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (**LGPGIR**):

Residuos Incompatibles (**RI**): aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos.

Residuos peligrosos (**RP**): son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos⁴ que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.

Residuos de Manejo Especial (**RME**)⁵: son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos

³ Este concepto se encuentra definido con mayor detalle en el artículo 5° de la LGPGIR.

⁴ Consultar la LGPGIR en sus Artículos 16°, 21° – 24° y Título V Manejo integral de residuos peligrosos.

⁵ Consultar la LGPGIR, 2003 en sus Artículos 19°, 95° – 100°.

urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos; pueden ser RSU en grandes cantidades (mayor a 10 ton al año). La autorización de los sistemas de manejo está a cargo de las entidades federativas. A su vez se clasifican en:

- a) residuos de las rocas o de los productos de su descomposición
- b) residuos de servicios de salud, con excepción de los biológico infecciosos
- c) residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas incluyendo los residuos de insumos
- d) residuos de los servicios de transporte, generados en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias, aduanas
- e) lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales
- f) residuos de tiendas departamentales o centros comerciales
- g) residuos de la construcción, mantenimiento y demolición
- h) residuos tecnológicos provenientes de la industria de la informática, electrónica, vehículos automotores y
- i) otros que determine la SEMARNAT.

Residuos Sólidos Urbanos (RSU): los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta ley como residuos de otra índole.⁶ (LGPGIR, 2003)

⁶ Estas clasificaciones se encuentran más detalladas en el Título Segundo de la LGPGIR, 2003.

1.2.2 Antecedentes históricos del manejo de RSU y RME

✿ Antes del siglo XIV

La práctica de tirar los residuos a las calles, carreteras y terrenos vacíos llevó a la reproducción de ratas con sus pulgas respectivas que eran portadoras de plagas, causando epidemias con altos índices de mortalidad.

✿ Siglo XIV

1589 - fueron dispuestos 5 centros de acumulación de desechos ubicados en lo que ahora es la delegación Iztapalapa, para que de manera oficial, la población pudiera depositar los residuos generados en sus hogares, que después eran trasladados a sitios de disposición final, mediante carretones jalados por mulas (INE y SEMARNAP, 1996).

✿ Siglo XIX

Las medidas de control de salud pública llegaron a ser una consideración vital de los funcionarios públicos, era necesario que los residuos fueran recogidos y evacuados de forma sanitaria para controlar a los roedores y las moscas (Tchobanoglous, Theisen y Vigil; 1994).

Para el año de 1884, la recolección y transporte de basura municipal en la capital de México requería 136 mulas y 83 carretones (INE y SEMARNAP, 1999).

El 15 de Julio de 1891, se expidió el Primer Código Sanitario elaborado por el Consejo Superior de Salubridad.

✿ Siglo XX

■ 1920 - 1929

La Comisión Constructora a cargo del Ing. Miguel Ángel de Quevedo, desarrolló estudios de pulverización de residuos sólidos para destinarlos a abono agrícola y saneamiento en varios barrios de la Ciudad de México.

El Distrito Federal tenía ya 2,500 elementos dedicados al Servicio de Limpia.

■ Década de los 50's

El Regente Ernesto Uruchurtu ordenó el cambio de carros de mulas por vehículos motorizados para la recolección, que permitía un servicio público más amplio y eficiente, y al mismo tiempo se centralizaron los entierros y se popularizó el sistema de vertederos⁷ municipales.

■ Década de los 60's

Primeros intentos por parte de la federación en el control de los residuos, cuando la Dirección de Ingeniería Sanitaria pasó a formar parte de la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria, de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, (CCISSA), con la finalidad de atender, a nivel nacional los programas de recolección y disposición de residuos sólidos. Con este organismo da principio la incorporación de técnicas y métodos de ingeniería para tratar de solucionar el problema, cada vez más creciente, de los residuos sólidos.

Se realiza la primera obra de gran magnitud para el control de dichos residuos, cuando en la Ciudad de Aguascalientes se diseña y opera el primer relleno sanitario del país, bajo la dirección de profesionales y técnicos de la CCISSA (INE/SEMARNAP, 1999).

■ Década de los 70's

Se inicia un programa a nivel nacional que duró de 1973 a 1976, con el apoyo de un crédito otorgado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), por medio de este programa, se proporcionó asesoría y se desarrollaron proyectos ejecutivos de manejo y disposición final de los RSU en las ciudades de Acapulco, Tijuana, Mexicali, Saltillo, Cd. Juárez, Tuxtla Gutiérrez, Monterrey y Ensenada.

Se iniciaron los primeros cursos de capacitación para personal de los municipios y se desarrollaron las primeras instancias para identificar el problema de los residuos industriales.

⁷ Vertedero: Lugar donde se vierten ilegalmente los residuos dentro de una zona controlada.

A fines de la década de 1970 y hasta 1982, en la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), dentro de la Subsecretaría de Asentamientos Humanos y en la Dirección de Ecología Urbana, se llevaron a cabo una serie de proyectos, así como la elaboración de normas técnicas para el control de los RSU y RME (INE y SEMARNAP, 1999).

■ Década de los 80's

Se introdujo el mandato constitucional en el artículo 115 para que los municipios asumieran la responsabilidad de brindar los servicios de limpia y aseo urbano, sin que se precisara el tipo de residuos a los cuales debían de circunscribirse (SEMARNAT, 2008).

En 1982 se crea la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), cuyas atribuciones en el área de control de RSU se conjuntaron en la Subsecretaría de Ecología y a partir de 1983 se inicia el programa RS100, que consistía en la elaboración de proyectos ejecutivos de relleno sanitario en las ciudades mayores de 100,000 habitantes (INE y SEMARNAP, 1999).

Aunado a lo anterior, se elaboraron los manuales de diseño de rellenos sanitarios y los programas de diseño de rutas de recolección mediante el uso de computadora, así como los proyectos ejecutivos para el confinamiento de residuos industriales. Además, se continuó impartiendo cursos de capacitación y adiestramiento a personal de los municipios del país (INE y SEMARNAP, 1999).

Con la promulgación de la LGEEPA en 1988 se establecieron las bases regulatorias en las que se sustentó la gestión de los residuos peligrosos, y se estableció una distinción entre éstos y los no peligrosos, entre los que se encuentran los RSU y los residuos industriales, que en realidad incluyen los del resto de las actividades productivas (SEMARNAT, 2008).

■ Década de los 90's

En 1992 desaparece la SEDUE y se crea la Secretaría de Desarrollo Social, (SEDESOL) la cual incluye en su estructura al Instituto Nacional de Ecología (INE). La SEDESOL continúa brindando apoyo a los municipios, a través del desarrollo de proyectos ejecutivos y del

financiamiento para la construcción de infraestructura para el control de los RSU y la construcción y operación de rellenos sanitarios, hasta la fecha.

La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, (SEMARNAP), se crea en 1994 incorporando al INE y a los demás órganos que en la SEDESOL se ocupaban de cuestiones ambientales. En este contexto, el INE asume la responsabilidad del desarrollo de la normatividad de los RSU y en el año de 1996, promulga la norma oficial mexicana que establece los requerimientos para la selección de sitios para ubicar rellenos sanitarios (INE Y SEMARNAP, 1999).

Siglo XXI

El 30 de noviembre del año 2000, se cambió la Ley de la Administración Pública Federal dando origen a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Pasando el subsector pesca a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

El 8 de octubre de 2003 se publica en el Diario Oficial de la Federación la LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS (LGPGIR), que determina la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional, estableciendo el principio de responsabilidad compartida, entre las entidades federativas.

El 9 de junio del 2004, se aprueba la Norma Oficial NOM-083-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de RSU y RME (www.semarnat.gob.mx).

1.2.3 Marco legal

El marco legal bajo el cual se sustenta el manejo integral de los residuos incluye Leyes, Reglamentos y Normas de los tres órdenes de gobierno e involucra a un número considerable de instituciones las cuales buscan el bien común mediante la disminución o eliminación de los

efectos nocivos que puede causar el manejo inadecuado de los residuos, en la tabla 1.4 se presenta el marco actual de la legislación en el ámbito de los residuos sólidos municipales (INE/SEMARNAP, 1999).

Tabla 1.4 Marco legal actual para el manejo de los residuos.

| Ordenamiento | Descripción |
|---|--|
| Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos | Artículo 4. Garantiza el derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado. Artículo 115. Establece la prestación de servicios públicos por parte del municipio |
| Ley General de Salud | Establece las disposiciones en relación al servicio público de limpia, promueve y apoya el saneamiento básico, determina normas y medidas tendientes a la protección de la salud y aumento de la calidad de vida. |
| Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) | Art. 134. Prevención y control de la contaminación del suelo por residuos. Art. 135. Ordenación urbana, servicio de limpia y sitios de disposición final. Art. 137. Autorización del funcionamiento de sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final. Art. 138. Acuerdos para mejorar e implantar sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final. Art. 139. Contaminación por lixiviados. Art. 141 Biodegradación de RSU. |
| Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) | Reglamenta las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en lo referente a la protección al ambiente, en materia de prevención y gestión de los residuos, y establece bases para: principios de valorización, responsabilidad compartida manejo integral, criterios de gestión integral, mecanismos de coordinación entre entidades, mercado de subproductos, participación de la sociedad, creación de sistemas de información referentes a gestión de RSU y RME, prevención de la contaminación de sitios, fortalecimiento de la innovación tecnológica, establecimiento de medidas de control y seguridad, entre otras. |
| Normas Oficiales Mexicanas | NOM-083-SEMARNAT-2003; Especificaciones de protección ambiental para selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de sitios de disposición final. NOM-087; Regula el manejo de los residuos biológico-infecciosos NOM-198; regula la incineración de residuos |

Tabla 1.4 Continuación...

| Ordenamiento | Descripción |
|---|--|
| Normas Técnicas Mexicanas | <p>Estas NMX tienen el objetivo de estandarizar los procedimientos relacionados con los estudios de caracterización de los residuos sólidos.</p> <p>NMX-AA-15-1985 Muestreo – Método de cuarteo.</p> <p>NMX-AA-61-1985 Determinación de la generación.</p> <p>NMX-AA-22-1985 Selección y cuantificación de subproductos.</p> <p>NMX-AA-19-1985 Determinación del peso volumétrico “in situ”.</p> |
| Normas Técnicas Estatales | <p>La Ley Estatal de Protección al Ambiente puede considerar la elaboración de normas técnicas estatales obligatorias.</p> |
| Ley Orgánica del Municipio Libre | <p>Establece las atribuciones de los ayuntamientos para nombrar las comisiones que atiendan los servicios públicos.</p> |
| Bando de Policía y Buen Gobierno | <p>Plantean el conjunto de normas y disposiciones que regulan el funcionamiento de la administración pública municipal.</p> |
| Reglamento de Limpia | <p>El reglamento regula específicamente los aspectos administrativos, técnicos, jurídicos y ambientales para la prestación del servicio de limpia pública.</p> |

Fuente: Adaptado de SEMARNAT, 2001

1.2.4 Sistema de manejo de los RSU y RME

El manejo integral y sustentable de los residuos combina flujos de residuos, métodos de recolección y procesamiento, de lo cual derivan beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema práctico para cualquier región. Esto se puede lograr combinando opciones de manejo que incluyen esfuerzos de rehúso y reciclaje, tratamientos que involucran compostaje, biogasificación, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios (SEMARNAT, 2001).

En la actualidad, el adecuado manejo de la basura, depende de estudios y proyectos en que las condiciones locales y regionales sean debidamente evaluadas y encaradas, y se vea esta problemática como un problema de ingeniería, exigiéndose la colaboración de profesionales.

El primer paso está en manos del gobierno y las autoridades locales a todos los niveles con el apoyo de la población, y en segundo término de otros organismos nacionales e internacionales que presten ayuda técnica y financiera.

En los países en desarrollo, el aseo urbano es uno de los problemas de saneamiento del medio que está exigiendo una mayor atención por parte de las autoridades gubernamentales, así como de las autoridades de financiamiento y de investigación.

De esta manera el manejo de los residuos sólidos y su disposición sanitaria final, determinarán en buena parte la calidad de la administración local y la eficiencia de sus dirigentes. A través del servicio público de limpia se puede evaluar la voluntad política, la capacidad de gestión y su responsabilidad para brindar la debida protección de la salud pública y de los trabajadores, además de obtener un buen aspecto y protección del ambiente en su territorio municipal (SEDESOL, 2004).

El manejo integral de los residuos, es un concepto que contempla el ciclo de vida de la producción y el consumo de bienes y servicios.

La gestión de los RSU puede tener muchas variaciones pero siempre debe adaptarse a las condiciones de la situación local y las posibilidades de cada municipio. En este sentido el manejo de los residuos como parte de la gestión puede ser muy sencillo, como muestra en el siguiente flujograma de la Figura 1.8.

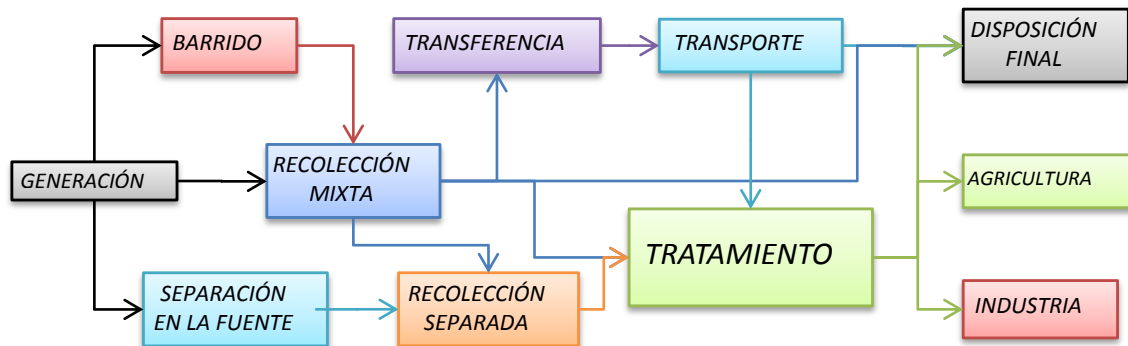
Figura 1.8 Diagrama de flujo de un sistema simple de manejo de RSU y RME



Fuente: (GTZ y SEMARNAT, 2006)

En cuanto el ejemplo anterior se limita a la recolección y disposición de los residuos sólidos generados, otros conceptos pueden incluir una serie de procesos adicionales (ver Figura 1.9), especialmente en el tratamiento que ayude la protección al ambiente.

Figura 1.9 Diagrama de flujo de un sistema de manejo de residuos diferenciado



Fuente: (G. Wehenpohl, 2004)

1.2.4.5 Recolección y Transporte

La recolección generalmente representa uno de los mayores impactos económico en la gestión de los residuos sólidos. Dependiendo de las medidas generales de manejo se puede hacer una recolección de residuos mezclados o separados conforme el tipo de tratamiento posterior. La separación de materiales reciclables en el camión por el personal de recolección reduce fuertemente la eficiencia del servicio.

- ❁ **Recolección mezclada:** es la más común, ya que solamente en algunos municipios se realiza una separación sistemática. Este sistema requiere pocos cambios en los hábitos de los generadores, ya que no precisan separarlos en la fuente. Por otro lado, este tipo de recolección anima a los trabajadores en los camiones hacer una pre-pepena para tener un ingreso adicional por la venta de material reciclable. Con eso, el proceso de la separación en el camión reduce significativamente la velocidad y la eficiencia de este servicio.
- ❁ **Recolección selectiva:** implica que las fracciones sean separadas en la fuente y posteriormente recolectadas también en forma separada. Esta separación reduce bastante la mezcla y contaminación de materiales, lo que en consecuencia aumenta su calidad y valor, permitiendo ampliar el mercado para la venta de los materiales reciclables y de la composta. La separación de residuos orgánicos tiene sentido si hay

posterior compostaje y si el producto tiene mercado. Puede ser recomendable separar el grupo reciclable en más fracciones, si esto aumenta los ingresos.

- ❁ **Recolección separada:** esta puede ser realizada con el mismo tipo de equipo actualmente usado para la recolección, sin cambios. En este caso se recomienda hacer la colecta por fracción, esto quiere decir un día recolectar orgánicos, otro día reciclables y otro día los restantes. La introducción de este sistema requiere que los generadores participen y no entreguen todo el mismo día.

Figura 1.10 Camión recolector típico



Fuente: <http://concienciamexico.blogspot.com/>

Otra forma de la recolección realizada con éxito, es la adaptación de los camiones. Para cada uno de los tres grupos se crea un espacio específico en el camión. La ventaja de este sistema es que los generadores pueden poner, aún por fracción separada, todos los residuos el mismo día. Una desventaja consiste en el hecho de que a veces hay mucho material reciclable y el espacio destinado a ellos en el camión está lleno mucho antes que los otros.

Los camiones de colecta son adecuados para este servicio (ver figura 1.10) pero generalmente son poco eficientes para llevar los residuos por grandes distancias ya que la capacidad se ve limitada por diferentes razones.

El transporte es el recorrido que realiza el camión sin hacer al mismo tiempo la recolección. Eso puede ser la parte del camino que corre el camión de la recolección una vez llenado con material hasta la disposición final. En otros casos es solamente el recorrido a partir de la planta de transferencia hasta el punto final del sistema (GTZ/ SEMARNAT, 2006).

1.2.4.6 Estaciones de transferencia

Una estación de transferencia se define como el conjunto de equipos e instalaciones donde se lleva a cabo el transbordo de residuos, de vehículos recolectores a de carga de gran tonelaje, para transportarlos a los sitios de disposición final. El objetivo fundamental de una estación de transferencia, es incrementar la eficiencia global de los servicios de manejo de los RSU, a través de la economía que se logra con la disminución del costo general del manejo, así como por la reducción en los tiempos de transporte y la utilización intensiva de los equipos y recurso humano (INE/SEMARNAP, 1996).

En estas estaciones se pueden compactar los residuos y una vez compactados son trasladados a los sitios de disposición final, esta compactación permite reducir a una tercera parte el volumen de los residuos (Bautista, 1998).

Las estaciones de transferencia llegan a ser aún más necesarias cuando las distancias a los centros de tratamiento o disposición final se encuentran muy alejados provocando que el transporte directo ya no sea económicamente factible. Y los residuos una vez compactados son cambiados de los vehículos pequeños de recolección a grandes de transporte. Haciendo más eficiente su traslado (Tchobanoglous, Theisen y Vigil, 1994).

Figura 1.11 Instalaciones de la estación de transferencia Chabacano-La Viga



Fuente: www.jornada.unam.mx

1.2.4.7 Tratamiento

Las diferentes formas de tratamiento de residuos sólidos ayudan proteger el ambiente y reducir el gasto de materia prima. Si todos los residuos son llevados directamente al relleno sanitario sin tratamiento previo, los materiales reaprovechables (vidrio, aluminio, plásticos, etc.), se pierden prácticamente para siempre. Además, la disposición final de los residuos tiene un impacto mayor al ambiente por el volumen que representa y aumenta el riesgo de contaminación.

El punto clave no es cuántas opciones de tratamiento se utilicen, o si se aplican todas al mismo tiempo, sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales o regionales, así como a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia

Los diferentes tipos de tratamiento más comunes se analizarán a continuación (GTZ/SEMARNAT, 2006):

✿ Separación y Reciclaje

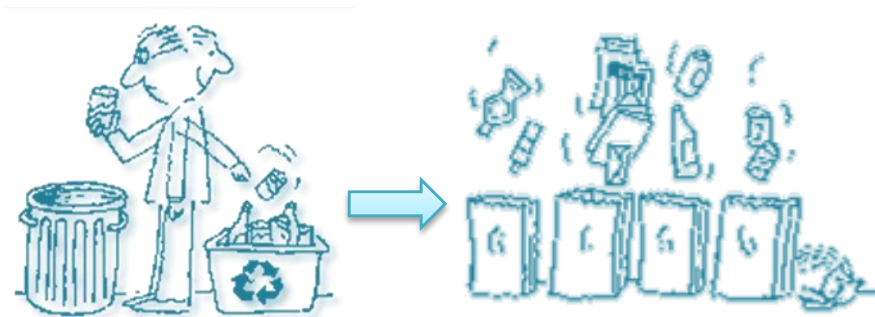
En México, como en otros países latinoamericanos, la separación de materiales reaprovechables desde la fuente generadora todavía no es muy común (ver figura 1.12).

Actualmente la separación se realiza principalmente por:

- Sector informal (pepenadores⁸) que separa los materiales antes de la recolección, cuando los residuos están dispuestos para ésta, en el camión de la recolección (prepepena) o en el sitio de disposición final;
- Centros de acopio privado, donde los generadores y los trabajadores de los camiones de recolección llevan materiales reaprovechables para venderlos.

El reciclaje es el proceso industrial de hacer un nuevo producto con el material que era desecho. Eso es un proceso fuera de la responsabilidad municipal. El campo de acción a nivel municipal consiste en la separación del material en la fuente, durante la recolección, en los centros de acopio o en los sitios de disposición final.

Figura 1.12 Separación desde la fuente



Fuente: adaptado de <http://usuarios.lycos.es>

El sistema debe ser complementado por centros de acopio. En la mayoría de los casos estos centros son del sector privado y algunos municipales. Los centros dependientes del municipio sufren con los cambios administrativos-políticos (cada tres años) y por eso generalmente

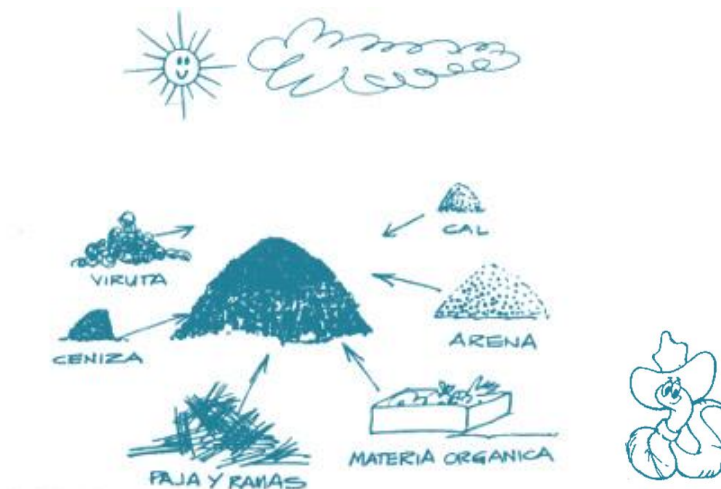
⁸ Pepenadores: nombre con el que se conoce a los trabajadores del tiradero.

tienen menos sustentabilidad. Por otro lado los centros privados, que viven de este trabajo tienen un mayor interés en estas actividades, no sufren de los cambios administrativos políticos y por lo tanto son recomendables (GTZ/SEMARNAT, 2006).

☀ Compostaje

El compostaje es la transformación bioquímica de forma controlada. Este proceso transforma los residuos orgánicos en composta, la cual tiene potencial como mejorador de suelos y puede ser usado en la agricultura y horticultura. En él se pueden aplicar todos los residuos biodegradables, como: restos orgánicos de comida, restos de frutas y verduras, ramos y hojas de los árboles, pasto, paja, excremento de animales, papel, madera (cuando no están contaminados con productos químicos) ver figura 1.13.

Figura 1.13 Composición general de la composta



Fuente: <http://www.tierramor.org/permacultura/composta.htm>

Tradicionalmente ingresan a las plantas de compostaje residuos sólidos mezclados. El producto obtenido en estas plantas es de baja calidad y difícil de vender. Análisis comparativos muestran que el contenido de metales pesados en este tipo de composta es de 5 a 10 veces mayor que en compostas hechas a través de materia orgánica previamente separada. Además, el producto contiene un alto grado de materiales adjuntos (fragmentos de

vidrio, plástico, metal, etc.). A la larga, éste tipo de plantas tendrían que cerrar por los problemas técnicos y financieros que presentan.

Una alternativa a esta forma de compostaje es la basada sólo en la materia orgánica después de una recolección selectiva. Esto es factible tanto a nivel hogar como de pequeños, medianos y grandes municipios. Si se opera la planta adecuadamente se obtiene un buen producto, que al ser de calidad, tiene buen mercado. Para tener acceso a este mercado puede ser necesario involucrar un intermediario. Pero aun así, el proceso puede ser autofinanciable bajo las condiciones mexicanas. Por tal motivo se recomienda hacer un cálculo de costo-beneficio antes de implementar una planta. Además existe la posibilidad que el producto sea utilizado directamente en el hogar o en los parques y áreas verdes municipales (GTZ/ SEMARNAT, 2006).

Tratamiento mecánico – biológico

El tratamiento mecánico-biológico es un proceso que en los últimos años ha logrado una alta importancia en Alemania y otros países de Europa. Con esta forma de tratamiento se mejora las propiedades de los residuos que se quieren confinar para disminuir los posibles impactos ambientales. Es un tratamiento que se recomienda realizar solamente con el material previsto para la disposición final y por eso es compatible con otras formas de tratamiento como la separación de material reciclable y compostaje.

La parte mecánica consiste en la homogeneización del material, la parte biológica del proceso es similar al compostaje para los residuos mezclados, pero la diferencia está en los diferentes objetivos.

Mientras con el compostaje se quiere producir composta, el tratamiento mecánico-biológico mejora las condiciones para la disposición final. Contrario al compostaje no se interrumpe el proceso de fermentación cuando se alcanza temperaturas de 70°C – como es en el caso del compostaje – ya que se deja alcanzar temperaturas hasta casi 100°C; con eso se obtiene prácticamente un material semi-inerte sin valor como mejorador de suelos.

Las principales ventajas son:

- Alto grado de descomposición de la materia orgánica antes de su disposición.
- El tratamiento mecánico disminuye la estructura de los residuos y favorece un alto grado de compactación (GTZ/SEMARNAT, 2006).

✿ **Incineración**

La incineración de los residuos sólidos es una forma de tratamiento que frecuentemente se usa en los países industrializados con zonas densamente pobladas. Exceptuando a los residuos sólidos minerales, todos demás pueden ser incinerados. Los residuos peligrosos deben ser incinerados en plantas especiales, porque exigen una combustión con una tecnología mucho más sofisticada que la de los residuos domiciliarios e industriales no peligrosos. La incineración lleva a una gran reducción de volumen (del 10 % al 20 % de su volumen inicial), higienización y estabilización de los materiales nocivos. Los restos que se obtienen después de la incineración son escorias, cenizas y gases.

Las escorias, después de pasar pruebas de laboratorio para asegurar su estado inerte, pueden ser depositadas en rellenos sanitarios, o en el caso probado que ya no tener materiales solventes (p.ej. metales pesados) pueden ser usadas para obras civiles. Los gases de combustión, antes de salir a la atmósfera, tienen que ser depurados por filtros especiales y los residuos de este proceso (cenizas de filtros, productos de reacción de la depuración de los gases de combustión), que están altamente contaminados con metales pesados y otros elementos peligrosos, tienen que ser depositados en confinamientos para residuos peligrosos.

La incineración es un proceso en que los materiales son oxidados a temperaturas entre 600°C hasta 1,200°C, dependiendo del proceso aplicado y el combustible empleado. Para evitar la generación de dioxinas, la temperatura siempre debe estar por arriba de 500°C. El tiempo de permanencia de los materiales en el horno es de 1 a 2 horas.

También se puede aprovechar la energía generada por la incineración, aunque los ingresos alcanzables normalmente no son suficientes para cubrir los altos costos. En Alemania, país con

tradición en incineración, se calculan costos para la incineración entre 80 y 150 USD por tonelada (GTZ/ SEMARNAT, 2006).

1.2.4.8 Disposición Final

La disposición final constituye la última etapa del ciclo de vida de los RSU y RME. La aplicación de todas las medidas de reúso y reciclaje permiten depositar los restos económicamente no reaprovechables. La cuestión entonces no es de evitar el elemento de disposición en el ciclo de manejo de RSU y RME, sino reducir su cantidad y el impacto al ambiente.

Los residuos una vez depositados, aunque teóricamente es posible, no regresan al circuito económico. En la práctica gran parte de los residuos son depositados inadecuadamente.

Efectos negativos:

- Proliferación de vectores⁹ de enfermedades, en particular infecciosas;
- Contaminación de suelos, aguas y aire;
- Aumento del riesgo sanitario;
- Pérdida de valor inmobiliario.

De acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003 los sitios de disposición final se clasifican de acuerdo a la cantidad de RSU y RME que ingresan al sitio en toneladas por día (Tabla 1.5).

⁹ Vectores: organismos que pueden provocar enfermedades como insectos o ratas.

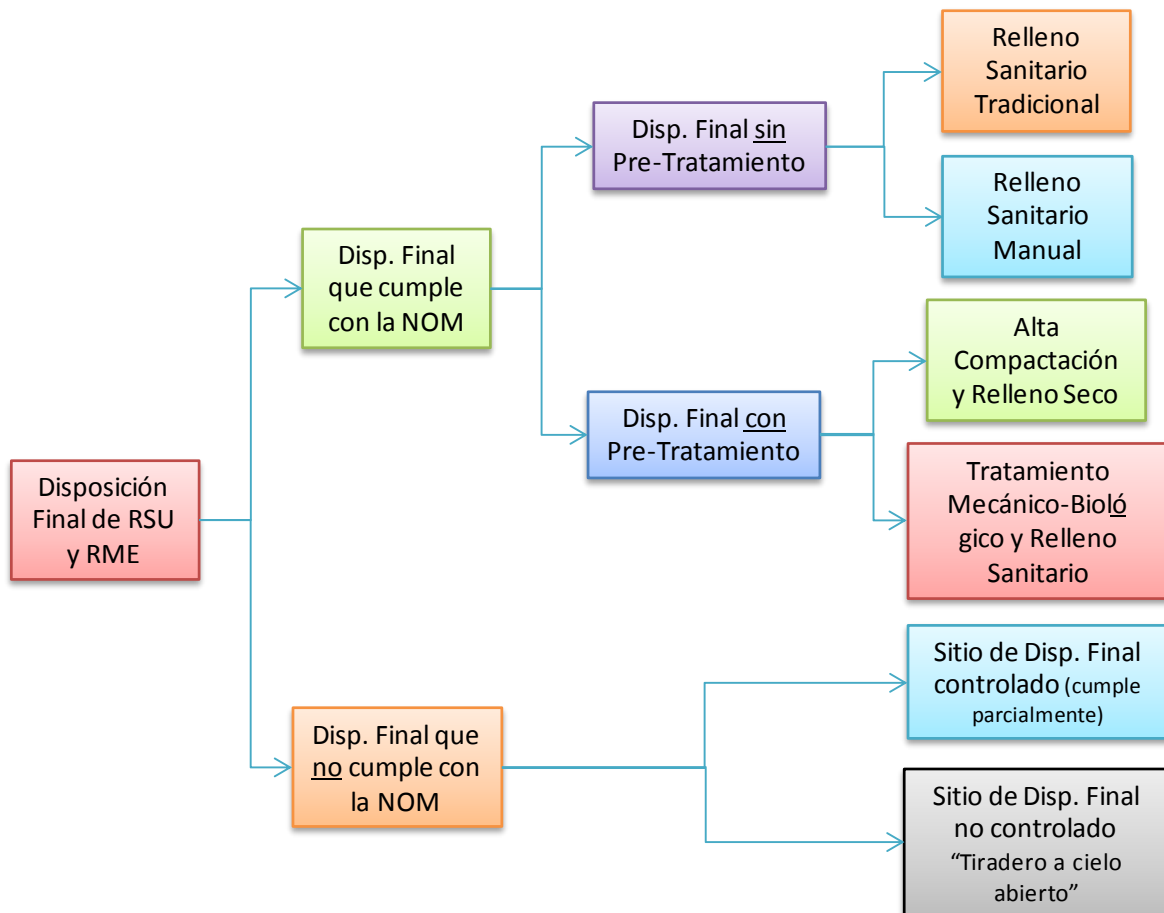
Tabla 1.5 Clasificación de los sitios de disposición final de acuerdo a recepción de residuos

| TIPO | TONELAJE RECIBIDO Ton/día |
|------|------------------------------|
| A | Mayor a 100 |
| B | 50 hasta 100 |
| C | 10 hasta 50 |
| D | Menor a 10 |

Fuente: NOM-083-SEMARNAT-2003

También pueden clasificarse de acuerdo a los cumplimientos que marca la Norma (ver figura 1.14).

Figura 1.14 Clasificación de acuerdo al cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003



Fuente: G. Wehenpohl, 2004

✿ Sitios de disposición final que No cumplen con la NOM

a. Sitio de disposición final controlado

Este tipo de disposición final cumple solo algunos requerimientos de la NOM-083-SEMARNAT-2003.

b. Sitio de disposición final no controlado (Tiraderos a cielo abierto)

Durante décadas, esta actividad no fue vista como un problema serio para los encargados del Servicio de Limpia, ya que bastaba con llevar los RSU fuera de los núcleos urbanos para evitar el impacto visual y las molestias que pudieran causar a la población.

Además, la cantidad en que eran producidos y las características de composición permitían su reintegración a la naturaleza sin daños aparentes.

Ante esto y con la persistencia de las prácticas tradicionales en la disposición final de los RSU, aparecen grandes tiraderos a cielo abierto, los cuales presentan un foco de contaminación ambiental (en agua, aire y suelo) aunado al riesgo para la salud pública de la población circundante.

Los tiraderos a cielo abierto pueden ser grandes y estar tolerados por la autoridad, pero también existen aquellos pequeños en barracas y ríos o en las esquinas de las ciudades como se ve en la figura 1.15.

✿ Sitios de disposición final que cumplen con la NOM

a) Relleno sanitario tradicional

Un relleno sanitario es una obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los RSU sobre el suelo, esparciéndolos y compactándolos al menor volumen posible, para cubrirlos con material natural y/o sintético. Además debe considerar los mecanismos para el control de impactos ambientales y debe estar de acuerdo con los requisitos normativos vigentes.

La construcción de un relleno sanitario generalmente es más cara que un tiradero a cielo abierto, pero si se consideran los costos causados por los impactos ambientales, los daños a la salud, y la restauración de estos sitios contaminados por la inadecuada disposición final, estos resultan ser mucho más caros que la medida preventiva de un relleno sanitario.

Figura.1.15 ejemplo de tiradero a cielo abierto



Fuente: <http://enlace.vazquezchagoya.com>

b) Relleno sanitario manual

El **relleno** sanitario manual se presenta como una alternativa técnica y económica, tanto para las poblaciones rurales como para las áreas marginales de algunas ciudades que generan menos de 20 toneladas diarias de basura, en particular para localidades pequeñas. Si el costo del transporte lo permite, puede resultar ventajosa la utilización de un mismo relleno sanitario manual para dos o más poblaciones. Mediante la técnica de la operación manual, sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías alternas, y excavación de zanjas o material de cobertura, de acuerdo con el avance y el método de relleno.

Figura 1.16 Relleno manual

Fuente: www.elfaro.net

Los demás trabajos, pueden realizarse manualmente (ver figura 1.15), lo cual permite a estas poblaciones de bajos recursos, disponer adecuadamente su basura y utilizar mano de obra (SEDESOL, 2006).

c) Con pre-tratamiento

Este tipo de rellenos sanitarios si incluyen tratamiento previo a la disposición final con varias finalidades, entre las principales está el compactar los residuos para que ocupen un volumen mayor y así alargar la vida útil del relleno, obtener algún subproducto que se pueda aprovechar, minimizar los impactos ambientales, entre otros. Ejemplos de tratamiento se vieron en el punto anterior (GTZ y SEMARNAT, 2006).

1. Alta compactación y relleno seco
2. Mecánico – Biológico y relleno sanitario

1.2.5 Problemática asociada al manejo de residuos

Analizaremos la problemática de cada área asociada al manejo de residuos (J. Sancho y Cervera, 2003):

☀ Ambiental

- Impacto ambiental negativo relacionado con la contaminación de los recursos hídricos; del aire; del suelo; y del paisaje, especialmente en la disposición final.

☀ Política

- Rompimiento continuo de la curva de aprendizaje
- Escasa comprensión de la problemática integral.
- estructuras de organización poco funcionales y limitadas
- Falta planificación a largo plazo de planes operativos, financieros y ambientales.

☀ Técnica y Operativa

- Equipo obsoleto y en mal estado.
- Falta de capacitación técnica.
- Falta de programas de mantenimiento preventivo.
- .Aplicación de tecnología inadecuada.

☀ Económica

- La mayor parte de los recursos financieros provienen de los municipios pues no se cobra por el servicio, cuyo aspecto es crucial para lograr el autofinanciamiento.
- Falta de esquemas de recuperación de inversiones

☀ Social

- Baja participación comunitaria en el manejo de los residuos sólidos.
- Poca o nula cultura ambiental.
- Escasa comprensión de la problemática de los pepenadores.

Conclusiones.

En este capítulo, se estudiaron los factores que influyen en la generación de residuos, se describieron las diferentes etapas de producción en las que se genera algún tipo de residuo, su composición dependiendo su origen, la situación actual de México, evolución de la generación, su composición, producción per cápita y la problemática asociada a la generación.

En un contexto de desarrollo sustentable, el objetivo fundamental del manejo de los residuos debe ser el aprovechar al máximo los recursos y reducir los impactos ambientales, que pudieran derivar de dicho manejo, a un costo aceptable, debe ser integral y capaz de manejar residuos de múltiples orígenes como pudieran ser domésticos, comerciales, industriales, de la construcción y agrícolas.

En México, la solución del reto que presenta el manejo integral de los residuos ha sido deficiente, la incorporación de nuevas técnicas de administración, planificación e ingeniería, así como legales y financieras, aún no se logran en todo el país y los esfuerzos que realizan los gobiernos municipales, estatales y federales, así como los demás sectores de la sociedad, no han sido suficientemente concatenados para alcanzar resultados tangibles.

La reducción en la generación, la reutilización y el reciclado, representan medios para aliviar algunos problemas del manejo de residuos, pero no es suficiente. Algunas soluciones para reducir el problema de la disposición final es la etapa de tratamiento biológico, que aprovecha el valor energético de los residuos.

En el proceso natural de la descomposición de los residuos se genera biogás, en algunos rellenos sanitarios éste es captado para su aprovechamiento energético, aunque este proceso de producción de biogás puede optimizarse en un proceso de tratamiento anaerobio.

En el siguiente capítulo se abordarán las técnicas de obtención de biogás a partir del tratamiento de los RSU y RME usadas actualmente en México y a nivel internacional, su composición química y su aprovechamiento energético para generación eléctrica y térmica.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

Capítulo 2.

Producción de biogás a partir de residuos

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

2. Producción de biogás a partir de residuos

Introducción.

La fermentación anaeróbica se ha venido utilizando desde hace varios siglos en Europa y Asia. Las primeras noticias de su existencia fueron reportadas por Volta en 1776, cuando este descubrió la formación de un gas combustible sobre pantanos, lagos y aguas estancadas y relacionó la formación de biogás con la cantidad de materia orgánica depositada en su fondo (Aqualimpia, 2009).

La primera planta de digestión anaeróbica fue construida en Bombay, India en 1859, extendiéndose su uso en países cercanos como China, Taiwán, Corea, Tailandia, Kenya y Sudáfrica, se estima que se han construido más de 6 millones de digestores solo en estos países, el uso de estos se extendió hasta Inglaterra en 1895, cuando el biogás recuperado fue usado como combustible en las lámparas de las calles de Londres.

Los residuos orgánicos que son vertidos indiscriminadamente al ambiente se degradan anaeróbicamente produciendo biogás que emana incontroladamente a la atmósfera. El biogás está compuesto en un 60% de gas metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2); y concentraciones mínimas de compuestos orgánicos no metálicos (NMOC). El CH_4 y el CO_2 son considerados Gases de Efecto Invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global. El metano presente en el biogás es considerado como un gas que aporta enormemente al calentamiento global pues tiene un potencial de calentamiento 21 veces mayor que el CO_2 .

Los rellenos sanitarios son en la actualidad la forma más utilizada para disponer la basura en nuestro país. Actualmente existen millones de toneladas de basura confinadas bajo el subsuelo nacional que, en menor o mayor grado, están emitiendo gases a la atmósfera y líquidos al subsuelo. La posibilidad técnica de convertir estos gases en electricidad está plenamente probada; la tecnología para ello existe comercialmente, pero la práctica de aplicarla no está suficientemente difundida.

Con la basura del país, confinada en sitios de disposición final de 1998 a 2003, se produjeron gases con los que se hubieran podido generar cerca de 80 MW, e incorporar 16MW adicionales con la nueva basura que, año con año, se hubiese acumulado en los rellenos existentes. De esta forma, a lo largo de diez años la capacidad total de generación eléctrica hubiera alcanzado los 240 MW (Arvizu, 2003).

En la primera parte del capítulo, repasamos cómo la energía solar es la misma energía que utilizamos todos los seres vivos y la materia orgánica, definimos la biomasa así como al biogás y estudiamos sus características fisicoquímicas. A partir de esas características estudiaremos cuales son los usos que le podemos dar a ese biogás enfocándonos en su aprovechamiento energético, describimos las etapas de la digestión anaeróbica de donde se obtiene el biogás y enunciamos las condiciones que se deben tener para optimizar el proceso.

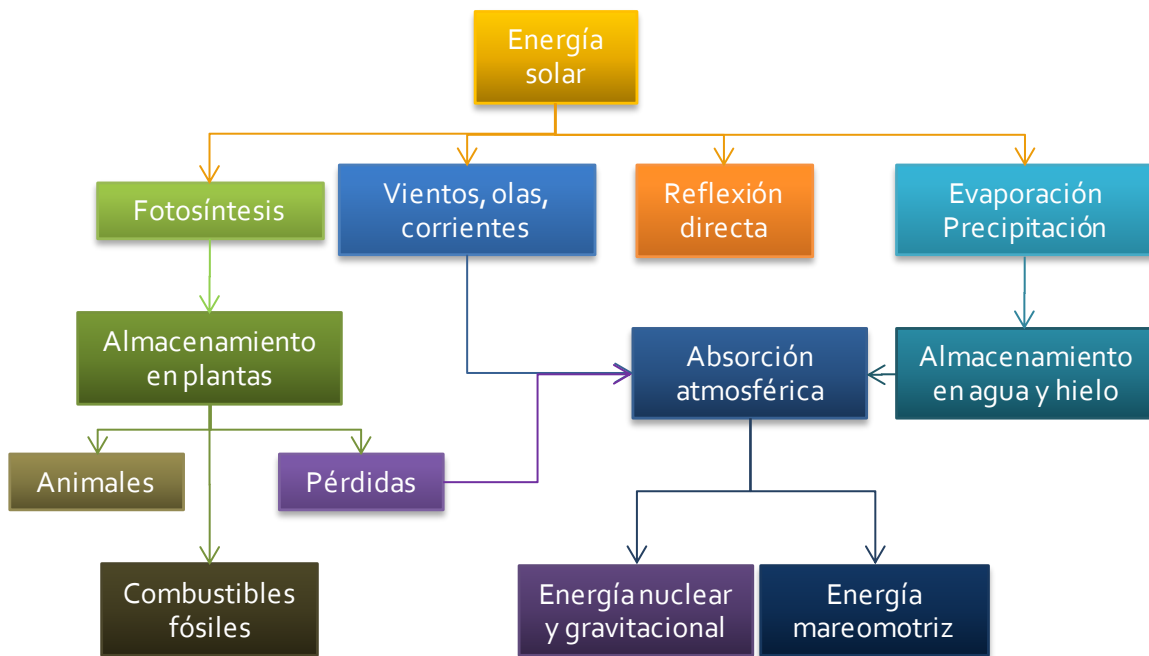
En la segunda parte, describimos los procesos inducidos para generación de biogás a partir de residuos que se utilizan actualmente. En primer lugar estudiamos a las celdas de los rellenos sanitarios, cuya operación permite mantener condiciones anaeróbicas y generar biogás, aunque un poco ineficiente y por otro lado tenemos a los digestores, cuya técnica y uso no son nuevos, pero permiten optimizar la generación de metano en la descomposición de la materia. Al final de esta parte comparamos ambas técnicas para analizar sus ventajas y desventajas.

2.1 Biogás

2.1.1 Biomasa

La energía del planeta proviene del Sol, esta energía mediante la fotosíntesis¹⁰ entra en la base del ecosistema y se almacena y fluye a lo largo de la cadena trófica¹¹ (Fig. 2.1), comenzando desde el Sol hasta los organismos descomponedores y los elementos químicos principales (C, H, O, N, P), pasan a través de la cadena alimenticia mediante sus ciclos correspondientes.

Figura 2.1 Flujo de energía procedente del Sol



Fuente: Autor a partir de Castells, 2005.

La biomasa es el conjunto de materia energética, ya sea de origen vegetal, animal o procedente de su transformación natural o artificial. Todos los tipos de biomasa provienen de

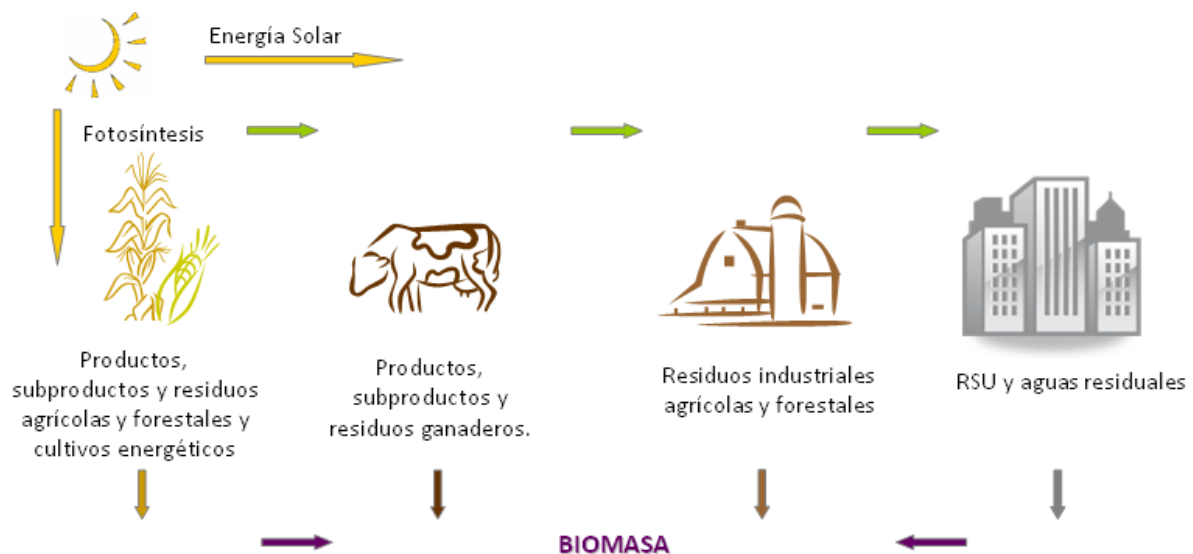
¹⁰ Proceso por el cual unas partículas (cloroplastos) presentes en las células vegetales, son capaces de formar sustancias orgánicas a partir del CO₂ existente en el aire y H₂O utilizando la energía solar como catalizador.

¹¹ Cadena trófica, o también conocida como cadena alimentaria, es la corriente de energía y nutrientes que se establece entre las distintas especies de un ecosistema en relación con su nutrición.

la fotosíntesis, formando un ciclo (ver figura 2.2) que le da la singularidad de ser una fuente de energía renovable y se puede clasificar principalmente en:

- ☀ **Biomasa natural:** Producida en los ecosistemas naturales.
- ☀ **Biomasa residual:** subproductos derivados de actividades agrícolas, ganaderas y forestales.
- ☀ **Biomasa primaria:** residuos agrícolas, ganaderos y forestales.
- ☀ **Biomasa secundaria:** residuos provenientes de industrias agroalimentarias y forestales.
- ☀ **Cultivos energéticos:** plantas destinadas, exclusivamente, a su aprovechamiento energético.

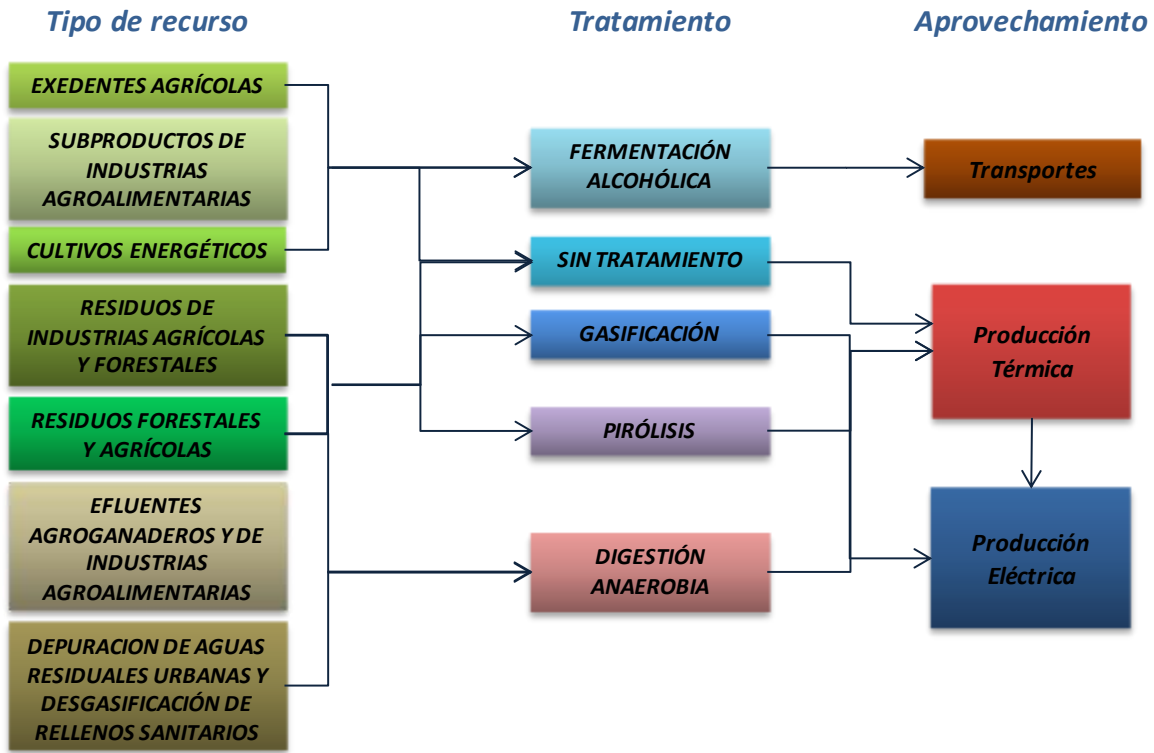
Figura 2.2 Ciclo de la biomasa



Fuente: el autor a partir de Castells, 2005.

El aprovechamiento de la biomasa está asociado a los tratamientos (Figura 2.3) a los que se puede someter la misma, que puede ser utilizada en forma sólida, líquida y gaseosa.

Figura 2.3 Transformaciones energéticas de la biomasa



Fuente: Adaptado de Castells, 2005

2.1.2 Definición, composición y características del biogás

Los combustibles gaseosos provenientes de la biomasa son el gas de síntesis, procedentes de la gasificación o la pirólisis de la biomasa, cuya composición predominante es el H₂ y los gases provenientes de la digestión anaeróbica conocido como biogás.

Se le da el nombre de biogás a la mezcla gaseosa producida por la descomposición de componentes orgánicos biodegradables en condiciones anaeróbicas¹² y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y las condiciones en las que ocurre su transformación, generalmente el biogás se compone de una mezcla de gases, principalmente CH₄ (metano) y CO₂ (tabla 2.1), y cuyas características se enlistan en la tabla 2.2.

¹² Ausencia de oxígeno

Tabla 2.1 Composición bioquímica del biogás

| COMPONENTE | FÓRMULA QUÍMICA | %VOLUMEN |
|---------------------|------------------|----------|
| Metano | CH ₄ | 60-70 |
| Gas Carbónico | CO ₂ | 30-40 |
| Hidrógeno | H ₂ | 1.0 |
| Nitrógeno | N ₂ | 0.5 |
| Monóxido de Carbono | CO | 0.1 |
| Oxígeno | O ₂ | 0.1 |
| Ácido Sulfhídrico | H ₂ S | 0.1 |

Fuente: Silva Vinasco, 2000.

Tabla 2.2 Características del biogás

| CARACTERISTICAS | BIOGAS |
|-------------------------------|---|
| Proporciones % Volumen | 60 CH ₄ / 40 CO ₂ |
| Valor Calórico | |
| MJ/m ³ | 21,5 |
| kcal/m ³ | 5140 |
| Ignición % en aire | 6-12 |
| Temp. ignición [°C] | 650-750 |
| Presión crítica [MPa] | 7,5-8,9 |
| Densidad nominal [g/l] | 1,2 |
| Densidad relativa | 0,83 |
| Inflamabilidad Vol. en % aire | 6-12 |

Fuente: Adaptado de Hilbert, 2003

2.1.3 Utilización del biogás

Debido a las características del biogás estas permiten emplearlo con propósitos de generación de energía y puede ser utilizado para:

- ✿ Gas de síntesis
- ✿ Iluminación
- ✿ Aplicaciones térmicas
- ✿ Refrigeración
- ✿ Combustible
- ✿ Electricidad

2.1.3.7 Gas de síntesis

El gas de síntesis está compuesto principalmente de H_2 y CO . Este gas puede ser usado para la generación de energía o como precursor para la producción de hidrógeno, compuestos químicos y combustibles sintéticos. Puede ser producido a partir de cualquier fuente de hidrocarburos como son el gas natural, aceites residuales, coque de petróleo, carbón o biomasa. Sin embargo, hoy en día la forma más barata de producir gas de síntesis es a partir del gas natural, utilizando un agente oxidante como vapor de agua u oxígeno y un catalizador metálico. Debido a las características del biogás (rico en CH_4 y CO_2), puede ser utilizado para producir gas de síntesis con la ventaja de no necesitar agentes oxidantes, pues utiliza su propio CO_2 (<http://www.ott.csic.es/ofertatecnologica/index.html>).

2.1.3.8 Iluminación

Las lámparas de biogás pueden utilizarse en comunidades que no se encuentran conectadas a una red eléctrica. La luz brillante reflejada por las lámparas de biogás se debe al intenso calor que induce la luminosidad de metales especiales como son el Torio, Cerio y Lantano a temperaturas de 1000-2000 °C. Los flujos de luz alcanzan alrededor de 400 -500 lumen.

Un buen funcionamiento de una lámpara de biogás depende de la calibración óptima de llama y del cuerpo incandescente, que debe ser rodeado por la llama con el mínimo consumo de gas.

Las desventajas de las lámparas a biogás es que poseen un bajo rendimiento, ya que se calientan mucho y necesitan unos 10 [cm] de columna de agua de presión, además si se cuelgan muy cerca del techo, existe peligro de incendio.

2.1.3.9 Aplicaciones térmicas

Las aplicaciones térmicas más comunes son las llamadas estufas de biogás pues son muy utilizadas en áreas rurales, aunque también es utilizado para calentar hornos, secadoras y calderas.

2.1.3.10 Refrigeración

Las máquinas de refrigeración tipo absorción, operados con amoniaco y agua, el termosifón de circulación automática son equipos típicos que pueden funcionar con biogás. Aun que se debe cuidar que no existan variaciones en la composición de biogás ya que puede afectar el funcionamiento del equipo de refrigeración.

2.1.3.11 Combustible

El biogás puede utilizarse como combustible en motores a diesel o a gasolina, en el caso de los motores a diesel el biogás puede remplazar hasta el 80% del acpm¹³ y para los motores de gasolina este la puede llegar a remplazar totalmente. Entre sus aplicaciones más comunes se encuentran el bombeo de agua y funcionamiento de ordeñadoras.

2.1.3.12 Electricidad

El biogás es inyectado a generadores eléctricos (motogeneradores). Esta energía eléctrica puede ser usada para iluminación o bombeo y el calor excedente es utilizado para calefacción.

¹³ acpm: aceite combustible para motores

2.1.4 Generación de biogás

2.1.4.4 Generación Natural

Como ya se dijo, el biogás se produce por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, este proceso es conocido comúnmente como *digestión anaeróbica* (Figura 2.4), éste es un proceso de óxido-reducción de azúcares y otros compuestos en la cual intervienen y se combinan los esfuerzos de varios tipos de bacterias para degradar la materia orgánica.

Los procesos bacterianos y enzimáticos de la *digestión anaeróbica* son sensibles a variación en temperatura, contenido de agua, y composición general de la mezcla de materia orgánica. El biogás se produce únicamente si se excluye el aire de forma tal que se pueda desarrollar la condición anaeróbica.

La *digestión anaeróbica* se presenta en condiciones naturales en la descomposición de la materia orgánica, pero la cantidad de biogás producido es pequeña o su concentración de CH₄ es pobre, ya que las bacterias tardan mucho tiempo para lograr un entorno apropiado y tener una tasa de producción de biogás, por ejemplo en rellenos sanitarios.

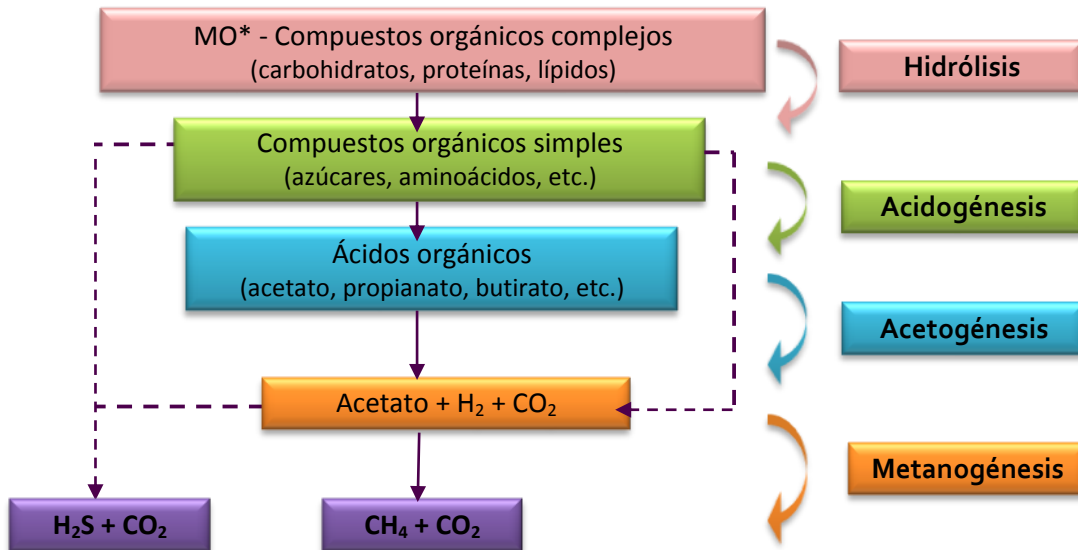
La *digestión anaeróbica* se produce en forma natural cuando se dan las condiciones adecuadas, pero se puede optimizar el proceso y recolectar el metano si se realiza de forma inducida en un periodo de 30 a 45 días.

2.1.4.5 Digestión anaeróbica

La *digestión anaeróbica* se compone de varias etapas¹⁴ las cuales podemos observar en la figura 2.4 y se describen a continuación:

¹⁴ Fuente: http://www.fing.edu.uy/imfia/ambiental/reactores_anaerobios.ppt

Figura 2.4 Etapas de la digestión anaeróbica



* MO – materia orgánica

Fuente: http://www.fing.edu.uy/imfia/ambiental/reactores_anaerobios.ppt

a) Etapa de Hidrólisis

Los compuestos orgánicos complejos son transformados en material disuelto más simple, por medio de enzimas producidas por bacterias fermentativas.

b) Etapa de Acidogénesis

Los productos solubles son convertidos en ácidos grasos volátiles, CO₂, H₂, H₂S, etc., por la acción de las bacterias fermentativas acidogénicas.

c) Etapa de Acetogénesis

Los productos generados en la etapa anterior son transformados en sustratos para las bacterias metanogénicas.

d) Etapa de Metanogénesis

Finalmente se produce metano a partir del acetato (bacterias metanogénicas acetoclásticas) y de H₂S y CO₂ (bacterias metanogénicas hidrogenotróficas).

e) Etapa de Sulfurogénesis

Esta etapa solo se presenta cuando hay sulfatos, las bacterias sulfatoreductoras compiten por el sustrato con las demás bacterias, se genera más H₂S y baja la producción de CH₄, provoca problemas de olores y de inhibición.

2.1.4.6 Digestión anaeróbica Inducida

La digestión anaeróbica inducida se lleva a cabo en reactores anaerobios o digestores. La ventaja de la digestión anaeróbica inducida es que se pueden optimizar las condiciones para producir el biogás pues podemos tener un mejor control de las variables que determinan la generación.

Las variables que influyen en el proceso son las siguientes:

- ✿ **Temperatura:** se encuentra un funcionamiento óptimo alrededor de los 35 ° C
- ✿ **Acidez:** determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6.
- ✿ **Contenido en sólidos:** se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad.
- ✿ **Nutrientes:** para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales.
- ✿ **Tóxicos:** aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.

2.2 Producción de biogás a partir de residuos

Existen muchas formas de eliminar los residuos, pero pocas ayudan a tratarlos y disponerlos de forma adecuada. Nos olvidamos que estos residuos también tienen un contenido energético y que al no reincorporarlos a la naturaleza de una forma amigable, esa energía en lugar de ser aprovechada puede dañar al ambiente.

La basura la podemos segregar, reciclar, incinerar o disponer en rellenos sanitarios, pero también podemos aprovechar los residuos de origen orgánico como biomasa para la generación de biogás.

Ventajas:

- La humedad de los residuos no es un problema
- Se pueden tratar conjuntamente diversos tipos de residuos (co-digestión)
- Reducen problemas de olores
- Ingresos adicionales por: gestión de residuos, generación de calor y electricidad y venta de subproductos según el caso.

Para aprovechar el biogás generado por la digestión anaeróbica tenemos dos técnicas, la captación en los rellenos sanitarios y el uso de digestores, ambas técnicas son muy utilizadas.

2.2.1 Captación de biogás en celdas de Rellenos Sanitarios

Los rellenos sanitarios son depósitos donde son confinados los residuos, principalmente RSU y RME. En los rellenos sanitarios se dan condiciones anaeróbicas, por lo que se le puede considerar como un gran reactor anaerobio de baja eficiencia (Castells, 2005).

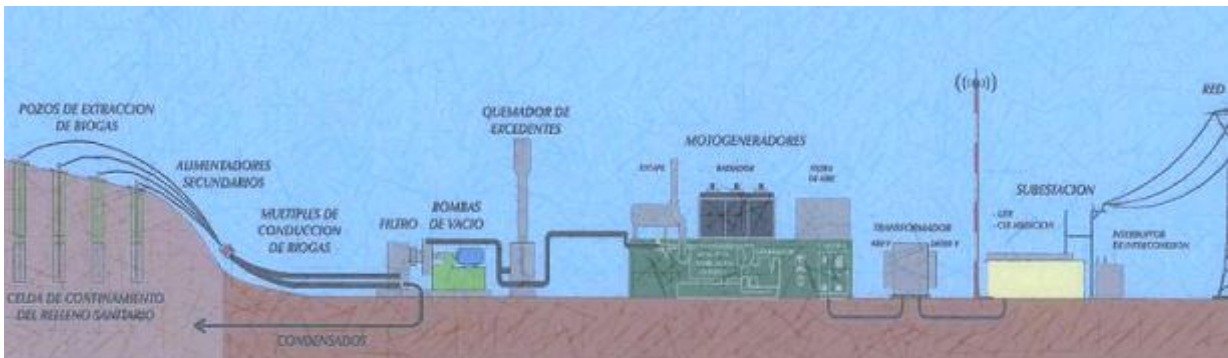
La recuperación del biogás de los rellenos sanitarios no solo debe plantearse como aprovechamiento energético, también debe hacerse como medida de seguridad y ecológica.

2.2.1.7 Descripción del proceso de captación

Los Rellenos Sanitarios tienen un tratamiento anaerobio diferente pues no tienen una cámara de digestión especialmente construida para tal fin, sino que sólo se hacen excavaciones las cuales serán rellenas generalmente con RSU y RME, y de los cuales no se obtendrá ningún efluente tratado, sólo quedará la porción de sólidos que no se pudo degradar y el lixiviado.

El biogás puede o no recolectarse, para aprovechar el biogás producido en un relleno sanitario se emplean diversas técnicas, entre las cuales se tienen pozos verticales y pozos horizontales, que permiten su extracción desde las vetas de gas formadas dentro del relleno; el biogás generalmente se encuentra a bajas presiones, así que el método se basa en un sistema de colección y conducción por aspiración forzada (figura 2.5), pasando a las etapas de medición, análisis y quema del biogás extraído (figura 2.6).

Figura 2.5 Captura de biogás en un relleno sanitario



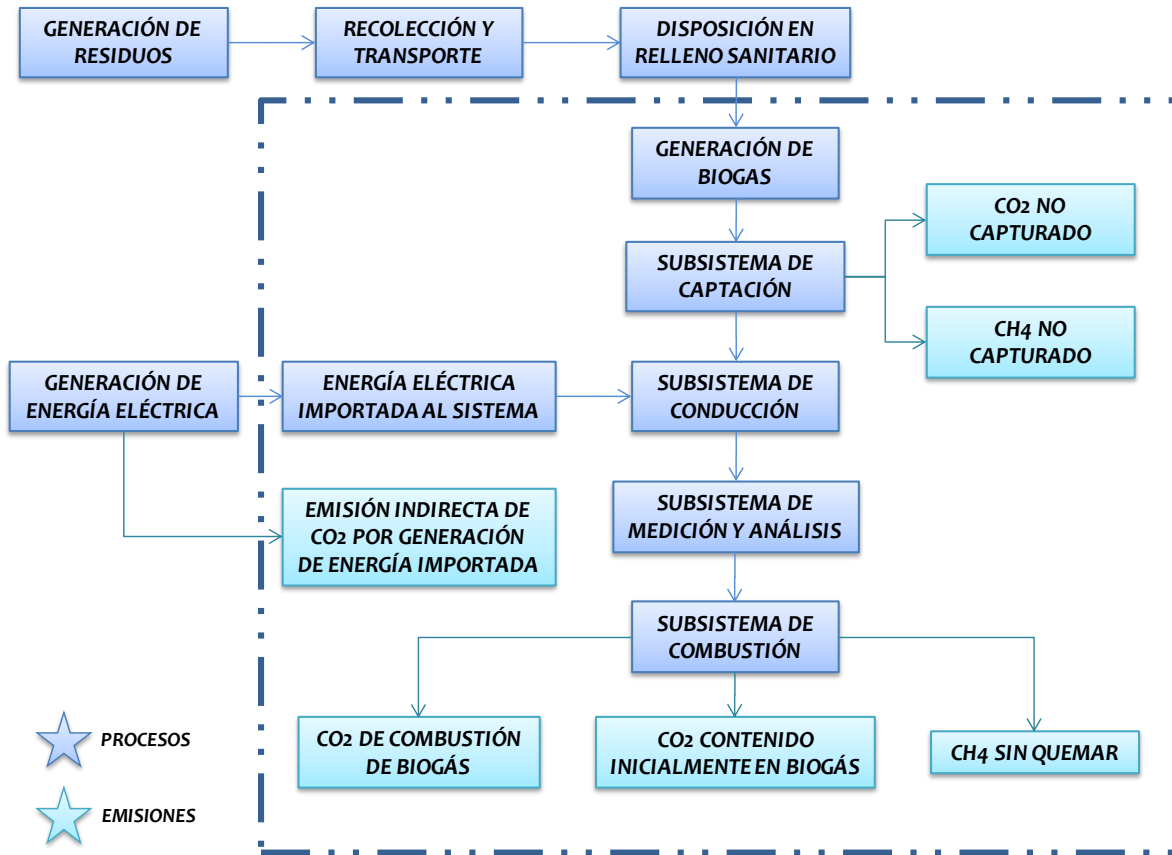
Fuente: ESISA, 2008

Este tratamiento es muy utilizado en Europa por los sectores municipales en el saneamiento de ciudades, con recuperación de grandes volúmenes de gas. En América Latina, Chile, Brasil y Argentina son unos de los países pioneros en aplicar con éxito este método.

El sistema se compone de un conjunto de cuatro subsistemas relacionados entre sí (AES, 2007):

1. **Subsistema de colección:** consistente en un conjunto de pozos, distribuidos en las celdas cerradas y maduras, mediante los cuales se extrae el biogás del interior del relleno.
2. **Subsistema de aspiración y conducción:** conformado por una red de cañerías y un equipo de turbinas de aspiración, que permiten el flujo del biogás desde los pozos de colección hasta el subsistema de quemado. En el circuito se intercalan trampas de condensados para retener los lixiviados que pudieran haber emigrado junto con el biogás.
3. **Subsistema de medición y análisis:** instalado entre el subsistema de aspiración/conducción y el de quemado, con el fin de registrar de forma precisa y fehaciente las cantidades de metano que se quemarán. Está constituido por un rotámetro fijo y en línea con el conducto principal, que medirá el caudal del biogás que se incinerará; y por un analizador de gases que mediante un plan de monitoreo específico, permitirá determinar la proporción de metano presente en el Biogás a quemar.
4. **Subsistema de incineración:** Basado en una antorcha que comprende una cámara de combustión del biogás y la chimenea de evacuación de gases a la atmósfera. Se contará con el equipo y las herramientas adecuadas para la determinación de la eficiencia de quemado del metano en la antorcha instalada.

Figura 2.6 Operación de un Relleno Sanitario con sistema de captura y quema de biogás



Fuente: <http://www.aesamisiones.com.ar/pdd.htm>

2.2.1.8 Evolución de un relleno sanitario para la captación de biogás

En la evolución de un relleno sanitario (figura 2.7) se pueden distinguir varias Fases, cuya duración varía en función de las características del relleno sanitario, de la composición de los residuos, o de que recirculen lixiviados¹⁵ o no.

- I **Fase de ajuste inicial:** en la que los componentes biodegradables se degradan durante la disposición. El ambiente es predominantemente aerobio, aunque ya se forman algunos núcleos anaerobios. Puede tardar desde unos días hasta varios meses, dependiendo de la rapidez de la descomposición de los residuos. Si la humedad es

¹⁵ Separación de uno o más componentes de un material sólido mediante la acción del agua, que actúa como disolvente.

suficiente, la descomposición consumirá rápidamente el oxígeno del relleno y pasará a la segunda etapa.

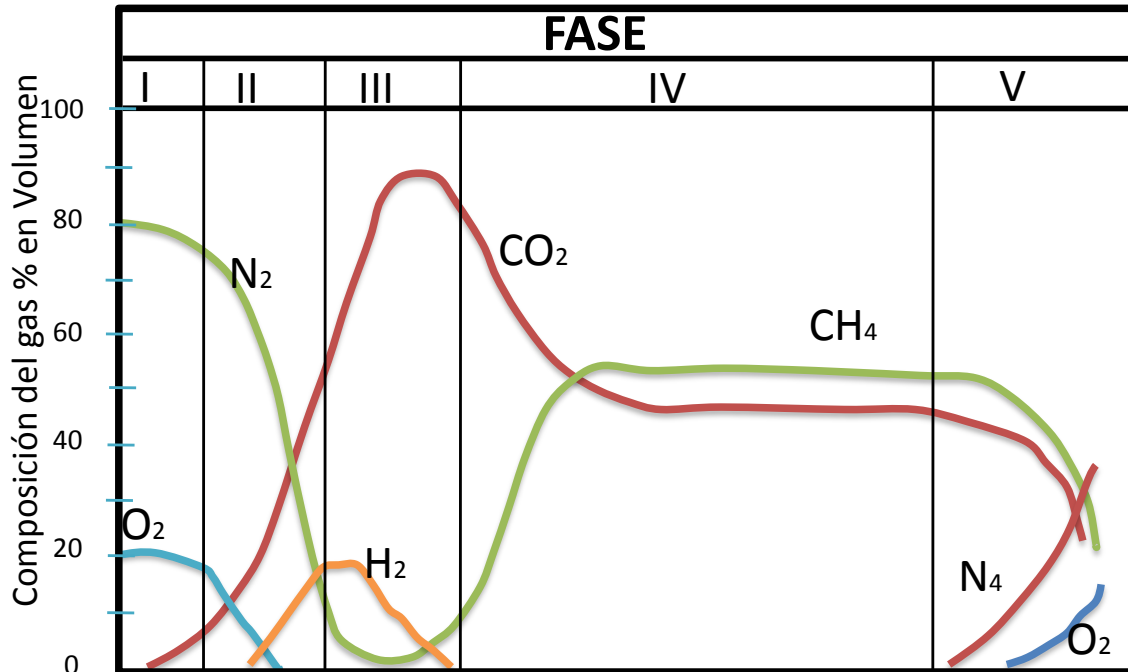
- II Fase de transición:** *desciende el nivel de oxígeno y comienzan a darse las condiciones anaeróbicas, las bacterias comienzan a utilizar los nitratos y sulfatos como fuente de oxígeno, para producir sulfuros, N₂ y CO₂. Con el tiempo comienzan a establecerse las condiciones plenamente reductoras en las que se pueden producir los procesos de metanogénesis. Durante esta fase comienza la degradación de los materiales orgánicos llevándose a cabo las fases de hidrólisis y acidogénesis.*

- III Fase ácida:** *durante esta fase se acelera la actividad biológica, produciendo en cantidades importantes ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de CO₂ y en menor proporción H₂. Las principales bacterias que actúan en este periodo son acidogénicas.*

- IV Fase metanogénica:** *durante esta fase comienza la producción de metano gracias a la acción de las bacterias metanogénicas.*

- V Fase de maduración:** *la fase final de la actividad del relleno sanitario se caracteriza por la desaparición de los materiales más biodegradables, produciéndose la descomposición de materiales más lentamente degradables. La velocidad de generación de biogás disminuye considerablemente.*

Figura 2.7 Caracterización de las fases de un relleno sanitario



Fuente: Castells, 2005

2.2.1.9 Requerimientos técnicos

Para que la degradación anaeróbica se lleve a cabo en un relleno sanitario, la materia orgánica debe estar enterrada en las celdas y se requiere de un mínimo de dos años de maduración para poder aprovecharlo en forma comercial, para ello es necesario ubicar y valorar las “bolsas” de gas que se hayan formado antes de proceder a su extracción.

Para una extracción adecuada deben considerarse las siguientes condiciones de operación del Relleno Sanitario:

- Volumen de RSM depositados.
- Humedad.
- Composición.
- Antigüedad del sitio.
- Altura de las celdas.
- Manejo técnico del sitio: (lixiviados, material de cobertura, etc.)

Una vez generado y extraído el biogás se requiere de un sistema de conducción, generalmente formado por tubería plástica, de PVC o polietileno, para su transporte hacia las áreas de almacenamiento, purificación, enriquecimiento y posterior aprovechamiento para generar energía eléctrica.

2.2.1.10 Otras consideraciones

✿ Económicos

- Falta de recursos presupuestales del gobierno.
- Esquemas de financiamiento lentos y complicados.

✿ Legales

- Facultades para asociarse.
- Legislación en materia de contratos a largo plazo.
- Autorización a nivel cabildo ó congreso estatal.
- Propiedad del predio y/o derechos del gas.
- Sitio concesionado.
- No existe legislación sobre el Biogás en México como energía renovable

✿ Sociales

- Existencia de pepenadores.
- Vecindades.
- Consulta pública.
- Seguridad perimetral del sitio.

✿ Políticas

- Convencimiento de la administración local.
- Composición ideológica del cabildo o del congreso estatal.
- Intereses particulares.
- Período electoral.

2.2.1.11 Proyectos de captación de biogás en Rellenos Sanitarios

✿ Internacional

En el 2002 habían en el mundo alrededor de 1,152 plantas que suman una capacidad de generación eléctrica de 3,929 MW y generan en promedio 3.1 m³/ton-año de biogás de relleno sanitario, de las 1,152 plantas, 734 se encuentran en Europa y 354 en los Estados Unidos, 15 en Canadá, 19 en Asia, 18 en Australia, 8 en Sudamérica y 4 en África (Themelis, 2002).

✿ En México

En México existe varias plantas instaladas para captura de biogás en rellenos sanitarios, pero el ejemplo más conocido de la utilización de este tipo de técnica es en el relleno sanitario de Salinas Victoria en la zona conurbada de Monterrey, cuya celda contiene 7 millones de toneladas de residuos y su capacidad es de 7.4 MW.

El biogás generado por el relleno, es extraído por 160 pozos, este tiene una composición de CH₄ del 55% y es convertido por motogeneradores a energía eléctrica que es enviada por la red de distribución de la CFE hasta la zona metropolitana de Monterrey para su utilización en alumbrado público, bombeo de agua y el transporte colectivo de la ciudad (SIESA, 2007).

Actualmente se encuentra en su tercera fase, la cual incrementará la red de captación de biogás en otra sección del relleno en un área aproximada de 40 has y en ella se perforarán entre 130 y 160 nuevos pozos la cual ampliará su capacidad de generación neta a 16.96 MW.

Esta planta (figura 2.8) representa la primera experiencia en el ámbito nacional, sobre el aprovechamiento de biogás generado por residuos dispuestos en un relleno sanitario, para generación eléctrica.

Figura 2.8 Central de biogás en relleno sanitario de Salinas Victoria

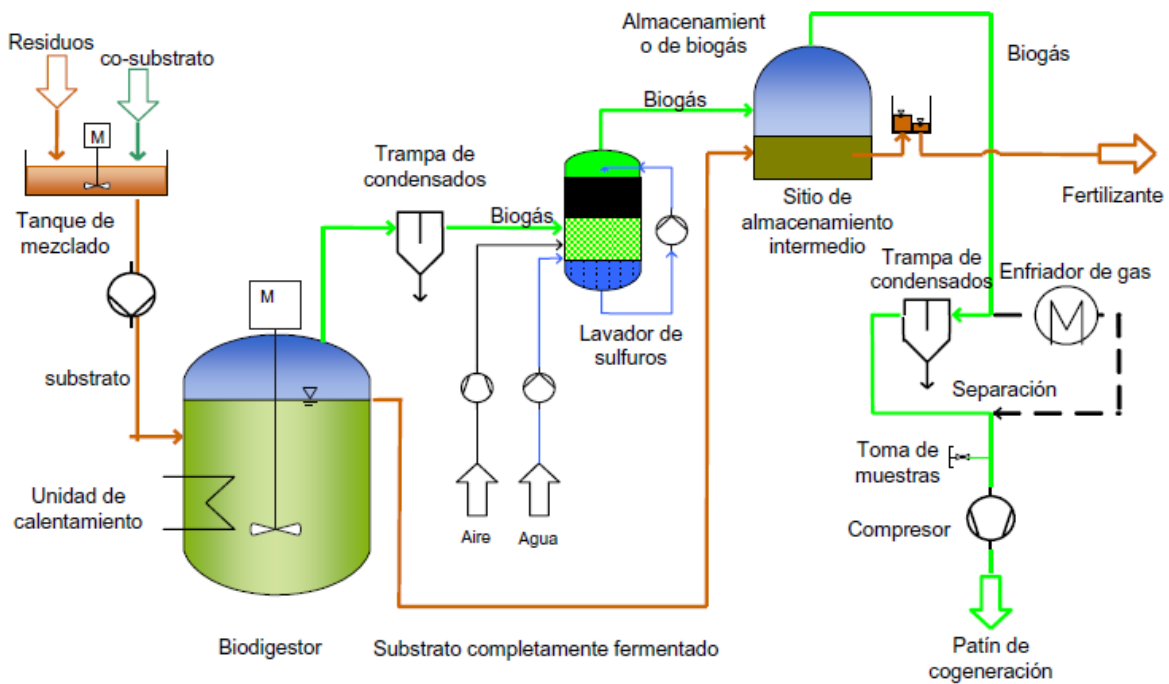


Fuente: SEISA, 2005

2.2.2 Digestores

El digestor es la estructura física o reactor que favorece en un proceso natural anaerobio (Figura 2.9) la estabilización de la materia orgánica contenida en los residuos y la generación del biogás.

Figura 2.9 Proceso de generación de biogás en un digestor



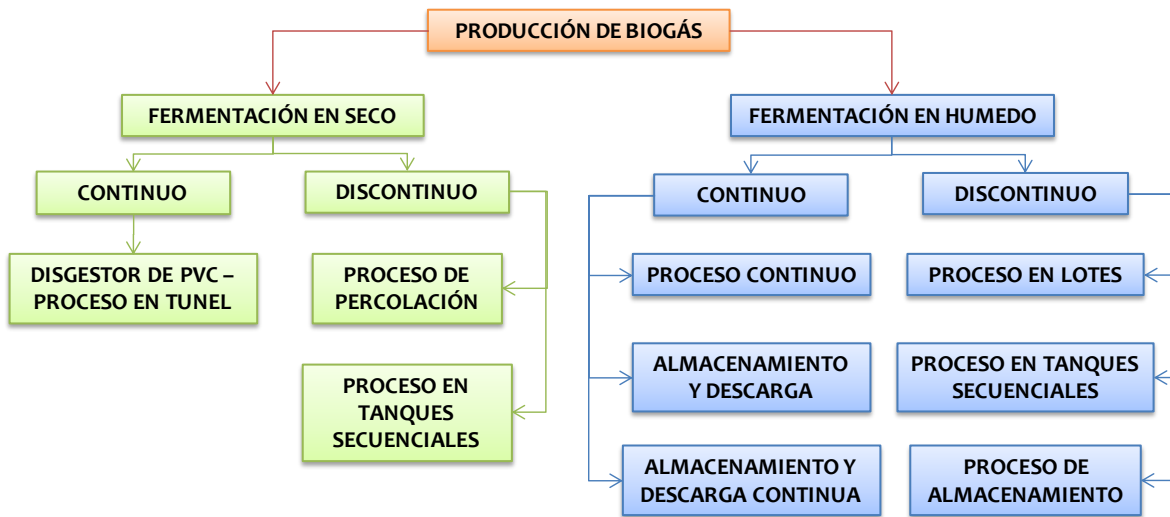
Fuente: ESISA, 2007

2.2.2.2 Tipos de digestores¹⁶

De acuerdo al proceso o modo de operación, llenado y vaciado es como se definirán los digestores a continuación (ver figura 2.10):

¹⁶ Este apartado se elaboró a partir de Moncayo 2008

Figura 2.10 Clasificación general de los digestores



Fuente: Adaptado de Moncayo, 2008.

La fermentación en seco se aplica generalmente en procesos industriales. El término de fermentación seca se refiere a que el porcentaje de masa seca (MS) es mayor o igual al 20%, la fermentación húmeda se refiere a los digestores que procesan biomasa con un MS menos al 15%.

✿ Digestores en carga batch

De lote o batch: se cargan una vez en forma total o por intervalos durante varios días. La descarga se efectúa cuando se ha degradado la totalidad de la materia orgánica y ya no produce biogás. Es aplicable cuando se presenten problemas operativos o cuando la materia orgánica no existe en forma continua.

La ventaja de este tipo de digestores:

- Puede procesar una gran variedad de materiales.
- La carga puede recolectarse en campo abierto porque, aunque tenga tierra u otro inerte mezclado, no entorpece la operación del digestor.
- Admiten cargas secas que no absorban humedad, así como de materiales que flotan en el agua.

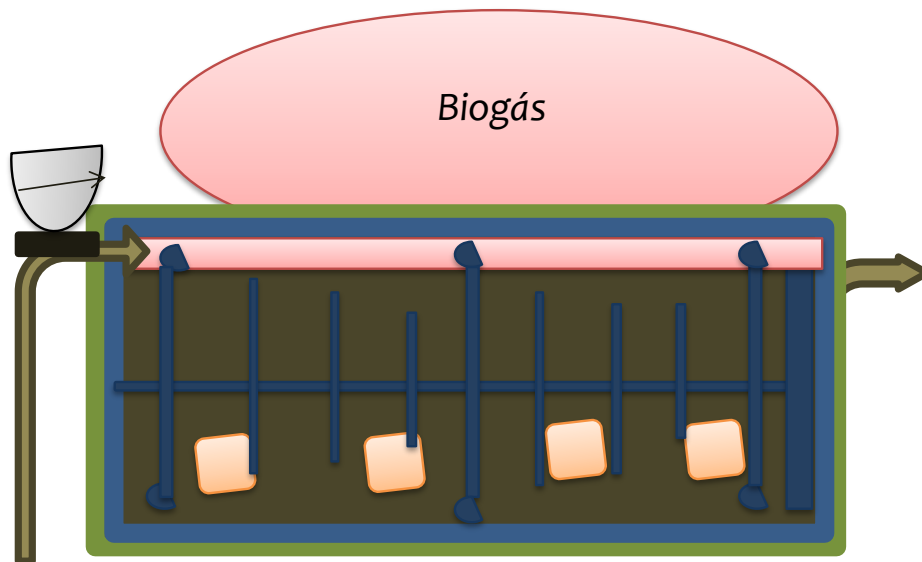
- Su trabajo en ciclos, los hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de la materia prima no sea continua, sino periódica.
- No requiere prácticamente ninguna atención diaria.

Las principales desventajas son:

- La carga y descarga requiere un considerable y paciente trabajo.

Horizontales o de desplazamiento: generalmente se construyen enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal. Utilizan el sistema de operación semicontinuo, entretanto la carga por un lado y saliendo el lodo por el otro extremo.

Figura 2.11 Digestor horizontal flujo-pistón



Fuente: el autor a partir de Moncayo, 2008.

✿ Digestores de régimen semicontinuo

Se utiliza generalmente en áreas rurales y en pequeñas granjas agrícolas. Son sistemas de uso doméstico. Se cargan por gravedad una vez al día con volúmenes de mezcla que dependen del tiempo de retención. Producen una gran cantidad de biogás y fertilizante constante durante todo el día.

✿ Digestores de régimen continuo

Este tipo de digestor se desarrolló principalmente para el tratamiento de aguas residuales y en la actualidad su uso se ha extendido al manejo de todo tipo de sustratos. Son utilizados en las plantas de biogás para la producción de energía eléctrica. Son digestores de gran tamaño en las que se emplean equipos comerciales para alimentarlos, para la agitación y control, se pueden automatizar con facilidad. Estos se cargan diariamente en forma periódica, la biomasa debe ser fluida y homogénea.

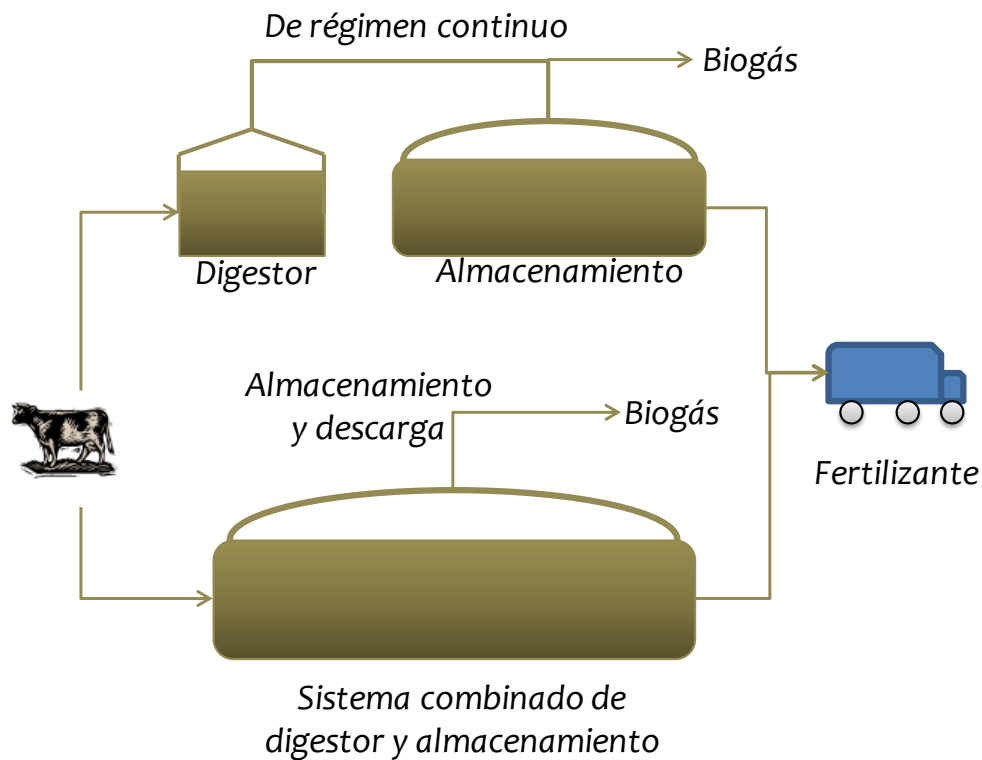
Ventajas:

- Este tipo de digestores permite controlar la digestión, con el grado de precisión que se requiera.
- Permite corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso, en cuanto es destacada. Permite manejar las variables relacionadas, la carga específica, el tiempo de retención y temperatura, a largos periodos.
- La tarea "puesta en marcha" solo se vuelve a repetir cuando hay que vaciarlo por razones de mantenimiento. Las operaciones de carga y descarga de biomasa y de fertilizante no requieren de ninguna operación especial.

Las desventajas de este tipo de digestores son:

- La baja concentración de sólidos que admiten, no poseer un diseño apropiado para tratar materiales fibrosos, o aquellos cuyo peso específico sea menor que el del agua.
- En ocasiones tienen problemas de limpieza de sedimentos, espuma e incrustaciones.
- Para mejorar la producción de metano de este tipo de digestores, es conveniente mejorar la relación carbono/nitrógeno, que la materia no tenga trozos mayores a 1cm³, que se encuentre a niveles de pH aceptable y posea una alta cantidad de organismos metanizantes. Alimentando los digestores con mezclas de distintos sustrato se han obtenido resultados satisfactorios.

Figura 2.12 Digestor de régimen continuo



Fuente: el autor a partir de Moncayo, 2008.

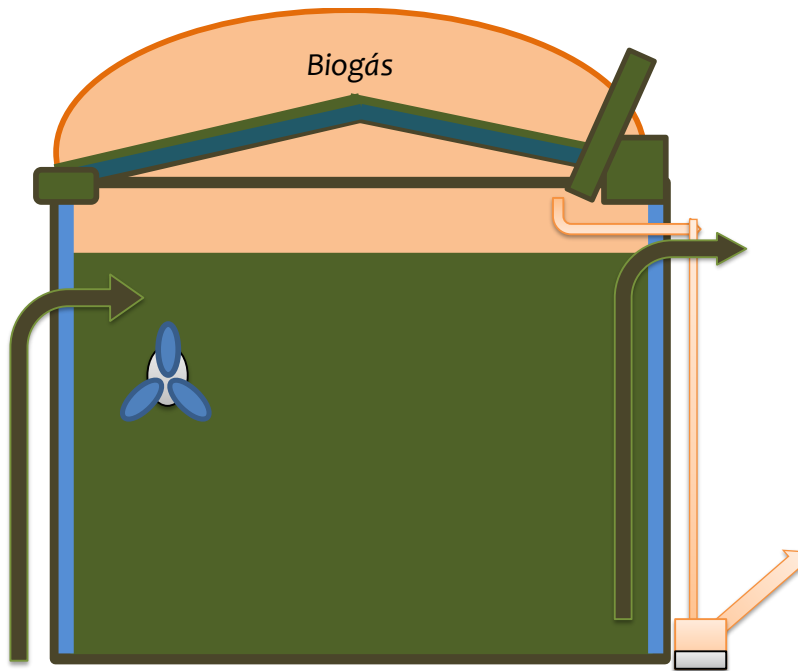
🌟 Completamente mezclados

Estos sistemas requieren menores tiempos de retención (10 a 30 días). Son aplicados a residuos con alto porcentaje de sólidos volátiles, a fin de lograr un mayor contacto entre la biomasa microbiana y el sustrato en cuestión.

La principal desventaja de estos digestores constituyen las bajas velocidades de carga con que pueden ser operados y los relativamente altos tiempo de retención requeridos, unido a la complejidad del sistema de mezclado, sobre todo en su construcción y mantenimiento.

Este tipo de digestores se os construye en acero u hormigón. Son mezclados por agitadores y trabajan en rangos de temperatura mezofílica y termofílica y se los utiliza muy eficientemente para degradar desechos sólidos. Tienen altos costos de construcción y operación pero un elevado rendimiento de metano.

Figura 2.13 Digestor de régimen completamente mezclado

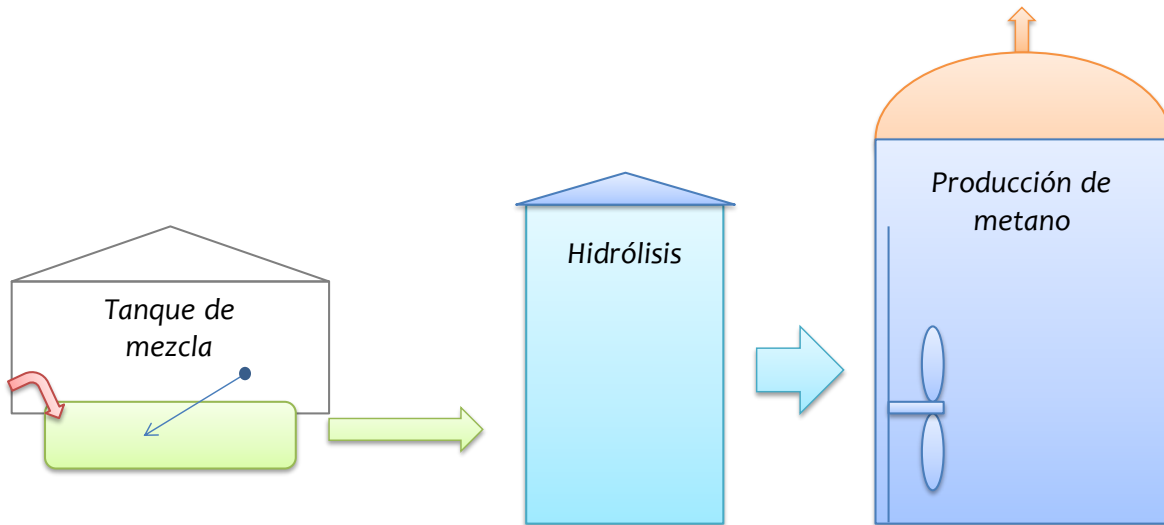


Fuente: el autor a partir de Moncayo, 2008.

✿ Digestores de dos etapas

Existen múltiples combinaciones de digestores de dos etapas. La concepción de estos sistemas está basada en el hecho de que varios grupos de bacterias involucradas en el proceso de descomposición de la materia orgánica compleja requieren diversas condiciones de pH y tiempo de retención para su óptimo crecimiento. En estos sistemas, en el primer digestor ocurre la hidrólisis y acidogénesis de la materia orgánica compleja, mientras que en segundo se lleva a cabo la acetogénesis y metanogénesis del material acidificado. Las variantes estudiadas de estos sistemas de doble etapa presentan como desventaja largos periodos de retención hidráulica, requeridos en la primera fase del tratamiento y las bajas eficiencias de conversión. Aun con la aplicación de digestores de alta tasa en la segunda etapa, la velocidad de conversión total y la eficiencia global es determinada por la etapa de hidrólisis y acidificación, por lo que cualquier estudio en cuanto al mejoramiento de la velocidad de esta primera etapa sería de gran importancia a los efectos económicos de esta variante.

Figura 2.14 digester de dos etapas



Fuente: el autor a partir de Moncayo, 2008.

✿ Digestión seca

La definición "seca" no es técnicamente muy clara, ya que siempre se utiliza un medio acuoso para la digestión anaeróbica.

Las principales ventajas son:

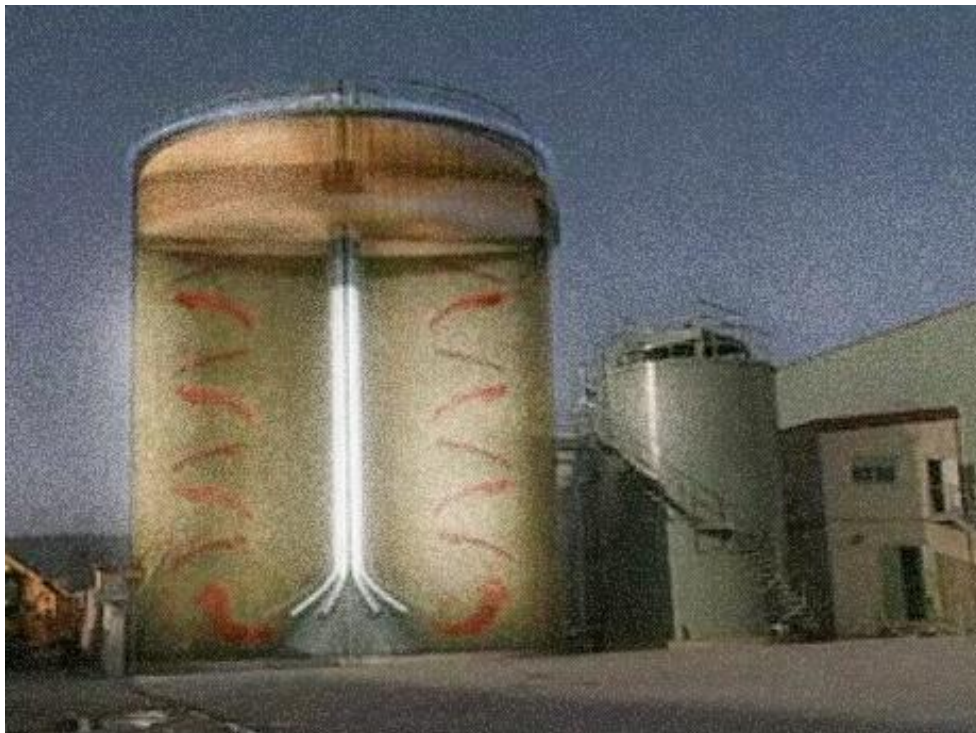
- Bajos consumos de agua.
- Solamente se requiere una mínima cantidad de agua para llevar a cabo el proceso.
- El volumen del digester es relativamente pequeño, debido a la alta densidad de materia orgánica con que es operado.
- Los requerimientos energéticos con el fin de mantener una temperatura controlada del sistema son bajos (producción endógena).

2.2.2.6 Digestores industriales

Desde hace años la mayoría de los digestores del sector industrial que están en funcionamiento son de mezcla completa y sistemas de contacto anaerobio. La agitación en estos reactores se realiza por bombeo (hidráulicamente) o bien por inyección de gas (Figura 2.15).

Desde 1982 ha predominado la instalación de digestores con acumulación interna de biomasa, en igual número se han instalado también los del tipo retención de biomasa, también llamados de lecho de lodos (U.A.S.B.), y los del tipo de inmovilización de biomasa (fixed carrier) llamados filtros anaerobios.

Figura 2.15 Recirculación de biogás



Fuente: Castro, 2009

2.2.2.7 Requerimientos Técnicos

Para que un digestor opere de forma correcta, debe de reunir las siguientes características¹⁷:

- Debe ser hermético, para evitar la entrada de oxígeno y fugas del biogás.
- Debe estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura.
- Aunque el digestor no sea un recipiente de alta presión, el contenedor primario deberá contar con una válvula de seguridad.
- Deberá de contar con los medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- Deberá de contar con acceso para mantenimiento.
- Contará con un medio para romper las natas que se forman.

2.2.2.8 Otras consideraciones

✿ Económicos

- Falta de recursos presupuestales del gobierno.
- Esquemas de financiamiento lentos y complicados.

✿ Legales

- Facultades para asociarse.
- Legislación en materia de contratos a largo plazo.
- Autorización a nivel cabildo ó congreso estatal.
- Propiedad del predio y/o derechos del gas.
- Sitio concesionado.
- No existe legislación sobre el Biogás en México como energía renovable

✿ Sociales

- Consulta pública.
- Seguridad perimetral del sitio.

¹⁷ Fuente: Mandujano, 1981

✿ Políticas

- Convencimiento de la administración local.
- Composición ideológica del cabildo o del congreso estatal.
- Intereses particulares.
- Período electoral.

2.2.2.9 Proyectos con Digestores

✿ Internacional

En los países europeos se aprovechan los desechos orgánicos para la producción de biogás, energía eléctrica y fertilizantes orgánicos. En estos países se han construido más de 5000 digestores a nivel industrial. En el 2006, la producción de biogás en Europa (figura 2.14) alcanzó casi los 5.3 millones de toneladas equivalentes de petróleo.

En los países latinoamericanos también se están desarrollando proyectos industriales de aprovechamiento de desechos orgánicos para la producción de biogás. Asia es el país con más instalaciones de biogás construidas y en China el 70% del combustible doméstico proviene de la descomposición de paja y tallos de cultivos y en la India, más de medio millón de personas se han servido de plantas de biogás como combustible doméstico [Moncayo, 2008].

✿ En México

En México solo se tienen proyectos de digestores para tratamiento de residuos ganaderos cuya capacidad solo es para autoconsumo, son utilizados en algunos rastrojos y granjas piscícolas (figura 2.15).

A continuación se describen algunas de las granjas porcinas (tabla 2.3), las cuales cuentan con digestores para el tratamiento de sus desechos, generan energía eléctrica que integran a la red y utilizan el calor residual para distintos procesos:

Figura 2.16 Digestor industrial en España



FUENTE: ESISA, 2007

Figura 2.17 Digestor para tratamiento de residuos ganaderos



Fuente: ESISA, 2007

Tabla 2.3 Aprovechamiento de biogás usando digestores en granjas porcinas

| Unidad Productiva | Características Generales del Biodigestor | Características generales de la granja |
|--|--|---|
| Granja el Mirasol, Capilla de Gpe., Tepatitlán, Jal. | Dimensión: 35x80x5 [m]. Capacidad: 14,000 m ³ Producción de biogás: 5,300 [m ³ /día] | 12,000 cerdos al destete Energía eléctrica: 18,000 kW/h |
| Avicar de Occidente S.A. de C.V., Tepatitlán, Jal. | Dimensión: 45x35x4 [m]. Capacidad: 6,300 m ³ Producción de biogás 611 [m ³ /día] | 5,200 cerdos Energía eléctrica: 71,824 kW/h |
| Granja Ana Margarita, Montemorelos, N.L. | Dimensión: 82.20x49.4x7 [m]. Capacidad del biodigestor: 8,516 m ³ Producción de biogás: 20,478 [m ³ /día] | 11,200 cerdos (gestación, crianza, desarrollo y finalización) Energía eléctrica: 40,000 kW/h |
| Granja El Chanco, Montemorelos, N.L. | Dimensión: 62.23x43.4x7 [m]. Capacidad del biodigestor: 4,626 m ³ Producción de biogás: 13,046 [m ³ /día] | 4,500 cerdos (gestación, crianza, desarrollo y finalización) Energía eléctrica: 13,000 kW/h |
| Granja La Prietita, Cadereyta, N.L. | Dimensión: 47.39x39x7 [m]. Capacidad del biodigestor: 3,750 m ³ Producción de biogás: 300 [m ³ /día] | 5,000 cerdos (gestación, crianza, desarrollo y finalización) Energía eléctrica: 19,000 kW/h |
| Granja San Carlos 3, Hermosillo, Son. | Dimensión: 81.68x62.6x4 [m]. Capacidad del biodigestor: 8,069 m ³ Producción de biogás: 1,121 [m ³ /día] | 7,440 cerdos (gestación, crianza, desarrollo y finalización) Energía eléctrica: 90,720 kW/h |
| Granja Santa Fe/ Sacramento | Dimensión: 132.13x53.78x7 [m]. Capacidad del biodigestor: 16,066 m ³ Producción de biogás: 1,550 [m ³ /día] | 15,157 cerdos (gestación, crianza, desarrollo y finalización) Energía eléctrica: 38,880 kW/h |
| Granja Las Palomas, Cd. Obregón, Son. | Dimensión: 63.09x32.61x6.71 [m]. Capacidad del biodigestor: 7,580 m ³ Producción de biogás: 1,300 [m ³ /día] | 13,550 cerdos (crianza – finalización) |
| Granja Las Palomas, Cd. Obregón, Son. | Dimensión: 87x69.71x6.5 [m]. Capacidad del biodigestor: 13,514 m ³ Producción de biogás 1,184 [m ³ /día] | 2,200 vientres (17,300 cabezas) Energía eléctrica: 50,000 kW/h |

Fuente: FIRCO, 2007.

2.2.4 Captación de biogás VS Digestores

El uso de digestores y la captación de biogás en los rellenos sanitarios tienen como base la digestión anaeróbica. Ambas técnicas son muy utilizadas a nivel mundial por sus múltiples ventajas, a continuación se enlistan las características de ambas técnicas (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 rellenos sanitarios vs. digestores

| | Rellenos Sanitarios | Digestores |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Tiempo de generación de biogás | 1 – 2 años | 30 – 45 días |
| Disminución de riesgos sanitarios | ✓ | ✓ |
| Generación eléctrica | ✓ | ✓ |
| Control de generación de biogás | poco | Mucho |
| Control en la composición del biogás | ✗ | ✓ |
| Inversión | mediana | Mucha |
| Limpieza de biogás | Muy necesaria | Necesaria |
| Abono orgánico | ✗ | ✓ |
| Residuos | Lixiviados | ✗ |
| Agua tratada | ✗ | ✓ |

Fuente: Moncayo, 2008

Conclusiones.

La utilización de residuos como fuente energética no solo resuelve una parte del problema de la disposición de los mismos y si no que visto desde una perspectiva más amplia, los residuos son una fuente sustentable de energía, pues en todos los procesos industriales y de consumos siempre se van a generar.

Las técnicas de digestión anaeróbicas inducidas para generación de biogás nos dan una posible solución para dejar de depender de los combustibles fósiles, además de dar solución a una problemática mundial en el tema de tratamiento y disposición de RSU.

En la mayoría de los países latinoamericanos, el biogás ha tenido un uso limitado a la cocción de alimentos y calefacción de agua para usos generales, a pesar de ello, el uso del biogás como sustitución de combustibles fósiles, para la generación de electricidad en motores de combustión interna ha cobrado una mayor importancia en los últimos años, así como su utilización para obtener gas de síntesis, esto por ser más económico y por contar con las características necesarias para una óptima producción de hidrógeno. Eso sin tomar en cuenta los subproductos que se pueden obtener con el uso de digestores para la generación de biogás.

En México solo se tienen experiencia en la captura de biogás de rellenos sanitarios en proceso de clausura con el proyecto de Salinas Victoria que sirvió como ejemplo a seguir para el aprovechamiento de otros rellenos del país que se encontraban en condiciones similares.

Uno de los objetivos de la LGPGIR, es que se trate de evitar el uso de disposición final por medio de rellenos sanitarios, pero se necesita de personal capacitado para llevar a cabo este tipo de proyectos, sobre todo si se trata de instalación de digestores industriales, dónde México tiene muy poca experiencia y la puesta en marcha de un proyecto de este tipo, requiere de una fuerte inversión inicial.

Definitivamente este tipo de proyectos, pese a la fuerte inversión inicial, puede generarnos muchas fuentes de ingresos que nos dan rentabilidad a largo plazo, pero antes de llevarse a cabo es necesario evaluar el proyecto y analizar si la implantación de este resulta socialmente aceptable, técnicamente posible, económicamente rentable y amigable al medio ambiente, para ello nos apoyamos en la teoría para evaluación de proyectos de inversión, que no solo nos será útil para evaluar la factibilidad del mismo es necesario realizar, si no también nos proporcionará todas las consideraciones que se deben tomar para su desarrollo y puesta en marcha.

En el siguiente capítulo se estudiará dicha teoría de evaluación de proyectos, así como se revisarán varias metodologías para la evaluación de proyectos similares y se propondrá cual metodología se habrá de seguir para evaluar un proyecto específico de producción de biogás con digestores para generación eléctrica.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

Capítulo

3.

Metodología de análisis

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

3. Metodología de análisis

Introducción.

Todo proyecto tiene como único propósito dar solución o resolver un problema o necesidad.

El propósito de un proyecto de inversión también busca resolver un problema o necesidad, pero además aprovechar una oportunidad cuyos efectos proporcionarían beneficios a un grupo de personas o a una comunidad.

Los proyectos nacen, se evalúan y eventualmente se realizan en la medida que respondan a una necesidad humana. Así, el proyecto se puede entender como el elemento básico de la implementación de políticas de desarrollo. Y forma parte de programas o planes más amplios, contribuyendo a un objetivo global de desarrollo. Es una forma de lograr los propósitos y objetivos generales (Santos, 2008).

Uno de los puntos clave en la identificación de un proyecto, es el reconocimiento del problema o necesidad u oportunidad, pues este es el punto de partida. Para poder plantear claramente el problema a dar solución, es necesario conocer las características específicas del mismo, sus causas y todos los aspectos o situaciones que lo afectan y lo rodean, pues todos estos factores son importantes al momento de plantear una solución a través de un proyecto.

Es de suma importancia concretar lo mejor posible la identificación del problema o necesidad u oportunidad, detallando las características más importantes y aspectos específicos, las causas que lo originan, las repercusiones del mismo así como las condiciones en las que se está presentando dicha situación.

Es necesaria la evaluación de una solución antes de comenzar a invertir recursos. El proceso de formulación y evaluación de un proyecto tiene como objetivo estructurar y dar una forma concreta a aquello que pensamos hacer para poder llevar a cabo dicha evaluación, para determinar si lo que se está proponiendo realizar es económicamente eficaz, eficiente y rentable, ambientalmente sustentable y si en conjunto será sostenible al pasar el tiempo.

Lograr que un proyecto sea sostenible en la actualidad es de suma importancia, ya que nos permitirá dar continuidad a la solución del problema sin tener que reinvertir posteriormente.

En la primera parte de este capítulo abordamos el tema de teoría de proyectos, definimos que es un proyecto y describimos las etapas que lo constituyen de manera general así como enunciamos los puntos más importantes para realizar el análisis y la evaluación del mismo, que se encuentran dentro del estudio de factibilidad y son el estudio de mercado, el estudio técnico y el económico financiero.

Y en la segunda parte describimos las metodologías que pueden ser aplicadas a nuestro proyecto y las analizamos para elegir a aquella metodología que se puede emplear para realizar el análisis y evaluación del proyecto para nuestro caso de estudio.

3.1 Análisis y evaluación de proyectos de inversión

3.1.1 ¿Qué es un proyecto?

“El proyecto es una serie de planteamientos encaminados a la producción de un bien o a la prestación de un servicio, con el empleo de una cierta metodología y con miras a obtener un determinado resultado, desarrollo económico o beneficio social” (Hernández, 2005).

Como plan de acción, el proyecto también supone la indicación de los medios necesarios para su realización y el ajuste de esos medios para obtener los resultados que se persiguen. El análisis que se lleva a cabo en la realización de un proyecto no sólo revisa el punto de vista económico sino también técnico, financiero, administrativo e institucional.

En general, la realización de un proyecto supone una inversión, es decir, una utilización de recursos.

El proyecto de inversión consiste en un conjunto de actividades interrelacionadas y coordinadas que piensan poner en marcha para hacer más eficaz una actividad y operación económica o financiera, cuyo fin es obtener en las mejores condiciones un bien o un servicio y obtener así alguna retribución.

Un proyecto surge, como ya se había mencionado, de la identificación de necesidades. Consta de un conjunto de antecedentes técnicos, legales, económicos (incluyendo mercado) y financieros que permiten juzgar cualitativa y cuantitativamente las ventajas y desventajas de asignar recursos a esa iniciativa. Su bondad depende, por tanto, de su eficiencia y efectividad en la satisfacción de estas necesidades, teniendo en cuenta el contexto social, económico, cultural, ambiental y político.

Este conjunto de problemas de tomas de decisión se transfiere a los proyectos a partir de los planteamientos de carácter más general y de tipo macroeconómico, propios de la implantación económica y social en sus niveles global y sectorial, en el ámbito nacional o regional y en el horizonte de tiempo a plazos largo, mediano y corto.

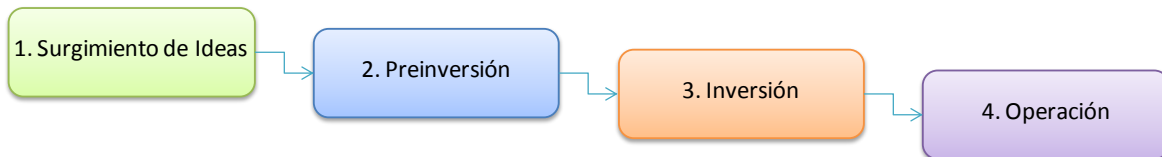
Podemos clasificar a los proyectos por:

- Categoría
- Ámbito geográfico
- Utilización

3.1.2 Etapas de un proyecto

Para efectos de esta tesis, identificaremos cuatro grandes etapas para llevar a cabo un proyecto (Ocampo, 2003), figura 3.1:

Figura 3.1 Etapas de un proyecto



Fuente: El autor a partir de Ocampo, 2003

• Surgimiento de Ideas

Es donde la organización busca de forma ordenada la identificación de problemas que puedan resolverse u oportunidades que puedan aprovecharse. Las diferentes formas de resolver un problema o de aprovechar una oportunidad de negocio constituirán la idea del proyecto. De aquí que se pueda afirmar que la idea de un proyecto, más que una ocurrencia afortunada de un inversionista, generalmente representa la realización de un diagnóstico que identifica distintas vías de solución.

• Preinversión

Es la que marca el inicio de la evaluación del proyecto. Ella está compuesta por tres niveles: perfil, prefactibilidad y factibilidad. Aquí es donde se realiza el estudio de

factibilidad o viabilidad del proyecto, el cual está integrado por varios estudios específicos como son: el estudio de mercado, el estudio técnico y la evaluación económica y financiera. El objetivo de esta etapa es evaluar la conveniencia de realizar el proyecto, y en su desarrollo tiene particular importancia el análisis de los costos y beneficios asociados al proyecto.

■ Perfil

El nivel perfil, es la que se elabora a partir de la información existente, del juicio común y de la experiencia.

En este nivel frecuentemente se seleccionan aquellas opciones de proyectos que se muestran más atractivas para la solución de un problema o en aprovechamiento de una oportunidad. Además, se van a definir las características específicas del producto o servicio.

■ Prefactibilidad

En el nivel prefactibilidad se profundiza la investigación y se basa principalmente en informaciones de fuentes secundarias para definir, con cierta aproximación, las variables principales referidas al mercado, a las técnicas de producción y al requerimiento financiero.

En términos generales, se estiman las inversiones probables, los costos de operación y los ingresos que demandará y generará el proyecto.

■ Factibilidad

El estudio más acabado es el que se realiza en el nivel de factibilidad y constituye la culminación de los estudios de perversión, que comprenden el conjunto de actividades relativas a la concepción, evaluación y aprobación de las inversiones, teniendo como objetivo central garantizar que la necesidad de acometer cada proyecto esté

plenamente justificada y que las soluciones técnico-económica sean las más ventajosas para el país.

Para llevar a cabo un estudio de Factibilidad proyecto de inversión se requiere, por lo menos, según la metodología y la práctica vigentes, de la realización de tres estudios: Estudio de Mercado, Estudio Técnico, Estudio Económico-Financiero.

Inversión

Una vez llevado a cabo el estudio de factibilidad, se puede decir que estamos en condiciones suficientes para poder analizar los resultados obtenidos y poder tomar una decisión acerca de realizar o no la inversión para llevar a cabo el proyecto.

El análisis y determinación del monto que se va a invertir en capital de trabajo de un proyecto crea, normalmente, más de un problema para quienes tienen que determinarlo, ya sea para calcular correctamente la rentabilidad del proyecto como para determinar el monto total de la inversión en función del cual deberá gestionarse la obtención de los recursos financieros que permitan llevarlo a cabo.

El monto para invertir en capital de trabajo es, quizás, uno de los puntos de la inversión más difíciles de calcular y, también, uno de los más determinantes en el éxito o fracaso en la operación futura del proyecto. En general, el cálculo de las otras inversiones es posible de realizar con respaldo de diversos estudios de orden técnico. A diferencia de ellas, la inversión en capital de trabajo es el resultado de un análisis fundamentalmente de carácter financiero.

La principal importancia del capital de trabajo reside en su función de construir aquella parte de la inversión que debe servir para financiar los desfases que normalmente se producirán entre la generación de los ingresos y la ocurrencia de los egresos que deben realizar anticipadamente a los cambios en los niveles de operación del proyecto.

✿ Operación

En esta etapa se llevan a cabo una gran cantidad de actividades; programación y organización de la obra; construcción de instalaciones provisionales; elaboración de planes para suministro de insumos y manejo de almacenes; programación del flujo de egresos e ingresos; labores de coordinación, supervisión, aseguramiento y control de la calidad; la ejecución misma de las obras e instalaciones y la procura de bienes y servicios que requiere el proyecto; así como otras acciones que son necesarias para materializar el proyecto.

Es la realización del proyecto como tal y su fin es alcanzar paulatinamente los resultados especificados en el documento de formulación y con ello el objetivo esperado. Paralelamente a la operación se lleva a cabo el seguimiento, que es el estudio y la valoración del proyecto que compara el trabajo realizado frente al planificado, y en el caso de que haya diferencias importantes aplica medidas correctivas, bien en el procedimiento de ejecución o bien en la formulación del proyecto.

La evaluación consiste en hacer una apreciación sobre un proyecto en curso o acabado. Se trata de determinar la pertinencia de los objetivos y su grado de realización, la eficiencia en cuanto al desarrollo, la eficacia, el impacto y la viabilidad. Una evaluación debe propiciar informaciones creíbles y útiles, que permitan mejorar de forma progresiva la gestión de los proyectos. Por eso se evalúa en todas las fases del ciclo del proyecto los mismos elementos clave, que permanecen constantes en el tiempo.

3.1.3 Evaluación de proyectos de inversión

Cuando estamos preparando un proyecto podemos hacerlo improvisadamente, pero al llevarlo a cabo así nos fijamos solo en un escenario para resolver dicho problema, que nos orienta a una decisión única que ya no necesitamos meditar, para llevar a cabo la formulación

de un proyecto se debe considerar la existencia de por lo menos dos alternativas a evaluar antes de tomar alguna decisión, de tal manera que se pueda elegir la mejor opción.

Por definición la evaluación de proyectos de inversión se ocupa de proporcionar elementos de juicio para que quien toma las decisiones, pueda jerarquizar y seleccionar, sobre una base racional, la mejor propuesta de inversión de entre todas las opciones posibles.

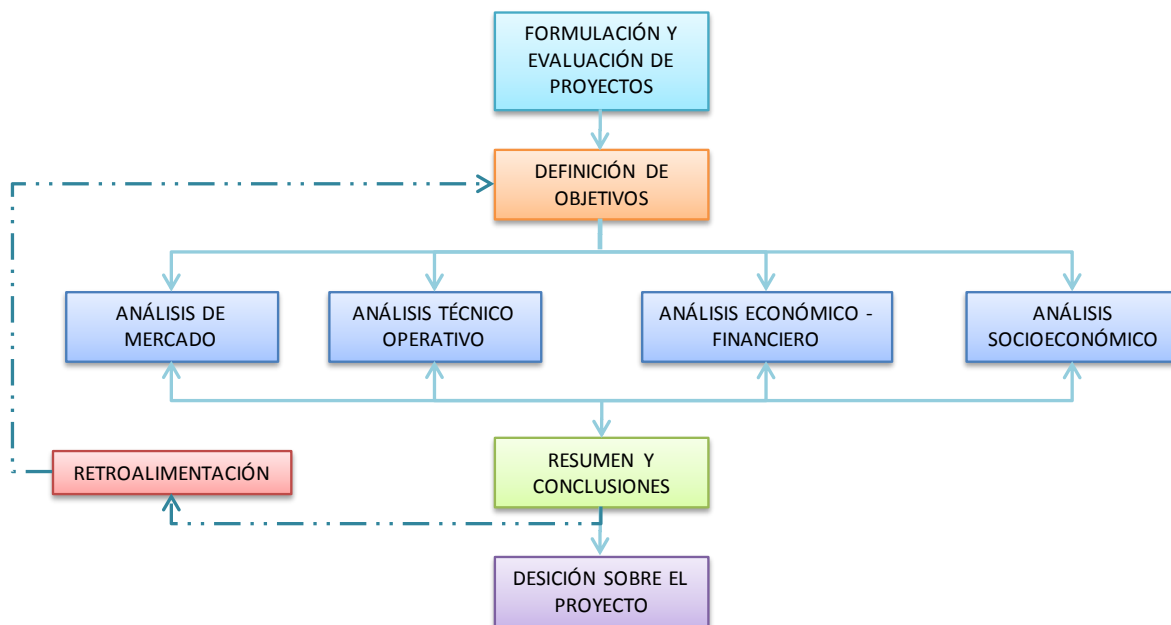
En otras palabras consiste en comparar, todas las ventajas o beneficios que proporciona una determinada propuesta de solución, contra todos los costos o desventajas que implica el aprovechamiento de los recursos que demanda esa propuesta.

En un estudio de evaluación de proyectos se distinguen tres niveles de profundidad. Al más simple se le llama “perfil o gran visión”, el cual se elabora a partir de la información existente, el juicio común y la opinión que da la experiencia.

El siguiente nivel se denomina “estudio de prefactibilidad o anteproyecto”; este estudio profundiza la investigación de mercado, detalla la tecnología que se empleará, determina los costos totales y la rentabilidad económica del proyecto, y es la base en que se apoyan los inversionistas para tomar una decisión.

El nivel más profundo y final es conocido como “proyecto definitivo”; contiene básicamente toda la información del anteproyecto, pero aquí son tratados los puntos finos. Aquí no sólo deben presentarse los canales de comercialización más adecuados para el producto, sino que deberá presentarse una lista de contratos de venta ya establecidos, presentar por escrito las cotizaciones de la inversión, planos arquitectónicos de la construcción, etcétera. Los pasos en la generación de un proyecto se dan en la Figura 3.2.

Figura 3.2 Estructura general de la evaluación de proyectos



Fuente: Baca, 2007

3.1.4 Estudio de factibilidad

El estudio de factibilidad de cierta manera es un proceso de aproximaciones sucesivas, donde se define el problema por resolver. Para ello se parte de supuestos, pronósticos y estimaciones, por lo que el grado de preparación de la información y su confiabilidad depende de la profundidad con que se realicen tanto los estudios técnicos, como los económicos, financieros y de mercado, y otros que se requieran. En cada etapa deben precisarse todos aquellos aspectos y variables que puedan mejorar el proyecto, o sea optimizarlo. Puede suceder que del resultado del trabajo pudiera aconsejarse una revisión del proyecto original, que se postergue su iniciación considerando el momento óptimo de inicio e incluso lo anterior no debe servir de excusa para no evaluar proyectos. Por el contrario, con la preparación y evaluación será posible la reducción de la incertidumbre que provocarían las variaciones de los factores.

✿ Estudio de mercado.

El estudio de mercado es más que el análisis de la oferta y demanda o de los precios del proyecto. Muchos costos de operación pueden pronosticarse simulando la situación futura y especificando las políticas y procedimientos que se utilizarán como estrategia comercial, mediante el conocimiento de los siguientes aspectos:

1. El consumidor y las demandas del mercado y del proyecto, actuales y proyectadas.
2. La competencia y las ofertas del mercado y del proyecto, actuales y proyectadas.
3. Comercialización del producto o servicio del proyecto.
4. Los proveedores y la disponibilidad y precios de los insumos, actuales y proyectados.

Uno de los factores más crítico de todo proyecto, es la estimación de la demanda, y conjuntamente con ella los ingresos de operación, como los costos e inversiones implícitos.

Por lo que las decisiones (en cuanto a precio, promoción, publicidad, distribución, calidad, entre otras) adoptadas aquí tendrán repercusión directa en la rentabilidad del proyecto por las consecuencias económicas que se manifiestan en sus ingresos y egresos.

Atendiendo al estudio de cada una de las variables que influyen en el mercado, es que su objetivo principal está dirigido a la recopilación de carácter económico que se representa en la composición del flujo de caja del proyecto.

✿ Estudio técnico.

El objetivo del estudio técnico consiste en analizar y proponer diferentes alternativas de proyecto para producir el bien que se desea, verificando la factibilidad técnica de cada una de las alternativas. A partir del mismo se determinarán los costos de inversión requeridos, y los costos de operación que intervienen en el flujo de caja que se realiza en el estudio económico-financiero. Este incluye: tamaño del proyecto, localización.

a) Tamaño del proyecto.

La capacidad de un proyecto puede referirse a la capacidad teórica de diseño, a su capacidad de producción normal o a su capacidad máxima. Para ello se tienen en cuenta los siguientes elementos.

1. Volumen de producción que bajo condiciones técnicas óptimas se alcanza a un costo unitario mínimo.
2. La capacidad de producción normal es la que bajo las condiciones de producción que se estimen regirán durante el mayor tiempo a lo largo del período considerado al costo unitario mínimo.
3. Capacidad máxima se refiere a la mayor producción que se puede obtener sometiendo los equipos al máximo esfuerzo, sin tener en cuenta los costos de producción.

Como concepto de tamaño de planta se adopta de las definiciones anteriores, la correspondiente a la capacidad de producción normal, la que se puede expresar para cada una de las líneas de equipos o procesos, o bien para la totalidad de la planta.

b) Localización.

Con el estudio de microlocalización se seleccionará la ubicación más conveniente para el proyecto, buscando la minimización de los costos y el mayor nivel de beneficios.

En la decisión de su ubicación se considerarán los aspectos siguientes:

1. Facilidades de infraestructura portuaria, aeroportuaria y terrestre, y de suministros de energía, combustible, agua, así como de servicios de alcantarillado, teléfono, etc.
2. Ubicación con una proximidad razonable de las materias primas, insumos y mercado.
3. Condiciones ambientales favorables y protección del medio ambiente.
4. Disponibilidad de fuerza de trabajo apropiada atendiendo a la estructura de especialidades técnicas que demanda la inversión y considerando las características de la que está asentada en el territorio.
5. Correcta preservación del medio ambiente y del tratamiento, traslado y disposición de los residuales sólidos, líquidos y gaseosos. Incluye el reciclaje.

c) Ingeniería del proyecto.

El estudio de factibilidad se basará en la documentación técnica del proyecto elaborado a nivel de Ingeniería Básica, equivalente al proyecto técnico.

El establecimiento de relaciones contractuales para los trabajos de proyectos, construcciones y suministros es un factor determinante para el logro de la eficiencia del proceso inversionista que se analiza. A partir de ello se podrá establecer una adecuada estrategia de contratación, precisando los posibles suministradores nacionales y extranjeros, así como la entidad constructora.

Esta etapa comprende:

Tecnología. *La solución tecnológica de un proyecto influye considerablemente sobre el costo de inversión, y en el empleo racional de las materias primas y materiales, consumos energéticos y la fuerza de trabajo. El estudio de factibilidad debe contar con un estimado del costo de la inversión.*

Equipos. *Las necesidades de maquinarias y equipos se deben determinar sobre la base de la capacidad de la planta y la tecnología seleccionada. La propuesta se detallará a partir de: valor del equipamiento principal, fuentes de adquisición, capacidad y vida útil estimada.*

Obras de Ingeniería civil. *Los factores que influyen sobre la dimensión y el costo de las obras físicas son el tamaño del proyecto, el proceso productivo y la localización. Se requiere una descripción resumida de las obras manteniendo un orden funcional, especificando las principales características de cada una y el correspondiente análisis de costo, así como el valor de las obras de Ingeniería civil (complejidad de la ejecución), depreciación y años de vida útil.*

Análisis de insumos. *Se deben describir las principales materias primas, materiales y otros insumos nacionales e importados necesarios para la fabricación de los productos, así como el*

cálculo de los consumos para cada año y la determinación de los costos anuales por este concepto, los que constituyen una parte principal de los costos de producción.

Servicios públicos. La evaluación pormenorizada de los servicios necesarios como electricidad, agua, vapor y aire comprimido, constituyen una parte importante en el estudio de los insumos.

Mano de obra. Una vez determinada la capacidad de producción de la planta y los procesos tecnológicos que se emplean, es necesario definir la plantilla de personal requerido para el proyecto y evaluar la oferta y demanda de mano de obra, especialmente de obreros básicos de la región, a partir de la experiencia disponible y atendiendo a las necesidades tecnológicas del proyecto. Mediante estos estudios se podrá determinar las necesidades de capacitación y adiestramiento a los diferentes niveles y etapas.

✿ Estudio económico - financiero.

El estudio económico-financiero de un proyecto, hecho de acuerdo con criterios que comparan flujos de beneficios y costos, permite determinar si conviene realizar un proyecto, o sea si es o no rentable y sí siendo conveniente es oportuno ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio. En presencia de varias alternativas de inversión, la evaluación es un medio útil para fijar un orden de prioridad entre ellas, seleccionando los proyectos más rentables y descartando los que no lo sean.

Para explicar en resumen la metodología a seguir para el estudio de económico – financiero se tiene presente un conjunto de etapas.

1. Definición de los Flujos de Fondos del Proyecto

La evaluación del proyecto se realiza sobre la base de la estimación del flujo de caja de los costos e ingresos generados por el proyecto durante su vida útil.

El flujo de caja típico de cualquier proyecto se compone de cinco elementos básicos: egresos e ingresos iniciales de fondos, ingresos y egresos de operación, horizonte de vida útil del proyecto, tasa de descuento e ingresos y egresos terminales del proyecto.

- los egresos e ingresos iniciales de fondos
 - los ingresos y egresos de operación
 - el horizonte de vida útil del proyecto
 - la tasa de descuento
 - los ingresos y egresos terminales del proyecto.
2. El resultado de la evaluación del proyecto de inversión en condiciones de certeza, se mide a través de distintos criterios que, más que optativos, son complementarios entre sí. Los criterios que se aplican:
- el Valor Actual Neto (VAN).
 - la Tasa Interna de Retorno (TIR).
 - el Período de recuperación de la inversión (PR).
 - la razón Beneficio / Costo (BC).
3. Análisis bajo condiciones de incertidumbre y/o riesgo del proyecto. A través del método de: Análisis de la sensibilidad,
- unidimensional (ASU)
 - multidimensional (ASM)

3.2 Descripción de la metodología a emplear

3.2.1 Selección de la metodología

Como ya se dijo, para poder desarrollar y evaluar cualquier tipo de proyecto se deben seguir una serie de pasos metodológicos que permitan implementar y operar el proyecto.

Las ventajas de emplear una metodología es que permite programar cada una de las actividades que se van a desarrollar en la realización de un proyecto. La metodología es una herramienta de análisis del contexto y ordenación de ideas.

No todas las metodologías que se siguen para el estudio de los mismos son iguales, difieren en algunos puntos y eso depende a la misma naturaleza del proyecto.

La selección de una metodología nos permite determinar las alternativas de solución y elegir la más conveniente tanto técnica como económicamente. Esta información es requerida para justificar la necesidad e inversión del proyecto, con el fin de lograr su implantación y atendiendo a los lineamientos de la ley de obra pública aplicables en el país. En el siguiente apartado se enuncia el proceso de selección de la metodología que se propone en el presente trabajo.

3.2.1.1 Revisión de metodologías

Para poder identificar las metodologías que son aplicables a nuestro caso de estudio se realizó una revisión de diversos artículos, tesis, documentos técnicos entre otros. De la investigación realizada se enuncian y describen las siguientes metodologías:

1. Metodología para la evaluación del potencial energético de los rellenos sanitarios (Arvizu, 2004).

Esta metodología se conforma de cuatro grandes etapas:

- 1) Información del relleno Sanitario o tiradero; edad, profundidad, extensión, clima, cantidad, tipo de basura, precipitación anual, etc.
- 2) Modelación o simulación de la producción de biogás; cálculo para la predicción de producción de biogás, energía y calor.
- 3) Validación en campo de las mediciones; estudio de campo para validación de cálculos.
- 4) Análisis económico financiero del potencial y rentabilidad del caso de estudio

2. Metodología para la evaluación del potencial de producción de biogás en Chile (universidad de Chile).

La metodología del proyecto implica seis etapas:

- 1) Investigación: orientada a realizar un estudio acabado acerca de la disponibilidad y estacionalidad de los residuos orgánicos a lo largo del país, basándose en la información proveniente del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, además de la validación en terreno de estos resultados.
- 2) Caracterización: física y química de los residuos seleccionados en la etapa anterior, destacando aquellas propiedades que resulten importantes para el proceso de obtención de biogás. Junto a esto, se iniciará un ensayo en laboratorio con reactores a escala en los que se evaluará la eficiencia de producción de biogás de cada residuo seleccionado.
- 3) Se ponderarán las propiedades más importantes para el proceso de degradación anaeróbica, generando así un Índice de Producción de Biogás que permitirá valorar los diversos residuos seleccionados, en función de su potencialidad para producir biogás.
- 4) Realizar un estudio de factores ambientales que condicionen el proceso de digestión anaeróbica, generando mallas de información climática en un mapa, lo cual permitirán la elaboración de isotermas y de zonas de disponibilidad hídrica logrando discriminar áreas con mayor aptitud para el establecimiento de digestores.
- 5) Elaboración de una evaluación de la viabilidad económica de la implementación de este tipo de tecnologías en diversas zonas del país, valorando a través de una evaluación económica privada de proyecto el costo de obtención de biogás por unidad energética de acuerdo al potencial productivo de la zona de estudio. Estos costos serán comparados con los costos que presentan otras alternativas energéticas.
- 6) Se reunirán los antecedentes obtenidos en las etapas anteriores, sumado a la distribución geográfica de la generación de residuos obtenida en la primera etapa del proyecto con el objetivo de realizar una zonificación de áreas con potencial de producción de biogás.

3. METODOLOGÍA para Aprovechamiento Para Material Orgánico Y Reciclable (GUERRA VELEZ, Medellín Colombia)

Esta metodología está comprendida básicamente por 9 etapas:

- 1) Separación: Capacitación de personal para separar en reciclable, orgánico y desechos. Por listados de materiales aprovechables y reportes de estadísticas de eficiencia de separación.
- 2) Adecuación de recipientes para transporte de orgánico sin usar bolsa y lavado diario en centro de reproducción.
- 3) Recolección: Horario de recolección diario en los puntos.
- 4) Recepción, pesaje, clasificación, almacenamiento y registro: Especialista del Centro de Reproducción.
- 5) Molido: Vaciado de material orgánico en tolva y depositado en tanque fermentador. Mezclado con agua caliente.
- 6) Fermentación: Controles periódicos de temperatura, acidez, humedad y niveles producidos de gas. Activación del compresor y filtros para almacenamiento del gas.
- 7) Alimentación de lombriz: Sacado por bombeo del material del tanque, filtrado y el líquido vuelve al tanque, o se empaqueta en tarros reciclados para comercializarse como fertilizante líquido y el sólido a las cajas inferiores de la lombriz.
- 8) Cosecha de humus y lombriz: se cosecha el humus de las capas superiores que la lombriz ha abandonado por falta de humedad y exposición a la luz y al calor, se empaqueta en cajas de cartón recicladas listo para ser comercializado. Aprovechamiento del humus para fabricación de semilleros, germinación de plántulas y cultivo de champiñón. Los semilleros se fabrican en canastas de huevos, presionando el humus se deja secar para que obtenga la forma; en el espacio de la terraza se colocan las camas de germinación las cuales deben llevar un sistema de riego por aspersión, goteo e inicialmente manual

- 9) El biogás alimenta un generador eléctrico de gasolina convertido para trabajar con gas. Este se conecta a la electricidad del centro de reproducción y locales contiguos

4. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE PROYECTOS DE COGENERACIÓN EN PETRÓLEOS MEXICANOS (Marttelo, 2008).

La metodología comprende nueve grandes actividades de las cuales se pueden dividir en tres grandes bloques:

A. Análisis de viabilidad técnica-operativa.

- 1) Recopilación de información

La información particular de las características energéticas del sitio, en donde se planea instalar el sistema de cogeneración, incluye los consumos y demandas de vapor, agua caliente, energía eléctrica; los combustibles usados en la planta, los equipos existentes (calderas, turbinas, etc.). Es también necesario contar con la información de los precios y costos de los combustibles y de la electricidad. Para completar el estudio se requiere también la información de las horas de operación de la planta, conocer los planes de crecimiento, tener claros los criterios aplicados de rentabilidad y las oportunidades de financiamiento.

- 2) Procesamiento de la información obtenida

La información recabada por medio de entrevistas o de los informes de una auditoría energética previa, se debe procesar con objeto de determinar sus necesidades energéticas y cuáles son sus principales puntos de consumo, la cantidad y la forma en que se utiliza cada tipo de energético.

Este trabajo es relativamente simple, aunque laborioso, y se logra a partir de los datos de diseño e instalación de los equipos, con las mediciones de consumo energético en los principales de ellos y con la información de consumos de energía a nivel facturación.

Cuando se tenga la medición confiable de los principales equipos consumidores de energía en la planta, es conveniente compararlos contra los consumos facturados para comprobarlos y así tener mejores criterios de decisión y en su caso poder proponer sistemas de cogeneración más adecuados a la operación de la planta.

3) Selección y análisis del sistema de cogeneración

Los factores más importantes que afectarán la selección del ciclo de cogeneración para su evaluación preliminar son:

- La relación calor/electricidad (Q/E), ya que existen diferentes tecnologías y que cada una es adecuada para una relación dada.
- La calidad del calor requerido, por ejemplo la temperatura y presión con que se debe de suministrar el vapor.
- Los costos de los equipos que dependen de la tecnología seleccionada.
- El tipo de combustible a utilizar por su costo y su disponibilidad.
- El tamaño del sistema ya que algunas tecnologías se vuelven competitivas solamente en capacidades mayores de un MW.

4) Evaluación del sistema de cogeneración seleccionado

Como los sistemas de cogeneración no operarán a carga constante durante todo el tiempo, sino que ésta carga deberán modularla para adaptarse a las necesidades de la empresa, y como los esquemas presentan variaciones en sus parámetros de calor/electricidad (Q/E) e Índice de aprovechamiento energético (ICN), dependiendo de la carga, es importante evaluar la potencia que pueden entregar, así como el incremento en consumo de combustible bajo la operación a diferentes cargas, considerando la duración que presente la operación a cada carga.

B. Análisis de factibilidad económica financiera.

Evaluación económica

La decisión final en cuanto a instalar un sistema de cogeneración recae sobre el análisis económico. Los pasos básicos para llevarlo a cabo normalmente son los siguientes:

- Definición de los principales parámetros económicos.
- Cálculo del período de retorno simple.
- Análisis de rentabilidad de la inversión.

5) Elaboración del informe del estudio

La información, estudios, análisis y todo lo elaborado anteriormente se necesita plasmar en un informe que lo constituye en su primera fase prácticamente los análisis de previabilidad técnica y económica, llamado resumen ejecutivo; el informe final lo conforman más detalladamente una descripción de la planta y procesos, información estadística y los análisis de previabilidad ya mencionados.

C. Implementación del proyecto.

6) Implementación

En esta actividad se llevan a cabo todas las gestiones necesarias para poder realizar la ejecución de la planta, como lo son los permisos y registros, además de estudios de factibilidad y viabilidad esenciales para dicho fin.

7) Instalación y Construcción

Se conforma principalmente de autorizaciones, permisos y manifestaciones sobre el avance de la construcción. Las autorizaciones van enfocadas para lo que es el inicio de la construcción y el uso de equipos, tecnologías o procedimientos en cuestión de seguridad, higiene y medio ambiente de trabajo. Los permisos básicamente son para la importación de equipo necesario

para la construcción; y finalmente las manifestaciones, primeramente del responsable de seguridad y operación conforme al marco regulatorio y la última al término de la obra.

8) Operación

La autorización para la operación es lo primordial, teniendo la planta la responsabilidad de la operación y mantenimiento de ésta. Ya en operación es necesario hacer reportes anuales de los parámetros ecológicos y ambientales así como de la información referente a la planta industrial con la planta de cogeneración operando, éste último para fines estadísticos.

5. Metodología para la Utilización de digestores para la reducción de gases de efecto invernadero (Martínez, 2008).

1. Recopilación de información:

Panorama mundial de la porcicultura, características del estiércol de cerdo y sus emisiones al aire, suelo y agua, gestión y procesamiento del estiércol.

2. Descripción del proyecto:

Descripción del potencial de biogás, generación eléctrica así como de los motores a emplear.

3. Evaluación técnica-económica

Selección de tecnología a usar (tipo de digestor), elecciones para el destino del biogás, selección del motor para generación eléctrica, determinación de los residuos del digestor. Estimación de costos del proyecto con la tecnología seleccionada.

Consideraciones para la venta de energía eléctrica y bioabono. Metodologías aplicables para la cuantificación de reducción de emisiones con el proyecto y aspectos a considerar para la compra venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CERs).

4. Análisis financiero:

Valor presente neto, índice beneficio-costos y tasa de descuento.

5. Procesamiento de la información:

Análisis de diferentes alternativas de proyectos a implementar, así como diversos escenarios de financiamiento para el proyecto.

3.2.1.2 Selección de la metodología

En el apartado anterior se describieron cuatro metodologías probadas para la realización de proyectos, las tres primeras enfocadas al aprovechamiento de residuos y utilización de su potencial energético y finalmente una metodología para proyectos de cogeneración. La primera metodología y la cuarta son mexicanas, las dos restantes son de otros países latinoamericanos.

A partir del alcance de cada una de ellas y del análisis que estas realizan se tomó la decisión de utilizar tres de las metodologías para usar en este proyecto.

Se realizó una fusión entre tres de las antes descritas; la primera es la metodología para la evaluación del potencial energético de los rellenos sanitarios (Arvizu, 2004); la segunda fue la metodología para la evaluación del potencial de producción de biogás en Chile (Universidad de Chile) y la como tercera opción la propuesta de metodología para análisis de proyectos de cogeneración en petróleos mexicanos (Marttelo, 2008).

Las tres metodologías enunciadas anteriormente fueron seleccionadas por: referirse a la evaluación del potencial energético de diversos tipos de biomasa y por la estructura sencilla y fácil de aplicar a un proyecto en general.

3.2.2 Descripción de la metodología

La metodología que se seguirá es la propuesta por Marttelo, que aunque está no fue descrita para un proyecto de generación con biogás tiene un esquema sencillo y general que puede aplicarse a cualquier proyecto. Dicha metodología se describe a continuación:

✿ Descripción del proyecto

Características generales del municipio "San Martín de la pirámides"

Descripción y análisis de la situación actual del uso de los recursos, disposición de los desechos e impacto ambiental.

Identificación del problema; Situación Actual, antecedentes, características particulares (social, político, etc.), propuesta de diversas soluciones, etc.

✿ Recopilación de Información

Información sobre el sistema de recolección de residuos y del relleno Sanitario o tiradero del municipio; edad, profundidad, extensión, clima, cantidad y tipo de basura, precipitación anual, etc. Así como del consumo eléctrico del municipio.

✿ Procesamiento de la información requerida

Caracterización física y química de los residuos, destacando las propiedades que resulten importantes para el proceso de obtención de biogás, con un ensayo en laboratorio con reactores a escala en los que se evaluará la eficiencia de producción de biogás de diversas muestras de RSU.

Estimación de generación de biogás con los RSU, análisis y determinación del aprovechamiento del biogás y subproductos, determinación potencial del biogás, determinación potencial de generación de energía eléctrica, determinación potencial de generación de energía térmica, disposición del abono orgánico

✿ **Evaluación Técnica**

Dimensionamiento del digester, localización y descripción específica del sitio del proyecto, infraestructura y equipo actual (disponibles para el proyecto), descripción técnica del proyecto, componentes del proyecto (infraestructura, equipos y otros).

Procesos y tecnologías a emplear, capacidad de procesos y programas de producción y mantenimiento, escenarios con diferentes volúmenes de proceso.

Cumplimiento de Normas Sanitarias, Ambientales y otras.

✿ **Evaluación económica-financiera**

Presupuestos y programa de inversiones y fuentes de financiamiento, proyección financiera Anual, costos, flujo de efectivo mensual y determinación de capital de trabajo, pago de créditos y otros compromisos (capital e interés en su caso), Capacidad de pago, Punto de equilibrio.

Situación financiera actual y proyectada, análisis de rentabilidad (a precios y valores constantes), relación Utilidad/Costo, TIR, VAN, Análisis de sensibilidad, Periodo de recuperación del capital.

✿ **Plan de negocios**

Resumen ejecutivo de:

La información, estudios, análisis y todo lo elaborado anteriormente se necesita plasmar en un informe que lo constituye en su primera fase prácticamente los análisis de factibilidad técnica y económica.

✿ **Implementación**

Se conforma de las autorizaciones, permisos y manifestaciones sobre el avance de la construcción.

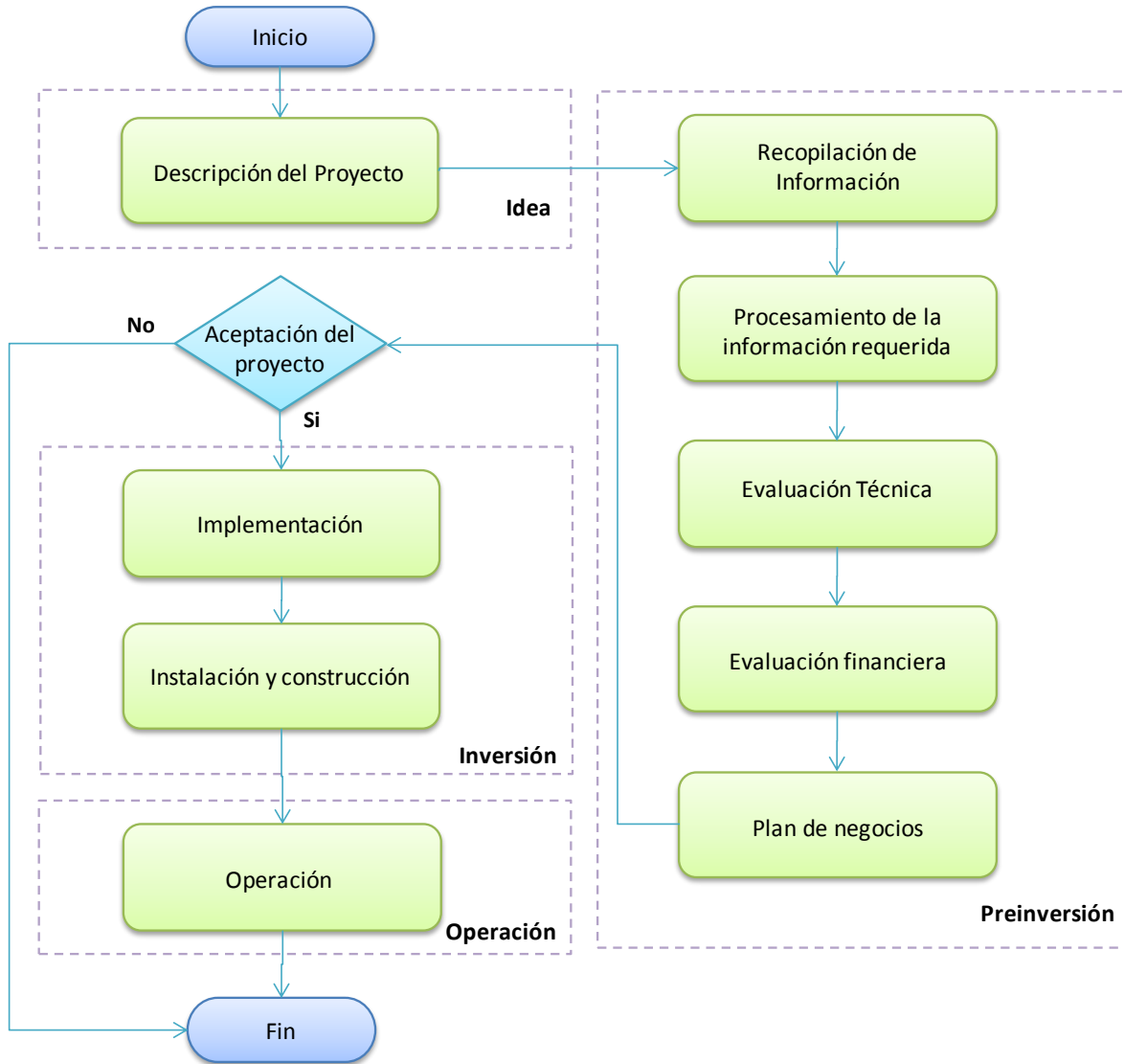
✿ **Instalación y construcción**

Puesta en marcha del proyecto, obra civil.

✿ **Operación**

Realización de reportes anuales de los parámetros ecológicos y ambientales así como de la información referente al proyecto.

Figura 3.3 Diagrama de flujo de Metodología a aplicar



Fuente: Adaptado de Marttelo, 2008

Conclusiones.

Los proyectos de inversión surgen de necesidades individuales y colectivas que tienen que satisfacer las personas. Para asignar bien los recursos de un proyecto de inversión hay que tener en cuenta la realidad cultural, social y política en la que se requiere realizar el proyecto. Es importante también determinar el impacto que tenga una inversión sobre el bienestar de la comunidad local.

Para evaluar un proyecto es necesario analizar las acciones propuestas en él a través de un conjunto de criterios. Dicho análisis verifica la viabilidad de las acciones y compara los resultados del proyecto, sus productos y sus efectos, con los recursos necesarios para alcanzarlos.

Cada una de las acciones que se llevan a cabo para la evaluación de dicho proyecto están estructuradas en un plan o metodología a seguir, en esta metodología se muestran claramente los pasos a seguir para llevar a cabo dicho análisis. Existen muchas metodologías posibles de seguir, pero solo una se adapta exactamente a las características y necesidades de nuestro proyecto.

Establecer desde el inicio de nuestra evaluación la metodología a seguir nos ahorra tiempo y esfuerzo, pues nos indica un camino razonable que podemos seguir sin perder de vista nuestros objetivos iniciales.

Como pudimos percibir el estudio de factibilidad, compuesto por su parte técnica y económica-financiera, es uno de los apartados más importantes de nuestra metodología, ya que este estudio os permite saber si se está preparada técnica y financieramente para poder realizar nuestro proyecto.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

Capítulo

4.

Estudio de factibilidad: evaluación técnica
(Caso de estudio)

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

4. Estudio de factibilidad: evaluación técnica (caso de estudio)

Introducción.

El incremento en la generación de basura es uno de los problemas que sufren la mayoría de las ciudades del mundo, consecuencia del crecimiento demográfico, el desarrollo tecnológico y la expansión de los centros urbanos. Su confinamiento y disposición final en México es un punto crítico y muy pocas ciudades han logrado un confinamiento adecuado de los recursos.

En nuestro país, existen unidades productivas, que generan gran cantidad de residuos, los cuales hasta hace relativamente poco tiempo, se habían considerado solo como un problema de salud pública y contaminación ambiental.

Con el desarrollo tecnológico en los sistemas de tratamiento de residuos, en particular el aprovechamiento de biogás, se abre la oportunidad para que los residuos sean utilizados en la producción de energía eléctrica y calórica. Los RSU y algunos RME presentan un gran potencial de generación de biogás, con la cualidad de que la energía generada es amigable con el medio ambiente.

En la actualidad el desarrollo de proyectos sustentables ha crecido, no tanto por la conciencia ecológica, como por los beneficios económicos que estos representan. Las actividades sustentables permiten la integración de las actividades humanas con los sistemas físicos, químicos y biológicos del planeta y estas prácticas son comunes en muchas regiones de Europa, Asia y América logrando resultados positivos y amigables con el medio ambiente además de favorecer a municipios e industrias en el aspecto económico y regulatorio, pues los proyectos de implementación permiten cumplir con la normatividad ambiental e higiene en manejo y disposición de residuos, además de que la sociedad se ve favorecida por las mejoras ambientales y en muchos casos, siendo beneficiada económicamente a través de algunos servicios y productos generados por los proyectos. (Teorema Ambiental, No. 73)

El propósito de un proyecto de inversión no solo busca resolver un problema o necesidad, además también busca poder aprovechar una oportunidad cuyos efectos proporcionarían

beneficios a un grupo de personas o a una comunidad, en este caso se busca resolver el problema del confinamiento y disposición final de los RSU y RME de un municipio en el Edo. De México y con ello poder obtener beneficios económicos y sociales para la comunidad.

En este capítulo desarrollaremos el estudio de factibilidad de un proyecto para el tratamiento, confinamiento y recuperación energética de los residuos generados en el municipio San Martín de las Pirámides en el Edo. De México usando como base para el estudio y análisis de dicho proyecto la metodología descrita en el capítulo anterior.

En la primera parte abordaremos la descripción del proyecto de aprovechamiento de residuos para generación eléctrica, se formulara el problema, se describirá la justificación del proyecto, así como se realizará un diagnóstico de la situación actual para establecer los objetivos y metas.

En la segunda parte se realizará la recopilación de información técnica requerida para dicho análisis, como los datos energéticos del municipio y describirá de forma general la instalación necesaria. Se describirán los factores que definen la viabilidad del proyecto, como son; las características del biogás, la determinación del potencial del mismo para generación eléctrica, costo de inversión, protección ambiental y situación geográfica.

En la tercera parte se llevará a cabo el procesamiento de la información obtenida, se realizará la evaluación técnica, económica y financiera del proyecto que nos servirá para analizar las posibilidades del proyecto para poder realizarse.

4.1 Aprovechamiento de residuos para la generación eléctrica

4.1.1 Descripción del proyecto

En los últimos años la valorización energética de los residuos ha tomado mayor importancia, no solo por dar solución a uno de los problemas que afecta a la población del mundo entero, también lo es por los beneficios económicos que se obtienen.

La utilización de la digestión anaeróbica para el tratamiento de la fracción orgánica de los RSU se ha convertido en una de las opciones más viables para el aprovechamiento energético, pues optimiza la generación de biogás, puede tratar al mismo tiempo agua residual y el material orgánico digerido se puede utilizar como abono, ya que contiene las mismas propiedades que el compost producido aerobiamente.

4.1.1.1 Características generales del Municipio de San Martín de las Pirámides

San Martín de las Pirámides se localiza al noreste del Estado de México (ver figura 4.1), entre las coordenadas latitud $19^{\circ} 37' 05''$ mínima y $19^{\circ} 46' 20''$ máxima; longitud $98^{\circ} 45' 40''$ mínima y $98^{\circ} 53' 27''$ máxima y se ubica a una altura de 2,300 msnm¹⁸ a una distancia de 40 kilómetros al Distrito Federal. Su extensión territorial abarca una superficie de 70 kilómetros.

El clima preponderante se clasifica templado semiseco. La temporada de lluvias es en verano entre junio a octubre, la temperatura media anual es de 16 a 17 grados centígrados con media máxima de 30 grados y en los meses de marzo a mayo una media mínima de 10 grados en los meses de enero a febrero, presentando heladas de octubre a marzo.

La flora de la región es típica del clima semiseco abundando el pirúl, maguey y nopal.

Cuenta con una población total de 21,511 habitantes según conteo de vivienda 2005 (www.inegi.org.mx) y presenta una tasa de crecimiento del 2000 al 2005 del 1.56%.

¹⁸ msnm: metros sobre el nivel del mar.

Figura 4.1.- Localización de San Martín de las Pirámides



Fuente: www.inafed.gob.mx

4.1.1.2 Formulación del problema

San Martín de las Pirámides, como en muchos otros municipios del país, cuenta con un deficiente servicio de limpia, esto debido a las carencias de infraestructura, personal capacitado y presupuesto existentes, pero cuenta con un sitio propio de disposición final.

El principal problema en este municipio no es el deficiente servicio de limpia, sino que el sitio en el cual el municipio dispone sus residuos se encuentra cercano al fin de su vida útil.

Contar con un sitio de disposición para los residuos generados, que día con día está en aumento, ya no es solo una necesidad de salud, también lo es económica, política y social.

Las leyes se han modificado, de tal forma que ya no es tan fácil tomar la decisión para elegir el lugar adecuado para la construcción de un “relleno sanitario”, se debe asegurar el cumplimiento de las normas vigentes, así como la salud, el cuidado del medio ambiente y la seguridad de la población aledaña.

Además el servicio de limpia ha sido por muchos años una obligación de la administración municipal hacia los habitantes del mismo y con el paso de los años esta obligación se vuelve una carga más pesada y el problema que implica el desobligarse de él es complicado.

Pero aun cumpliendo toda la serie de implicaciones que limitan a la administración para construir un nuevo sitio de disposición final no soluciona el problema central, que es; la eliminación de los residuos que genera el municipio.

4.1.1.3 Antecedentes del problema

El cambio climático y el poco desarrollo agrícola en muchos municipios del país provocaron que el sistema de siembra, principalmente el temporalero, fuera afectado. Cada año se perdían más tierras de cultivo y la ganadería fue en decremento, provocando que dichas actividades dejaran de ser rentables. Algunos lotearon sus tierras y migraron en busca de empleo y otros se integraron al sector industrial. Todos estos cambios y la introducción de nuevos productos y servicios indujeron a que los hábitos de consumo de los habitantes del municipio se modificaran.

El municipio de San Martín de las Pirámides no fue la excepción, y los residuos que genera dejaron de ser principalmente orgánicos, de tal forma que la falta de planeación y el crecimiento de la población provocaron un aumento en la generación y tipo de residuos, así como un problema para su manejo adecuado.

La prestación del servicio eficiente por parte de las autoridades del municipio es afectado por falta de recursos económicos y humanos, ya que el municipio creció en número de habitantes y tamaño, la unidades de recolección no son suficientes y la falta de educación e interés de la población no son de gran ayuda.

El manejo de residuos sólidos urbanos en San Martín de las Pirámides comienza con la recolección de los residuos en los hogares, comercios e industrias, estos son recogidos por un camión recolector y son llevados al relleno sanitario ubicado a las afueras del municipio

Como ya se mencionó, el municipio de San Martín de las Pirámides cuenta actualmente con un sitio de disposición final, que cubre las necesidades actuales del municipio, pero no cumple totalmente con la normatividad actual y no podrá cubrir en un futuro cercano las demandas de generación de residuos del municipio.

La LGPGIR en su artículo 10 señala que; los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de los RSU, que consiste en la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final. Esto implica que la cantidad de recursos materiales y humanos que deberán ser empleados para el manejo de sus residuos será mayor, de tal manera que para el municipio los gastos para cubrir este servicio son casi insostenibles.

4.1.1.4 Justificación del proyecto

La necesidad del municipio de contar con un nuevo sitio de disposición final es una decisión que poco debe pensarse, sobre todo por las consecuencias sanitarias que esto representaría, pero la justificación real por la cual se debe llevar a cabo dicho proyecto es que al implementar un nuevo sistema de manejo en la que incluya como pretratamiento térmico la instalación de un digester permite que dicho sistema de manejo deje de representar un gasto para la administración y por el contrario este pueda proporcionar beneficios sociales, ambientales y económicos.

La implantación de un digester como pretratamiento presenta una opción viable para los municipios por su aprovechamiento energético, utilización de subproductos que permiten reintegrar nutrientes a las áreas de cultivo, tratamiento conjunto de aguas residuales y, además, representa ahorros al municipio y permite el cumplimiento de normas y leyes.

El desarrollo de este proyecto permitirá generar diversos beneficios para el municipio, dentro de los que destaca por un lado la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de biogás, ya que dicha generación suprimirá el pago por servicio de suministro eléctrico. Por otro lado, los sistemas de biogás atienden la problemática de impacto ambiental al disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, vectores

transmisores de enfermedades y diseminación de malos olores, así como la generación de empleos formales, temporales y definitivos.

4.1.2 Análisis y diagnóstico de la situación actual y previsiones sin el proyecto

Como en muchos municipios del país, el crecimiento poblacional ha sido tan acelerado que no existe planeación alguna para el crecimiento del municipio, ni para satisfacer los servicios públicos necesarios al total de la población.

El municipio de San Martín de las Pirámides cuenta con un servicio deficiente en lo que respecta al recolección de los RSU, primero por la poca cobertura de las rutas de recolección, pues solo cuentan con tres camiones para dicha labor, y en segunda por la poca cultura de la sociedad respecto al tema de los residuos, ya que prefieren quemar su basura o ir a tirarla a barrancas que a los contenedores dispuestos por el municipio para tal fin.

Actualmente el municipio recolecta poco más de 30 toneladas de RSU a la semana, que para el número de habitantes del municipio y su generación diaria per cápita representa aproximadamente el 0.003% de la generación total nacional de residuos.

Y si bien el municipio cuenta con un sitio de disposición final, este se encuentra cercano a su etapa de clausura, de tal forma que de no considerar un proyecto que cubra con las necesidades a mediano plazo San Martín de las Pirámides podría encontrarse en la problemática que han padecido otros municipios, como Cuernavaca por citar un ejemplo.

El relleno sanitario presenta un riesgo a la salud de las colonias aledañas pues presenta vectores y foco de infección, riesgo físico por las constantes explosiones que se presentan en el lugar debido a la fuga de gases que produce el relleno, además de contaminación al agua, suelo y aire debido a la fuga de lixiviados, generación de gases de efecto invernadero (GEI) y malos olores.

4.1.3 Objetivos y Metas.

Este estudio tiene como objetivo determinar la factibilidad técnica y económica de un proyecto para construir un nuevo sitio de disposición final con tratamiento previo, cuyo pretratamiento térmico propuesto será la implementación de un reactor anaerobio (digestor), previa separación de residuos orgánicos e inorgánicos, que no solo de solución al problema de la disposición final de los residuos generados en el municipio, también la de minimizar la cantidad de residuos que son confinados en el nuevo sitio de disposición final por medio de la implementación de un reactor anaerobio.

Así como diseñar, construir y operar un sistema anaerobio para el tratamiento de desechos líquidos y sólidos del Municipio de San Martín de las Pirámides generando energía térmica, eléctrica y reúso de agua

4.2 Recopilación de la información

4.2.1 Información técnica requerida para el análisis

La información necesaria del municipio para poder realizar el análisis del proyecto son:

- Generación de residuos

El municipio de San Martín de la Pirámides genera aproximadamente 4.3 toneladas al día de residuos municipales.

- Consumo eléctrico y térmico si es el caso.

El municipio cuenta con servicio eléctrico suministrado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y actualmente no tienes requerimientos de energía térmica.

4.2.1.1 Datos energéticos básicos del municipio

I. Consumo de energía eléctrica

El consumo eléctrico del municipio es en promedio de 16,500 kW/h al mes y básicamente es utilizado para alumbrado público (75% del consumo total).

II. Consumo de energía térmica

El Municipio no consume energía térmica.

4.2.1.2 Descripción general de la instalación

De manera gráfica se describen a continuación las actividades necesarias para la construcción de un digester e instalaciones auxiliares, para aprovechamiento de biogás producido por los RSU y RME.

- a. Se construye la laguna que será la recepción de los residuos (sustrato), el tamaño de la misma depende de la cantidad de residuos que recibirá y el potencial de generación de generación de residuos (ver figura 4.2).
- b. Se coloca la geomembrana que cubrirá el fondo de la laguna, esto con el fin de evitar la filtración del sustrato al subsuelo y contaminar así mantos acuíferos cercanos (ver figura 4.3).

Figura 4.2 Fase de excavación



Fuente: SAGARPA, FIRCO, UACM, Claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.

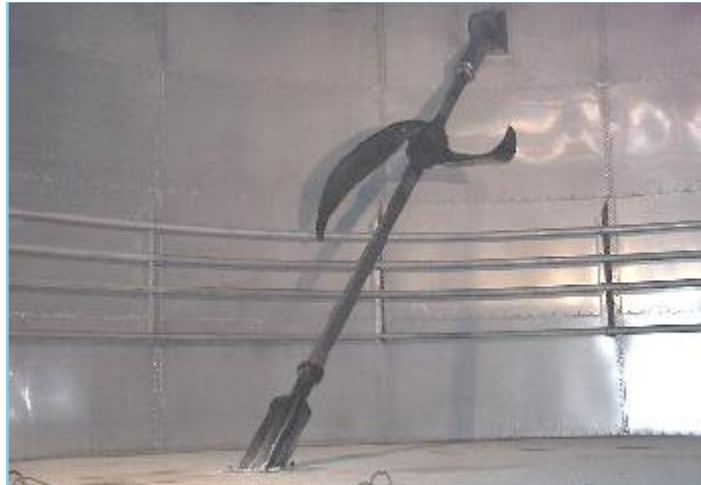
Figura 4.3 Colocación de la geomembrana



Fuente: SAGARPA, FIRCO, UACM, Claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.

- c. *Instalación de las tuberías necesarias para la succión de lodos residuales y agitación del sustrato, así como del equipo necesario para triturar y mezclar el sustrato (figura 4.4).*

Figura 4.4 Mezclador para digestor



Fuente: AgCert, 2004.

- d. *Los residuos se trituran y son mezclados con agua, con el propósito de que cuando se incorporen al digestor se facilite la degradación anaeróbica.*
- e. *Se inicia el proceso de llenado de la laguna con la mezcla (ver figura 4.5), entre más triturados se encuentren los residuos la mezcla será más homogénea y permitirá optimizar la generación de biogás.*

Figura 4.5 Llenado de laguna



Fuente: AgCert, 2004

- f. Se instala una tubería alrededor de la laguna (figura 4.6), cuya función es la captación del biogás que se generará en cuanto se cubra la laguna (figura 4.7).

Figura 4.6 Laguna completamente llena



Fuente: SAGARPA, FIRCO, UACM, Claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.

Figura 4.7 burbujas de gas metano a las 18 horas de haber llenado el digestor



Fuente: AgCert, 2004.

- g. Después de haber llenado la laguna con las excretas tratadas, se cubre su superficie con una capa de geomembrana de polietileno (figura 4.8).

Figura 5.8 Cubierta de laguna con geomembrana de polietileno



Fuente: AgCert, 2004

- h. Cuando el digestor ha sido cubierto y sellado perfectamente se inicia el proceso de producción de biogás (ver figura 4.9), lo cual se podrá observar en el momento que la geomembrana que cubre la laguna aumente de volumen.

Figura 5.9 Formación del biogás



Fuente: SAGARPA, FIRCO, UACM, Claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.

- i. Con objeto de conocer los niveles de producción de biogás se coloca un medidor para cuantificar su captación.

Figura 4.10 Equipo para medir producción de biogás



Fuente: SAGARPA, FIRCO, UACM, Claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.

- j. Se instala la línea de conducción de biogás para alimentar el motogenerador (figura 4.11).
- k. Se instala la tubería para el filtrado de biogás.
- l. Se procede a la instalación del equipo motogenerador (ver figura 4.12).

Figura 4.11 Instalación del equipo motogenerador



Fuente: SAGARPA, FIRCO, UACM, Claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.

Figura 4.12.- motogenerador



Fuente: SAGARPA, FIRCO, UACM, Claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.

- m. Se inicia la producción de energía eléctrica aprovechando el biogás.

4.2.2 Factores que definen la viabilidad del proyecto

Los factores que intervienen para poder determinar la viabilidad del proyecto son la aceptación de la comunidad aledaña a la zona donde se piense construir el digestor, se cuenten con los permisos para la construcción del proyecto y el municipio tenga un espacio suficiente para el nuevo sitio de disposición final y la instalación del digestor, así como el estudio de suelo que corrobore que los terrenos cumplen con las normas existentes para dicho fin.

Cabe mencionar que se tiene contemplada la separación de los residuos para emplear solo la fracción orgánica de los mismos para la generación de biogás, dicha separación será realizada por una empresa de reciclaje particular, quienes realizarán un convenio con el municipio para aprovechar la fracción reciclable de los residuos.

4.2.2.1 Características del biogás

El biogás obtenido de la fracción orgánica de los RSU debe semejar las siguientes características

- CH₄ entre un 50 y un 70%
- CO₂ entre un 30 y un 40%
- N₂ entre 1-2 %
- H₂ menor del 0,5%
- H₂S entre 200 y 2.000 ppm.
- Vapor de agua 0,045 kg/m³N (saturado)

4.2.2.2 Determinación del potencial de generación eléctrica del biogás

La base del cálculo será tomada de la recolección de RSU del Municipio que es de 30 ton/semana, que da como resultado ≈ 4.28 ton/día cuya fracción orgánica es del 55% que da como resultado:

$$4.28 \left[\frac{\text{ton}}{\text{día}} \right] \times 0.55 = 2.35 \left[\frac{\text{ton}}{\text{día}} \right]$$

Se utilizará un co-sustrato que correspondiente al 30% de la fracción anterior

$$2.35 \left[\frac{\text{ton}}{\text{día}} \right] \times 0.3 = 0.7 \left[\frac{\text{ton}}{\text{día}} \right]$$

Cuya densidad es de los residuos municipales es: $297 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ pero como el correspondiente a la fracción orgánica es del 55% la densidad de los residuos orgánicos es

$$297 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \div 0.55 = 540 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Por lo cual nuestra producción de biogás la podremos determinar a partir de la siguiente expresión:

$$PBG = \left(M \times \rho \times DM \times \frac{OM}{DM} \times OM \times 1000 \right) + \left(Cs \times \rho \times DM \times \frac{OM}{DM} \times OM \times 1000 \right)$$

La producción de biogás es:

$$\begin{aligned} & \left[\left(580.22 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right] \right) \left(540 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \right) (.75)(.55) \left(\frac{1}{0.83} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \right) \right] \\ & + \left[\left(0.644 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right] \right) \left(600 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \right) (0.7)(0.4) \left(\frac{1}{0.8} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \right) \right] \\ & = 1,295.68 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right] \end{aligned}$$

Y de acuerdo a la producción de biogás, el potencial de generación de electricidad podrá ser calculado a partir de la siguiente expresión:

$$CHP = \frac{Y \times Qb}{CO \times EE}$$

De la expresión anterior los valores corresponden a:

Y = Producción de biogás $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

Qb = Valor calorífico del biogás $\left[\frac{MJ}{m^3}\right] = 21.5 \left[\frac{MJ}{m^3}\right]$ (www.textoscientificos.com/energia/biogas).

CO = # de horas de operación del equipo.

EE = Eficiencia eléctrica.

$$CHP = \frac{(1,295.68 \left[\frac{m^3}{día}\right]) \left(21.5 \left[\frac{MJ}{m^3}\right]\right)}{(20 \text{ Hrs}/día) (0.3)} = 4,642.8 [MJ/h]$$

$$1 [W] = 1 \left[\frac{J}{s}\right]$$

$$4,642.8 \left[\frac{MJ}{h}\right] = 1.29 \left[\frac{MJ}{s}\right] = 1.29 [MW]$$

4.2.2.3 Protección ambiental

El aprovechamiento de biogás mediante sistemas de biodigestión, se está convirtiendo en un instrumento que mejora en mucho en la reducción de los contaminantes indicados en la normatividad aplicable. El tratamiento de los RSU, mediante el digestor, disminuye los vectores transmisores de enfermedades y se mejora la calidad de las aguas residuales, para ser empleadas para riego en zonas agrícolas o que al descargarlas en los cuerpos de agua, su efecto contaminante sea menor.

Al utilizar el biogás bajo la modalidad de quema de metano, se atiende a la disminución de gases de efecto invernadero; ya que en términos de contaminación el metano es 21 veces más contaminante que el bióxido de carbono.

4.2.2.4 Situación geográfica

La zona de estudio pertenece a la región hidrológica RH26, del río Pánuco de la vertiente del golfo de México a la cuenca del río Moctezuma.

El clima sobre la zona se presenta seco cálido, ambos de proporciones reducidas. El régimen de lluvias de este clima es en verano cuya precipitación pluvial es de 630 mm y la temperatura media anual es de 14°C.

La región estudiada comprende áreas en la que el escurrimiento tiende a ser uniforme, debido a sus características de permeabilidad, cubierta vegetal y precipitación media. Como resultado del análisis de los factores antes mencionados se obtiene un coeficiente de escurrimiento de 5–10 %, por lo que la permeabilidad de las rocas del lugar es de tipo medio.

4.3 Procesamiento de la información obtenida

4.3.1 Costos de energía eléctrica

En el Municipio de San Martín de las Pirámides el 75% de la energía eléctrica que se consume corresponde al alumbrado público y el resto es utilizada para servicios generales en diversas dependencias a su cargo.

4.3.2 Índices de consumo energético

Para el municipio de San Martín de las pirámides le corresponde la tarifa 5-A para servicio de alumbrado público

4.3.3 Análisis y determinación del aprovechamiento de subproductos

Biogás.- Su uso será para la producción de energía eléctrica y térmica. La energía eléctrica será utilizada para alimentar la planta de tratamiento y para servicios del propio municipio (alumbrado público ente otros).y la energía térmica se utilizara para inyectar calor al digestor y mantener su temperatura ideal.

Lodo digerido.- El fertilizante orgánico producido del digestor puede ser utilizado para los campos de cultivo en las periferias del lugar.

Agua tratada.- El agua puede utilizarse para riego y usos diversos de la planta de tratamiento.

4.4 Evaluación Técnica

4.4.1 Tamaño del proyecto.

El tamaño del digestor se determinó de acuerdo a la cantidad de generación de residuos más el inóculo;

$$2.36 \left[\text{ton/día} \right] + 0.708 \left[\text{ton/día} \right] = 3.068 \left[\text{ton/día} \right]$$

Si la densidad de la parte orgánica de los residuos es de $540 \left[\text{kg/día} \right]$;

$$\left(3068 \left[\text{kg/día} \right] \right) \left(\frac{1 \left[\text{m}^3 \right]}{540 \left[\text{kg} \right]} \right) = 5.68 \left[\text{m}^3/\text{día} \right]$$

Por un tiempo de retención de 30 días;

$$\left(5.68 \left[\text{m}^3/\text{día} \right] \right) (30 \left[\text{días} \right]) = 170.5 \left[\text{m}^3 \right]$$

Las medidas propuestas para el tamaño del digestor son:

- Altura: 4 [m]

$$\frac{170.5[m^3]}{(4[m])} = 42.6[m^2];$$

- Largo: 10[m]

- Ancho: 4.5 [m]

Tanque de almacenamiento del lodo digerido;

$$(170.5[m^3])(0.8) = 136.4[m^3]$$

Tanque de almacenamiento de biogás;

- Producción diaria de biogás x 20%:

$$(2.163[m^3])(.2) = .4326[m^3]$$

4.4.1.1 Localización y descripción específica del sitio del proyecto

La localización de los terrenos a ocupar el proyecto es al noroeste del Estado de México, dentro del municipio de Axapusco a 105 Km aproximadamente de la capital del estado (Toluca) cuyas coordenadas geográficas obtenidas de la carta topográfica detenal en escala 1:500,00 son:

- Latitud Norte: 19° 43' 00'
- Longitud Oeste: 98° 46' 05'
- Altitud: 2,339 msnm

4.4.1.2 Infraestructura y equipo actual (disponibles para el proyecto)

El Municipio no cuenta con ningún tipo de infraestructura o equipo que pudiera ser utilizado para el nuevo proyecto.

4.4.1.3 Descripción técnica del proyecto

a. Componentes del proyecto (infraestructura, equipos y otros).

Los componentes en el proyecto se proyectarán hasta su diseño conceptual y básico. A partir de análisis y prototipos para el diseño apropiado del tratamiento de los RSU y a las condiciones del municipio. Los SRU y RME serán tratados en un tren de tratamiento anaerobio-humedal. Las operaciones unitarias del tren de tratamiento son las siguientes:

- Reactor anaerobio
- Humedal artificial
- Tanque de almacenamiento de lodo digerido

El diseño del tren de tratamiento se realizará con poco o nulo mantenimiento y fácil operación. Los desechos sólidos serán tratados directamente en un reactor anaerobio también de casi nulo mantenimiento y fácil de operar.

El diseño incluirá las instalaciones necesarias para el aprovechamiento del biogás en las pailas del rastro y de esta forma, sustituir al gas LP por biogás. El biogás excedente será utilizado en la producción de energía eléctrica. Para ello, se proyectará un motor-generador de energía eléctrica necesario y los aditamentos necesarios para la implementación de éste.

Las instalaciones necesarias del nuevo proyecto, pues el digestor debe ser complementado con instalaciones adicionales para conectar el suministro de biogás a un motogenerador.

Además del motogenerador y su instalación eléctrica, se debe instar la tubería y soporte, tanque de almacenamiento y filtro para el gas; así como la construcción de una caseta para resguardar y proteger el equipo.

Para el digestor y el proceso previo a la fermentación anaeróbica se requiere de una trituradora y la compra de geomembrana.

También es necesaria la construcción de una subestación elevadora para la interconexión con el nodo de CFE.

b. Procesos y tecnologías a emplear.

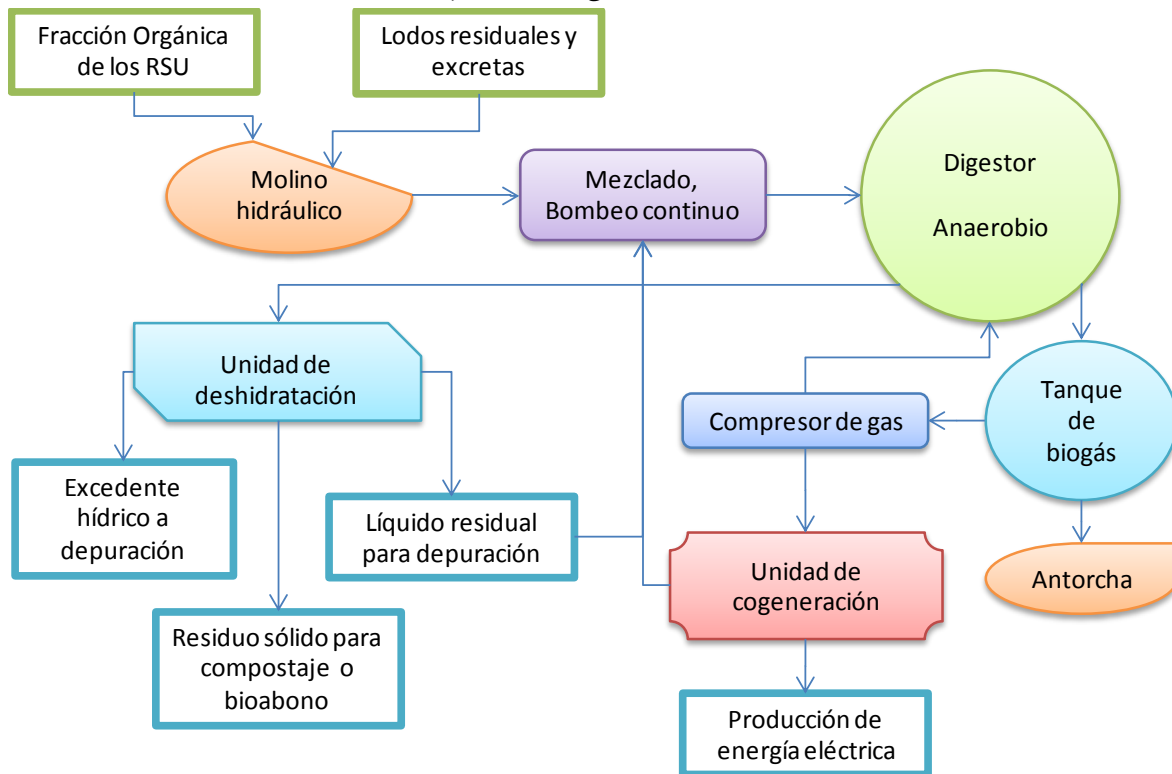
Hay tres pasos básicos implicados cuando se utiliza el proceso de digestión anaeróbica para producir metano a partir de la fracción orgánica de los RSU.

Normalmente, en el caso de los RSU no seleccionados, el primer paso implica la recepción, selección, separación y reducción de tamaño.

El segundo paso implica la adición de la humedad y de nutrientes de la mezcla, el ajuste de pH hasta aproximadamente 6.8 y el calentamiento de la masa húmeda entre 55 y 60 [°C]. La digestión anaeróbica se lleva a cabo dentro de un digestor de flujo continuo cuyo contenido se mezcla completamente, el contenido de humedad y los nutrientes requeridos se añaden a los residuos que se van a procesar en forma de lodos o estiércol de vaca.

El tercer paso en el proceso implica la captura, almacenamiento y, si es necesario, la separación de los componentes del biogás. Otra tarea dentro de este paso es la evacuación y aeración de la materia digerida para su utilización (Ver figura 4.13).

Figura 4.13 Diagrama de flujo del proceso de digestión anaeróbica de la fracción orgánica de los RSU



Fuente: El autor a partir de Tchobanoglous, 1994.

4.4.1.4 Cumplimiento de Normas Sanitarias, Ambientales y otras.

La implementación de este proyecto permite el cumplimiento de leyes actuales sobre tratamiento y disposición final de los residuos, así como la certificación de normas como las que se enlistan a continuación:

I. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)

Art. 134. Prevención y control de la contaminación del suelo por residuos.

Art. 135. Ordenación urbana, servicio de limpia y sitios de disposición final.

Art. 137. Autorización del funcionamiento de sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

Art. 138. Acuerdos para mejorar e implantar sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

Art. 139. Contaminación por lixiviados.

Art. 141. Biodegradación de RSU.

II. Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR)

III. Normas Oficiales Mexicanas

NOM-083-SEMARNAT-2003; Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de RSU y RME.

4.4.2 Ingeniería del proyecto.

I. Tecnología.

El proyecto se caracteriza por la sencillez de su complemento tecnológico, consistente en un motogenerador accionado con biogás, cuyos efectos son de una gran repercusión e impacto en las unidades productivas del sector, ya que permiten un abatimiento sustancial en la facturación de los costos de energía eléctrica o combustibles utilizados por las explotaciones ganaderas, según sea la fuente energética.

II. Equipos.

Los equipos básicos a utilizar son los enlistados a continuación:

- Equipo motogenerador
- Trituradora
- Mezcladora
- Filtros para limpieza de biogás
- Equipos de medición y control

III. Obras de Ingeniería civil.

De los trabajos de ingeniería civil se encuentran la remoción de tierra y excavación la construcción del cuarto del generador eléctrico, así como la instalación eléctrica general.

IV. Análisis de insumos.

- Membrana EPDM para cubierta
- Membrana HDPE para fondo de laguna
- Bombas
- agitadores, pernos, anclajes, arquetas y accesorios
- Tubería de PVC
- Entre otros.

V. Servicios públicos.

Dentro los servicios públicos requeridos es necesario contar con los servicios energía eléctrica suministrados por CFE.

VI. Mano de obra.

La mano de obra puede ser tomada del propio municipio, que permitirá dar empleos formales de manera temporal a los habitantes del lugar.

Conclusiones

Con el estudio técnico se pudo revisar la posibilidad de realizar un proyecto en el Municipio de San Martín de las pirámides, que cumple básicamente dos objetivos, el primero de dar solución a un problema a nivel social como lo es el tener un sitio de disposición final en condiciones adecuadas y operando cumpliendo todas las normas y en segunda de dar un valor agregado al tratamiento de dichos residuos generados en el lugar.

Por otro lado también se tomó en cuenta la posibilidad de utilizar los subproductos generados por el tratamiento de los residuos, como lo es el biogás para generación eléctrica y el tratamiento de agua y abono orgánico.

Los requerimientos de espacio para el proyecto no son muy grandes, lo que nos facilita la posibilidad de poder conseguir un terreno dentro del propio municipio y a pesar de que actualmente no se cuenta con infraestructura que pueda utilizarse puede llevarse a cabo con un financiamiento adecuado.

En el siguiente capítulo se elaborará el estudio económico que nos permitirá saber el costo de construcción, la rentabilidad de nuestro proyecto y el tiempo en que se recuperará el capital.

Se analizarán las premisas de entrada para realizar la evaluación, el modelo a utilizar para llevarlo a cabo, así como un análisis de los resultados obtenidos, además realizará el estudio de sensibilidad para determinar cuáles son las premisas o factores que afectarían más nuestro proyecto y lo dejen de hacer rentable.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

Capítulo

5.

Estudio de factibilidad: evaluación económica
(Caso de estudio)

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

5. Estudio de factibilidad: evaluación económica (caso de estudio)

Introducción.

Un proyecto es la fuente de costos y beneficios que ocurren en distintos periodos de tiempo (Fontaine, 1993), es decir, cuando se realiza un proyecto se asignan recursos (costos), para generar bienes o servicios que satisfacen necesidades (beneficios).

Después de elaborarse el estudio de factibilidad técnica de un proyecto y este arroja resultados positivos, es necesario evaluar si puede llevarse a cabo económicamente, pues ningún proyecto, por muy amigable que sea con el medio ambiente, puede ser subsidiado indefinidamente.

La evaluación económica-financiera de un proyecto es el proceso de identificar, cuantificar y valorar los costos y beneficios que se generarían en un determinado periodo de tiempo. El objetivo de dicha evaluación es determinar si la ejecución del proyecto es conveniente para quien lo lleve a cabo.

De esta evaluación, la identificación de beneficios es el paso más importante, ya que a partir de esta, se basa el análisis para decidir la conveniencia de realizar o no el proyecto. La cuantificación y valoración, son pasos relativamente sencillos, ya que la primera se realiza mediante la asignación de una medida física a los costos y beneficios identificados, mientras que en la segunda se determina un precio a estas medidas físicas.

Para los gobernantes de un municipio, más allá de los beneficios económicos que llegue a generar un proyecto, lo que más les importa son los beneficios sociales que aportará dicho proyecto a su comunidad. La evaluación económica permite obtener información para saber si el proyecto planteado tiene posibilidades a obtener algún crédito, pues los recursos económicos con los que se cuenta el municipio son limitados, y es primordial para la administración del mismo la asignación eficiente de los recursos que mejoren el bienestar de la población y aun que el proyecto pueda verse muy rentable a largo plazo, la asignación de

recursos al proyecto en el corto plazo puede reemplazar la continuación y/o ejecución de programas o proyectos que también son prioritarios e incluso más necesarios.

El evaluar las posibilidades con las que cuenta un municipio para acceder a un financiamiento puede llegar a ser primordial para la ejecución de nuestro proyecto, además que si nuestro proyecto es rentable se puede llevar a cabo una sociedad con una empresa privada, lo que permitiría que después del cambio de administración municipal pueda tener continuidad.

En éste capítulo se realizará la evaluación económica de nuestro caso de estudio, de tal forma que al final de él podremos verificar si nuestro proyecto es rentable y si tiene posibilidades de acceder a un crédito para llevarse a cabo e implementar el nuevo sistema de tratamiento y disposición final de los residuos generados en el Municipio de San Martín de las Pirámides.

En la primera parte del capítulo se describen las premisas principales de un estudio financiero y de nuestra evaluación económica, como son los costos del proyecto total y gastos por operación y mantenimiento, se incluye un programa de ventas supuesto para excedentes de energía eléctrica y bioabono, así como ahorros del municipio por consumo eléctrico.

En segunda parte, se describen los modelos matemáticos empleados para determinar los valores de las variables a evaluar para la toma de decisión de nuestro proyecto, como son VPN, TIR, RC/B, análisis de sensibilidad y tiempo de recuperación de capital.

Por último, en la tercera parte del capítulo, se muestran los resultados obtenidos después de realizar nuestra evaluación económica, los cuales no ayudarán a decidir si nuestro es rentable o no y verificar si nuestro proyecto es lo suficientemente atractivo para poder obtener algún tipo de financiamiento.

5.1 Premisas de la evaluación económica y financiera¹⁹

5.1.1 Estudio financiero

Un estudio financiero es una síntesis cuantitativa que demuestra con un margen razonable de seguridad, la realización del proyecto con los recursos programados y la capacidad de pago de la empresa. La metodología para medir la rentabilidad de un proyecto, la estructura financiera futura de una empresa, tanto en un entorno de estabilidad económica como de inflación, considera los precios y costos constantes, a menos que se indique lo contrario.

5.1.1.1 Fuentes internas de financiamiento

Las expectativas de los requerimientos financieros de un proyecto se basan en las condiciones financieras actuales de la empresa, y en los resultados derivados de los estudios de mercado y técnicos ya realizados para el proyecto. En gran medida, los requerimientos financieros estimados para un proyecto se analizan a través de los estados financieros y de los presupuestos del flujo de efectivo, que para tal fin se elaboran.

Los estados financieros proforma permiten proveer sistemáticamente las proyecciones de los requerimientos financieros mensuales, trimestrales o anuales, lo que da acceso a la cuantificación anticipada de los montos de recursos propios que se van a utilizar, muestran la necesidad de solicitar préstamos bancarios o emitir títulos de capital.

Los presupuestos de flujo de efectivo del proyecto coadyuvan a definir las cantidades de fondeo requeridas y auxilian en la selección de procedimientos para obtener los recursos monetarios, a fin de afrontar dichos requerimientos con capital propio o generando algunos pasivos.

¹⁹ Este apartado está realizado a partir de Ocampo, 2003.

5.1.1.2 Fuentes externas de financiamiento

Los estados financieros y el presupuesto de los flujos de efectivo muestran las necesidades de financiamiento externo a través de bancos, emisión de bonos, inversión municipal, emisión de acciones preferentes u organizaciones como Nacional Financiera, Banco de Comercio Exterior, FIDE, Banobras, etc. Por lo regular los grandes y medianos proyectos utilizan una combinación de estas fuentes de financiamiento.

Al examinar el propósito del préstamo, los analistas de los bancos solicitan información completa del total de los montos del préstamo, así como del uso que se les darán expresado en porcentajes del capital invertido y activos circulantes, los cuales deberán ser adecuados, ya que de otra manera es posible que más tarde se necesiten más fondos para terminar el proyecto y se ponga en riesgo el éxito del mismo por falta de liquidez.

5.1.1.3 Estimación de costos de operación

De acuerdo a lo anterior es posible conocer de una forma a priori los costos de instalación de la planta, los costos de operación de la planta y con ayuda de los proveedores y fabricantes de los equipos, también podemos conocer los costos en los que se incurre por mantenimiento.

Los costos no son más que un efecto de las determinaciones realizadas en el estudio técnico. Un error en el costo de producción generalmente es atribuible a errores del cálculo en el estudio técnico y el proceso de costo en producción es más una actividad de ingeniería que de contabilidad.

5.1.1.4 Programa de ventas (ingresos)

Es la predicción de las ventas del proyecto en un tiempo determinado y tienen como fundamento primordial proyectar el nivel de ventas mediante estimaciones de acuerdo a las condiciones locales y el potencial de los clientes.

En nuestro caso, las ventas serían; energía eléctrica y de abono generado como residuo por el proceso de degradación de los residuos orgánicos.

5.1.1.5 Flujo de efectivo

El estado de cuenta que me refleja cuanto “efectivo” queda después de los, gastos, pagos, intereses y el capital inicial, es el flujo de efectivo.

5.1.2 Evaluación económica

Por lo general, a las personas interesadas en invertir su dinero en algún proyecto, les es de gran ayuda para tomar una decisión de conocer las técnicas, que les permitan comparar y decidir entre diferentes opciones de inversión de capitales, dado que generalmente se inclinaran por la más conveniente desde el punto de vista económico.

La justificación económica permite tomar una decisión final sobre la realización del proyecto.

La mayoría de los recursos escasos en la naturaleza se pueden medir en valor monetario (dinero) y por lo general este valor aumenta conforme pasa el tiempo, por esta razón una de las claves para comprender un estudio económico es reconocer que el dinero tiene un valor en el tiempo. La ingeniería económica nos permite a través del concepto de tasa de interés una manera de expresar el valor del dinero en el tiempo, también conocida como tasa de costo de oportunidad o tasa de descuento.

5.2 Desarrollo del modelo de evaluación económica

5.2.1 Valor Presente Neto (VPN)

El VPN indica el valor "al día de hoy" del flujo de efectivo generado por el proyecto en el horizonte de evaluación y puede definirse como el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos de efectivo descontados a la inversión inicial.

Sumar los flujos descontados en el presente y restar la inversión inicial equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir dichas ganancias, en términos de su valor equivalente en este momento o tiempo cero

Para calcularlo se utiliza una tasa de descuento (r), el cual refleja el costo de oportunidad de los recursos. La expresión matemática para calcular el VPN es la siguiente:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+r)^t}$$

Donde

" FE_t " representa el flujo de efectivo en cada periodo de tiempo " t ",

La tasa de descuento o costo de oportunidad del dinero está representada por " r ",

" n " es la vida útil de la inversión medida en años y;

" Σ " es la sumatoria del valor presente de los flujos de efectivo descontados.

La regla de decisión de este indicador consiste en que si el VPN es positivo, entonces el proyecto es rentable, y que invertir en el proyecto generará más riqueza al ser ejecutado, por el contrario si el VPN es negativo indica que se tendrán pérdidas en caso de llevarlo a cabo y por lo tanto, la realización del proyecto no es conveniente.

5.2.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR indica la rentabilidad de realizar un proyecto y a su vez es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero. Su expresión matemática es la siguiente:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

La regla de decisión para estos indicadores es aceptar los proyectos cuya TIR sea igual o mayor a la tasa de descuento. La TIR sólo es útil, cuando los proyectos se comportan normalmente, es decir, cuando los primeros flujos de efectivo son negativos y los siguientes son positivos; lo anterior se debe a que si cambia el signo más de una vez de los flujos netos del proyecto, se pueden obtener diferentes valores de TIR. Por último, es importante mencionar que la TIR, por ser una tasa, no se puede utilizar como criterio de comparación entre proyectos y debe ser siempre acompañada por el VPN.

5.2.3 Relación Costo/Beneficio (CB)

El beneficio económico es la ganancia que se obtiene de un proceso económico. Se basa en el valor presente, y consiste en dividir el valor presente de los ingresos menos gastos entre el valor presente de la inversión.

$$\text{Relación } \left(B/C \right) = \frac{VPNB}{VPNI}$$

Dónde:

- VPNB; es el valor presente neto de los beneficios
- VPNI; es el valor presente neto de la inversión

Si el índice es mayor a 1 se acepta el proyecto, si es inferior no es aceptado ya que esto significa que la rentabilidad del proyecto es inferior a la inversión.

5.2.4 Análisis de sensibilidad

Al hacer cualquier análisis económico proyectado al futuro, siempre hay un elemento de incertidumbre asociado a las alternativas que se estudian y es precisamente esa falta de certeza lo que hace que la toma de decisiones sea bastante difícil.

El análisis de sensibilidad de un proyecto de inversión es una de las herramientas más sencillas de aplicar y que nos puede proporcionar la información básica para tomar una decisión acorde al grado de riesgo que decidamos asumir.

Los flujos de efectivo que se usan para determinar la aceptabilidad de un proyecto están determinados por los pronósticos de acontecimientos inciertos, como las condiciones económicas en el futuro y la demanda esperada de un producto. Entonces se sabe que los flujos de efectivo que se usan para determinar el VNP de un proyecto podrían ser muy diferentes de lo que en realidad pase en el futuro. Pero esas cifras representan el mejor, y más confiable, pronóstico respecto de los flujos de efectivo esperados con un proyecto y si una de las variables de entrada cambia, como las unidades vendidas, el VNP del proyecto cambia.

El análisis de sensibilidad es una técnica que muestra exactamente cuándo cambiará el VNP en respuesta de un cambio determinado en una variable de entrada, si todo lo demás permanece constante. Se parte de un caso base cuyo desarrollo está en función de los valores esperados de cada entrada. Después cada variable se cambia por puntos porcentuales específicos por encima o por debajo del valor esperado, yo todo se mantiene constante, después se calcula un VNP nuevo para cada uno de los valores (Besley, 2008).

5.2.5 Periodo de recuperación del capital

Periodo de recuperación de capital son los años necesarios para recobrar el costo de un proyecto. En el método ordinario se prescinde de los flujos de efectivo posteriores al periodo y tampoco tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Con todo ofrece una indicación del riesgo del proyecto y su liquidez, porque muestra cuanto tiempo el capital invertido estará "en riesgo".

El uso del periodo de recuperación para tomar decisiones de presupuesto de capital se basa en el concepto de que es mejor recuperar la inversión de un proyecto más pronto que tarde. Como regla general se considera que un proyecto es aceptable si su periodo de recuperación es menor que el tiempo de recuperación del costo máximo que la empresa establece (Besley, 2008).

5.2.6 Caracterización del modelo de evaluación económica

Con el objeto de estudiar como inciden los parámetros en los indicadores, se realizó una evaluación económica en moneda constante, la evaluación financiera, propiamente dicha, involucra un manejo más detallado de la forma en la que se puede completar el monto de inversión entre los recursos de socios (capital) y financiamiento externo (prestamos).

Para calcular el precio al que CFE compra la electricidad a un privado, se toman en cuenta varios factores, como son:

- ✿ Ubicación del nodo eléctrico del que dependen plantas generadoras de energía eléctrica y se establece una tarifa base del costo promedio de producción del kWh.
- ✿ El precio base establecido es castigado en un 80 % o 60 %.

El precio base es información confidencial, así que para el estudio se tomó la Tarifa 5-A (tarifa horaria para servicio de alumbrado público), además de un castigo del 80% para calcular la electricidad de venta.

Con la ayuda de las herramientas de Excel, se puede obtener con mayor facilidad los resultados de nuestros indicadores económicos.

Primero se acomodaron los egresos y los ingresos de cada periodo en dos columnas y posteriormente a los ingresos se le restaron los egresos para obtener mi flujo de efectivo por periodo (tabla 5.1);

Tabla 5.1 flujo de efectivo para el cálculo en hoja de Excel

| | A | B | C | D |
|---|------|----------------|---------|----------------------|
| 1 | t | Flujo Efectivo | | Flujo Efectivo |
| 2 | años | Ingresos | Egresos | (a final de periodo) |
| 3 | 0 | 0 | | |
| 4 | 1 | | | |
| 5 | 2 | | | |
| 6 | 3 | | | |
| 7 | 4 | | | |

Fuente: el autor

Para determinar el valor del VNP escribimos en una celda libre la siguiente expresión:

$$=VNA(TASA,D4:D7)+D3$$

Para el cálculo de la TIR escribimos en otra celda libre la expresión:

$$=TIR(D4:D7)$$

Y para el cálculo de la Relación C/B escribimos en otra celda vacía:

$$=VNA(TASA,D4:D7)/(-D3)$$

La TASA es un valor que es proporcionado de acuerdo a la cantidad que los inversionistas deseen obtener por cada peso invertido, para nuestro caso de estudio se fijó en el valor de 0.12 ó 12%, por ser el valor mínimo necesario para garantizar el pago al banco.

5.3 Resultados de la evaluación económica

5.3.1 Costos, egresos e ingresos del proyecto

Los costos del proyecto se describen en la tabla 5.2 que se presenta a continuación:

Tabla 5.2 Costos del proyecto

| Concepto | Pesos |
|---|------------------------|
| Ingeniería y diseño | \$200,000.00 |
| Tanque de alimentación y mezcla | \$294,000.00 |
| Tanque de descarga | \$699,800.00 |
| Excavación y construcción | \$43,420.00 |
| Membrana EPDM para cubierta | \$22,150.00 |
| Membrana HDPE para fondo de laguna | \$9,000.00 |
| Tuberías, bombas, agitadores, pernos, anclajes, arquetas y accesorios | \$5,000,000.00 |
| Sistema de seguridad y control de procesos y calefacción | \$520,000.00 |
| Construcción del cuarto de generadores | \$30,000.00 |
| Instalaciones eléctricas y tableros | \$462,950.00 |
| 7 equipos de motogeneración | \$3,500,000.00 |
| Construcción de Subestación | \$7,000,000.00 |
| Permisos de interconexión con CFE | \$3,000,000.00 |
| Total | \$20,781,320.00 |

Precios tomados a partir de lista de precios de proveedores de ESISA.

Suponemos egresos mensuales por concepto de:

- ✿ Consumo propio de energía eléctrica mensual de la planta: \$10,000.00
- ✿ Costos mensuales de operación: \$50,000.00
- ✿ Costos mensuales de mantenimiento: \$20,000.00

Por otro lado tendremos ingresos por tres conceptos:

- Ahorro de consumo de energía eléctrica (tabla 5.3)

Tabla 5.3 Ahorros de consumo eléctrico mensual

| | kW/h | Tarifa* \$ | Gastos de energía eléctrica |
|-----------------|-------------|----------------------|------------------------------------|
| Consumo mensual | 16,500.00 | 2.114 | 34,881.00 |

*Tarifa 5-A tomada de www.cfe.gob.mx

- Ventas por excedentes de energía eléctrica (tabla 5.4):

Tabla 5.4 Ingresos por venta de excedentes de energía eléctrica

| | kW/h [mensual] | Tarifa* \$ | Gastos de energía eléctrica |
|------------|--------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Excedentes | 756,500 | 1.69 | \$1,278,485.00 |

*Tarifa 5-A castigada al 80% (www.cfe.gob.mx)

- Venta de subproductos (bioabono), (tabla 5.5):

Tabla 5.5 Ingresos por venta de bioabono

| | Ton [mensual] | Precio \$ |
|--------------|-------------------------|---------------------|
| Producción | 150 | 300.00 |
| Total | | 45,000.00 |

Precios supuestos por el autor.

Por lo tanto mensualmente tendremos un ingreso extra por ventas del bioabono.

5.3.2 Flujo de efectivo de nuestro proyecto

Flujo de efectivo anual para un periodo de 10 años (tabla 5.6).

Tabla 5.6 Flujo de Efectivo

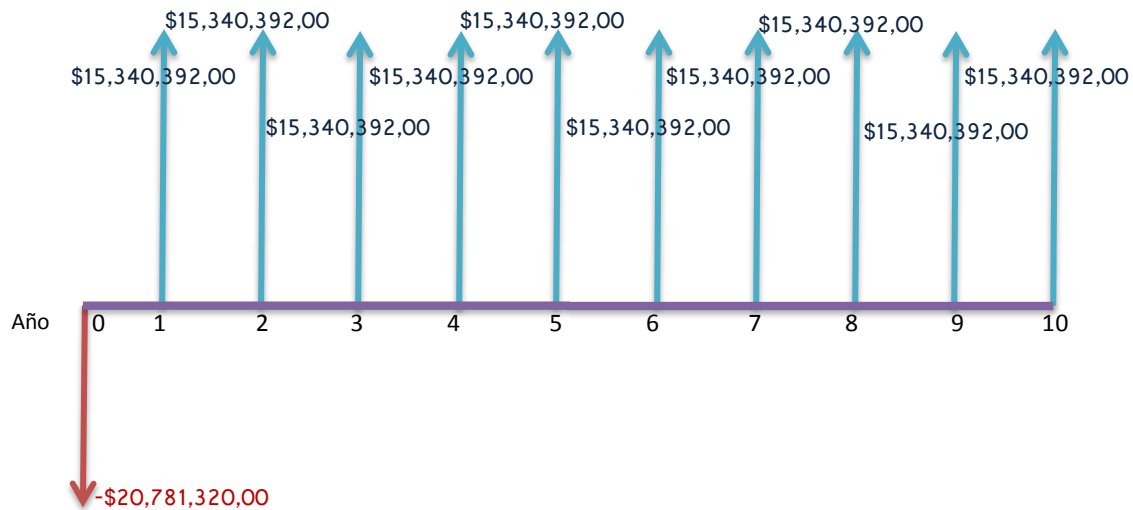
| t años | Ingresos | Egresos | al final de periodo | Acumulado |
|--------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|
| 0 | \$0.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 |
| 1 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | -\$5,440,928.00 |
| 2 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | \$9,899,464.00 |
| 3 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | \$25,239,856.00 |
| 4 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | \$40,580,248.00 |
| 5 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | \$55,920,640.00 |
| 6 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | \$71,261,032.00 |
| 7 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | \$86,601,424.00 |
| 8 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | \$101,941,816.00 |
| 9 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | \$117,282,208.00 |
| 10 | \$16,300,392.00 | -\$960,000.00 | \$15,340,392.00 | \$132,622,600.00 |

Fuente: el autor

5.3.3 Valor Presente Neto (VPN)

La figura 5.2 representa el flujo de efectivo del proyecto, cada periodo de evaluación corresponde a un año, evaluando al proyecto con una vida útil de 10 años.

Figura 5.2 Flujo de efectivo del proyecto



Fuente: el autor

Por lo tanto el VPN en nuestro caso de estudio es:

$$\text{VPN} = 65,895,316$$

5.3.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Por lo cual, para nuestro caso de estudio tenemos un valor de:

$$\text{TIR} = 73.52\%$$

5.3.5 Relación Costo/Beneficio (CB)

Para nuestro caso de estudio nuestro VNP de los beneficios de toda nuestra vida útil es de:

\$86,676,636.00

Y el VNP de la inversión son los

\$20,781,320.00

Por lo tanto nuestra $R(C/B)$ es igual a:

$$R(C/B) = \frac{\$ 86,676,636.00}{\$20,781,320.00} = \mathbf{4.1709}$$

De acuerdo al resultado obtenido por nuestra relación, que es >1 , podemos decir que nuestro proyecto es rentable.

5.3.6 Análisis de sensibilidad

Para nuestro caso tenemos costos cuya variación podría modificar los resultados de nuestra TIR, que puede provocar que nuestro proyecto ya no sea rentable.

Se evaluarán 5 posibles escenarios, dejando el costo por construcción de proyecto como un valor fijo.

5.3.4.1 Escenario 1.- Costos por operación y mantenimiento se incrementan en un 10%

Tabla 5.7 Flujos de efectivo con incremento de costos de operación y mantenimiento del 10%

| t años | Ingresos | Egresos | al final de periodo | Acumulado |
|--------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|
| 0 | \$0.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 |
| 1 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | -\$5,536,928.00 |
| 2 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | \$9,707,464.00 |
| 3 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | \$24,951,856.00 |
| 4 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | \$40,196,248.00 |
| 5 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | \$55,440,640.00 |
| 6 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | \$70,685,032.00 |
| 7 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | \$85,929,424.00 |
| 8 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | \$101,173,816.00 |
| 9 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | \$116,418,208.00 |
| 10 | \$16,300,392.00 | -\$1,056,000.00 | \$15,244,392.00 | \$131,662,600.00 |

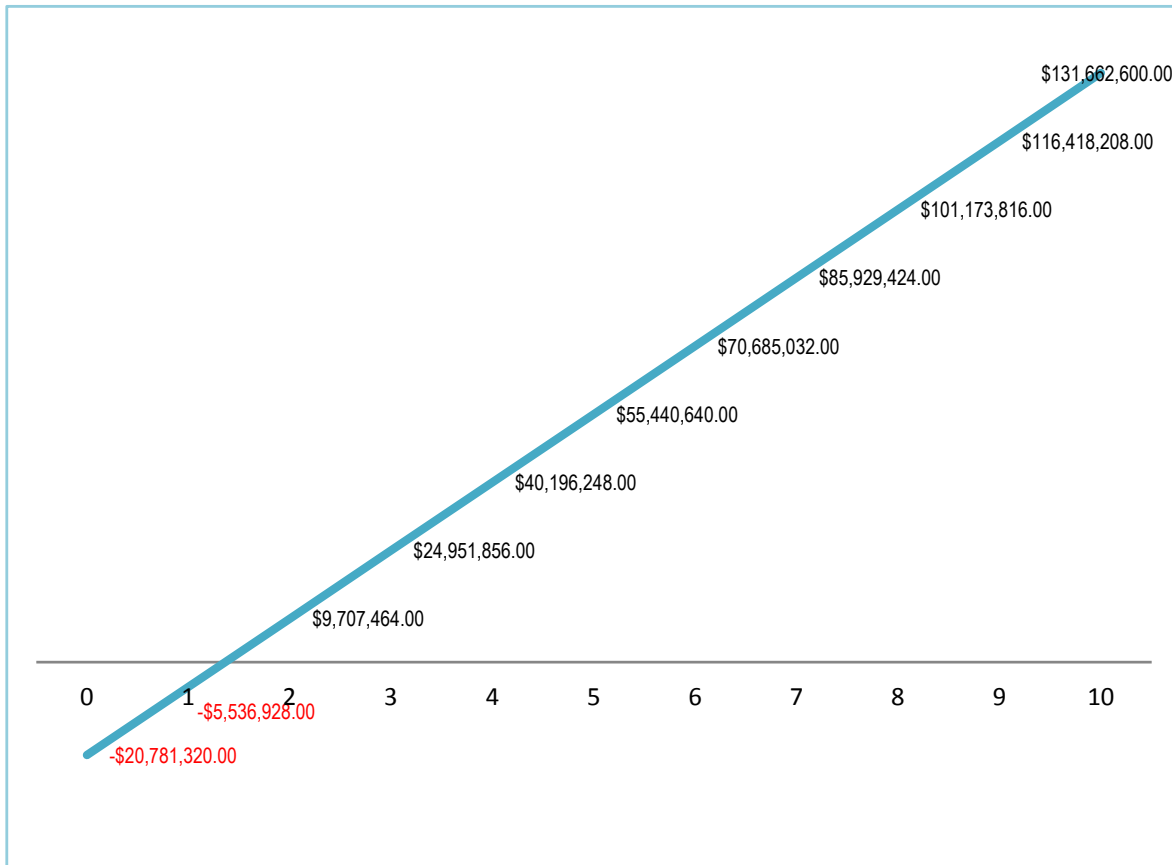
Resultados de evaluación:

$$\text{VNP} = 65,352,895$$

$$\text{TIR} = 73.05\%$$

$$\text{R(C/B)} = 4.1448$$

Figura 5.3 Flujos de efectivo para escenario 1



Fuente: el autor

5.3.4.2 Escenario 2.- Costos por operación y mantenimiento se incrementan en un 20%

Tabla 5.8 Flujos de efectivo con incremento de costos de operación y mantenimiento del 20%

| t años | Ingresos | Egresos | al final de periodo | Acumulado |
|-----------|-----------------|------------------|------------------------|------------------|
| 0 | \$0.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 |
| 1 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | -\$5,632,928.00 |
| 2 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | \$9,515,464.00 |
| 3 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | \$24,663,856.00 |
| 4 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | \$39,812,248.00 |
| 5 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | \$54,960,640.00 |
| 6 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | \$70,109,032.00 |
| 7 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | \$85,257,424.00 |
| 8 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | \$100,405,816.00 |
| 9 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | \$115,554,208.00 |
| 10 | \$16,300,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$15,148,392.00 | \$130,702,600.00 |

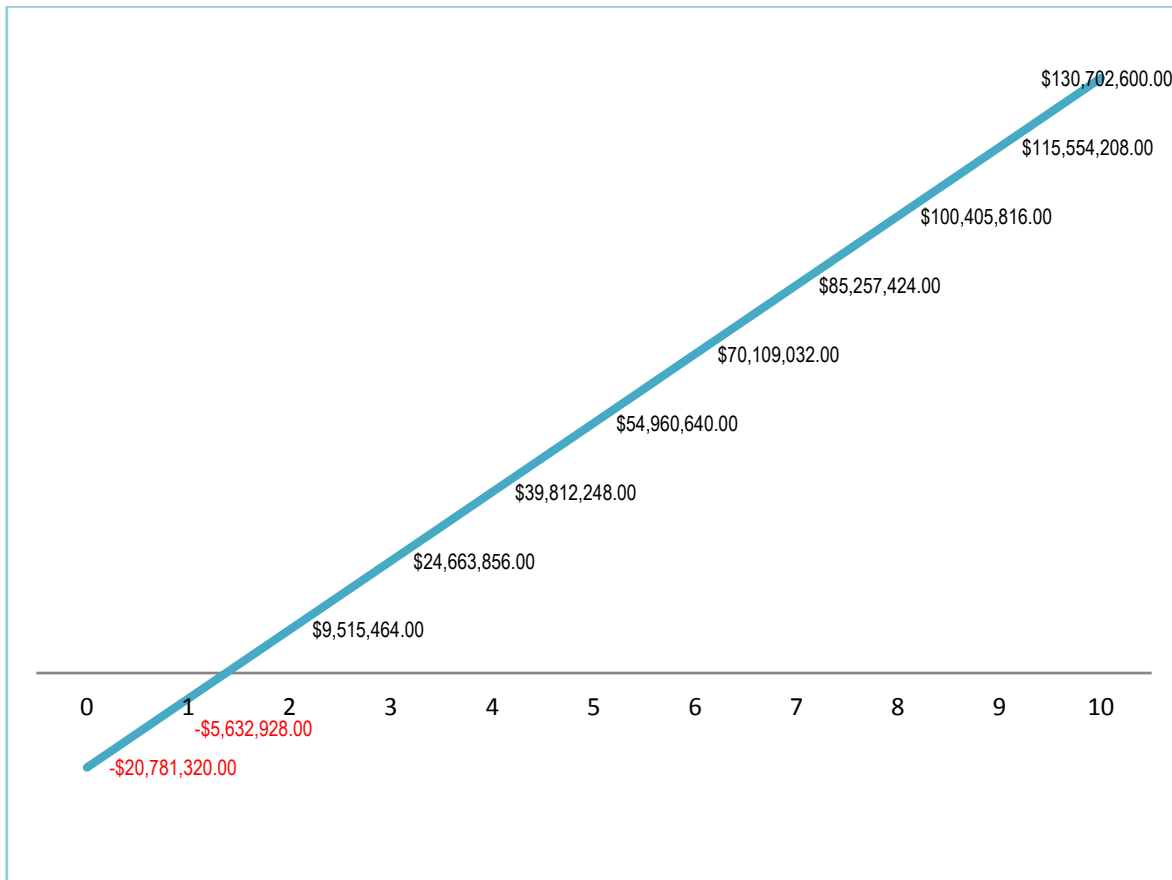
Resultados de evaluación:

$$\text{VNP} = 64,810,473$$

$$\text{TIR} = 72.58\%$$

$$\text{R}(C/B) = 4.1187$$

Figura 5.4 Flujos de efectivo para escenario 2



Fuente: el autor

5.3.4.3 Escenario 3.- evaluación para el escenario que no vendamos nada de bioabono.

Tabla 5.9 Flujos de efectivo sin venta de bioabono

| t años | Ingresos | Egresos | al final de periodo | Acumulado |
|--------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|
| 0 | \$0.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 |
| 1 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | -\$5,980,928.00 |
| 2 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | \$8,819,464.00 |
| 3 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | \$23,619,856.00 |
| 4 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | \$38,420,248.00 |
| 5 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | \$53,220,640.00 |
| 6 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | \$68,021,032.00 |
| 7 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | \$82,821,424.00 |
| 8 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | \$97,621,816.00 |
| 9 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | \$112,422,208.00 |
| 10 | \$15,760,392.00 | -\$960,000.00 | \$14,800,392.00 | \$127,222,600.00 |

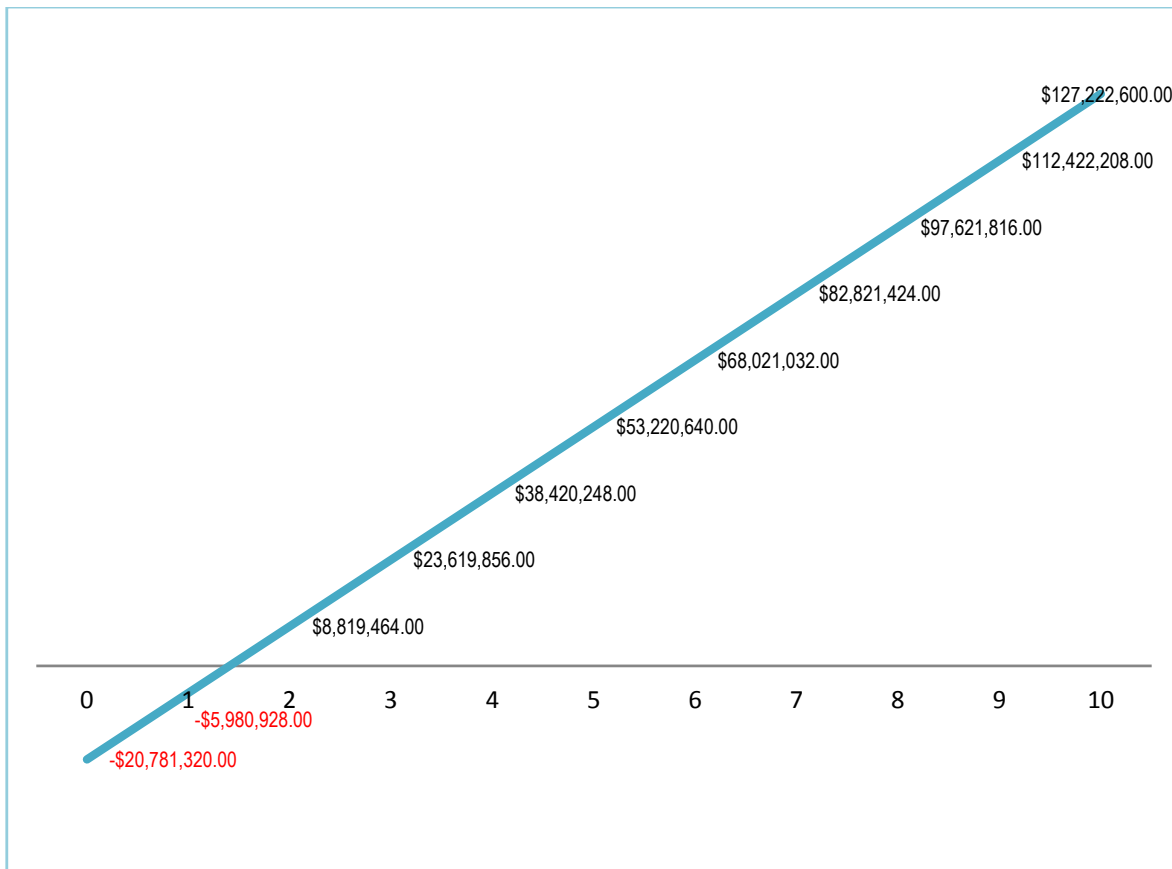
Resultados de evaluación:

$$\text{VNP} = 62,844,196$$

$$\text{TIR} = 70.88\%$$

$$\text{R(C/B)} = 4.0241$$

Figura 5.5 Flujos de efectivo para escenario 3



Fuente: el autor

5.3.4.4 Escenario 4.- Evaluación del escenario en el que no vendemos nada de bioabono y además tenemos un incremento del 20% en nuestros costos de operación y mantenimiento.

Tabla 5.10 Flujos de efectivo sin venta de bioabono y con incremento de costos de operación y mantenimiento un 20%

| t años | Ingresos | Egresos | al final de periodo | Acumulado |
|-----------|-----------------|------------------|------------------------|------------------|
| 0 | \$0.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 |
| 1 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | -\$6,172,928.00 |
| 2 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | \$8,435,464.00 |
| 3 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | \$23,043,856.00 |
| 4 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | \$37,652,248.00 |
| 5 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | \$53,260,640.00 |
| 6 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | \$66,869,032.00 |
| 7 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | \$81,477,424.00 |
| 8 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | \$96,085,816.00 |
| 9 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | \$110,694,208.00 |
| 10 | \$15,760,392.00 | -\$1,152,000.00 | \$14,608,392.00 | \$125,302,600.00 |

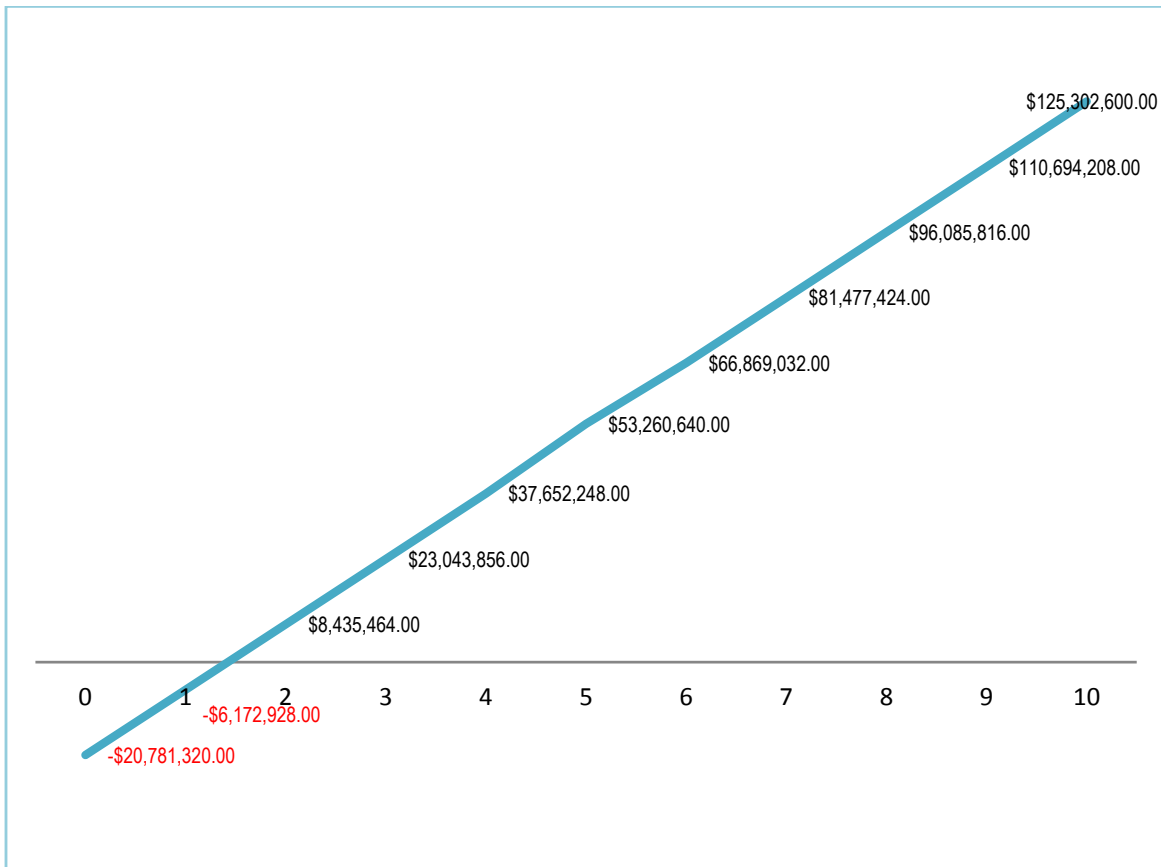
Resultados de evaluación:

$$\text{VNP} = 61,759,353$$

$$\text{TIR} = 69.95\%$$

$$\text{R(C/B)} = 3.9719$$

Figura 5.6 Flujos de efectivo para escenario 4



Fuente: el autor

5.3.4.5 Escenario 5.- Paro de operaciones por 4 meses.

Evaluaremos nuestro proyecto en el caso que por problemas diversos nuestra planta de generación deje de operar 4 meses al año en nuestro periodo de evaluación.

Tabla 5.11 Flujos de efectivo con equipo generador fuera de operación por cuatro meses cada año

| t años | Ingresos | Egresos | al final de periodo | Acumulado |
|--------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|
| 0 | \$0.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 | -\$20,781,320.00 |
| 1 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | -\$10,694,392.00 |
| 2 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | -\$607,464.00 |
| 3 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | \$9,479,464.00 |
| 4 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | \$19,566,392.00 |
| 5 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | \$29,653,320.00 |
| 6 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | \$39,740,248.00 |
| 7 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | \$49,827,176.00 |
| 8 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | \$59,914,104.00 |
| 9 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | \$70,001,032.00 |
| 10 | \$11,046,928.00 | -\$960,000.00 | \$10,086,928.00 | \$80,087,960.00 |

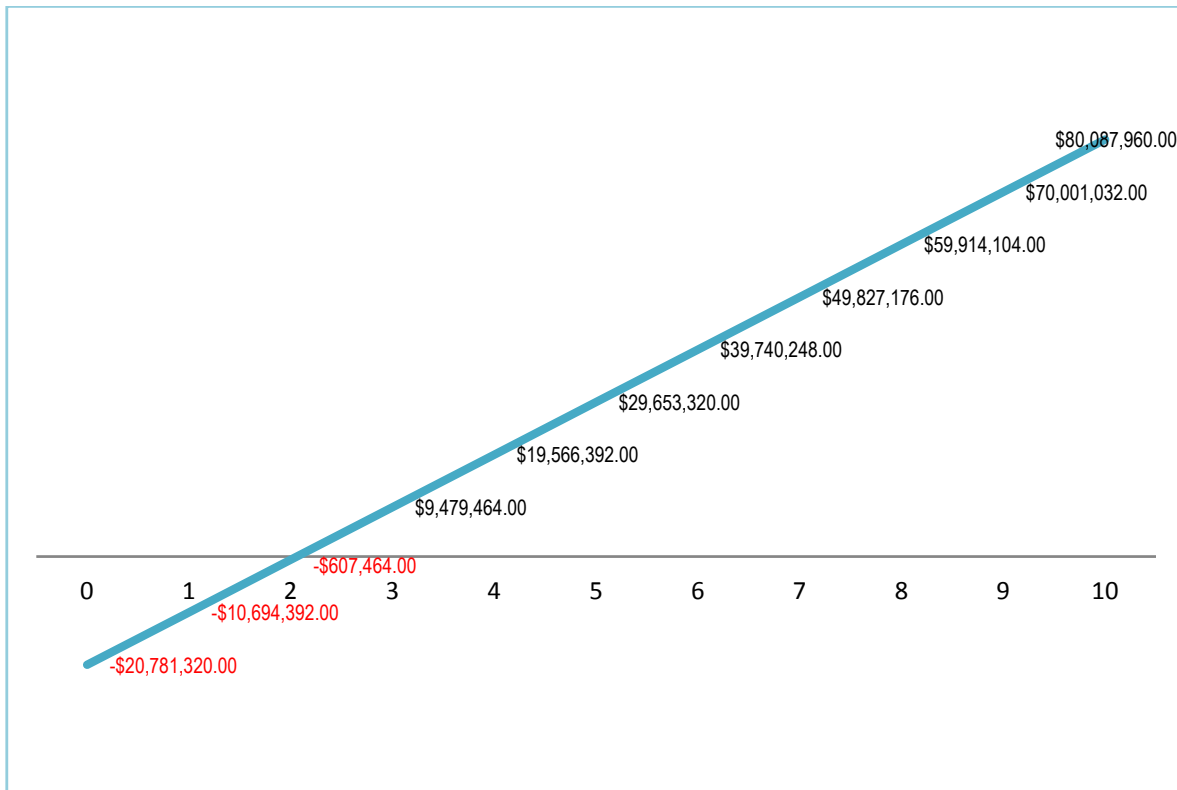
Resultados de evaluación:

$$VPN = 36,212,073$$

$$TIR = 47.55\%$$

$$R(C/B) = 2.7425$$

Figura 5.7 Flujos de efectivo para escenario 5



Fuente: el autor

Como se analizó vemos que para los primeros cuatro escenarios propuestos los costos de operación y mantenimiento, así como la venta de bioabono no son variables que alteren en gran medida la rentabilidad de nuestro proyecto pues nuestro VPN continua siendo positivo y nuestra TIR no cae tan drásticamente.

Pero en el último escenario nos muestra que tan importante es que nuestra planta de generación no deje de operar, ya que esa es la variable de más peso.

5.3.5 Periodo de recuperación del capital

Para nuestro escenario ideal nuestro Periodo de Recuperación tiene un valor de:

$$PRC = \frac{\$10,781,320.00}{\$5,604,252.00} = 1.923$$

Conclusiones

Siempre que se va a realizar un proyecto de inversión las empresas que se dedican a financiarlos analizan varios puntos, pero seguro de los más importante son los económicos, pues en la actualidad nadie invierte un peso sin saber si ese volverá a nuestras manos algún día con ganancias y mucho menos el contemplar que no volveremos a verlo.

El estudio económico nos mostró como resultado para nuestro escenario ideal un VNP positivo con valor de 65,895,316, con una TIR= 73.52% y una $R(C/B)=4.17$; estos índices nos muestran que nuestro proyecto es rentable, lo cual nos podrá ayudar para conseguir inversión ya sea por parte de algún programa de gobierno, así como nos abre la posibilidad que alguna empresa particular se interese en hacer una sociedad con el Municipio, lo cual también es bueno, ya que por los periodos de gobierno se pierden en muchos casos la continuidad de los proyectos.

El resultado de nuestro estudio de factibilidad económico-financiero nos muestra que, en general, desarrollar este tipo de proyectos puede llegar a ser una buena solución para el problema del manejo y disposición de los residuos, pues deja de ser una carga económica para la administración municipal y por si fuera poco trae ingresos al mismo, lo que ayuda a mejorar la calidad de vida de la población.

Conclusiones Generales.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

Conclusiones Generales

Como resultado del estudio de la evolución en la generación, clasificación, manejo adecuado y problemática de los residuos se puede concluir que;

La problemática en la generación de residuos seguirá siendo un tema de preocupación mundial hasta que no se generalice la idea de reincorporarlos de manera amigable a los ciclos naturales.

El romper con el equilibrio que conservaba la naturaleza a partir de la revolución industrial provocó grandes problemas de salud, social, político y económico y nos tomará décadas poder detener su avance y las afectaciones producidas.

Con respecto al tema del manejo adecuado de los residuos, debemos de utilizar las opciones que nos brinda el adelanto tecnológico, emulando la naturaleza y crear nuestros propios ciclos para reintegrar los residuos producidos en cada uno de nuestros procesos productivos a nuevos ciclos para optimizar nuestros recursos.

El principal problema al cual se debe enfrentar este tipo de proyectos es la falta de educación ambiental de la población, cuyo resultado es la poca o nula colaboración en estos, esta problemática puede disminuir si aparte de programas de educación a la población se implementan una serie de estímulos que permitan la integración de la población a dichos programas.

En el caso del tratamiento biológico de los RSU y RME, que aparentemente puede parecer que es un gasto extra innecesario para el sistema de manejo, sin analizar las posibles ventajas económicas y sociales que representan este tipo de proyectos. La importancia radica en la elaboración de proyectos que permitan captar dichas ventajas, presentándolos de manera rentable para el municipio.

Una de las grandes barreras que presentan este tipo de problemas a nivel municipal, son los cortos periodos de gobierno (3 años), que no garantizan la continuidad de los proyectos realizados por la administración en turno.

En relación al estudio de los proyectos de aprovechamiento energéticos de los residuos se puede decir que;

El tratamiento biológico de la fracción orgánica de los RSU y RME, permite ofrecer una solución a largo plazo en el manejo integral de dichos residuos, así como provee de beneficios económicos, políticos y sociales a un municipio.

La principal ventaja entre el tratamiento biológico que puede proporcionar la implementación de un digestor con respecto a un rellenos sanitario, es el mejor control que se tiene con respecto a los residuos, además que permite controlar las variables para la optimización de la producción de biogás.

Actualmente en México se está poniendo de moda la captura de biogás en rellenos sanitarios que llegaron al fin de su vida útil, debido al proyecto exitoso Monterrey I, el cual produce una cantidad tal de biogás, que permite la generación de energía eléctrica necesaria para mover el metro de la ciudad de Monterrey, y por ello muchos municipios están optando en acondicionar sus rellenos sanitarios para utilizar ese proceso sin analizar otras opciones de tratamiento de mejor eficiencia probada en otros países.

La construcción de digestores industriales para el aprovechamiento energético de la biomasa en México, solo se utiliza actualmente con residuos ganaderos, principalmente porcinos, poco o nulo es el caso del uso de RSU, cuya principal característica es el control de las variables para la producción de biogás.

En un relleno sanitario, preparado desde su inicio para la captura de biogás, al estar al intemperie y al tener poco control con los niveles de humedad y temperatura de los residuos, la producción de biogás comienza a partir de los tres años, no así al implementar un digestor, pues cuidamos las variables de temperatura y humedad, así como podemos usar aguas residuales para el proceso y como resultado, tenemos no solo producción de biogás, también de bioabono con el cual podemos reincorporar a las tierras de cultivo los minerales perdidos tras las cosechas.

El combustible más eficiente que tenemos, debido a su excelente combustión, es el gas natural, cuya composición es de 98% metano (CH₄), a partir de sus características se han desarrollado tecnologías muy eficientes usando este combustible para producir energía eléctrica. El biogás contiene aproximadamente un 60% de este mismo gas metano, lo cual nos permite utilizar gran parte de esta tecnología para producción de electricidad, la única diferencia es que se necesita limpiar un poco más, aunque el auge del aprovechamiento del biogás ha permitido el desarrollo de equipos muy eficientes que utilizan el biogás sin limpiarlo.

La metodología propuesta para la evaluación de nuestro proyecto nos permitió hacer más fácil la evaluación técnica y económica de nuestro proyecto, de la cual se puede afirmar que la realización de proyectos de este tipo trae consigo muchas ventajas;

1. Resuelve la problemática del manejo y disposición final de residuos
2. Es amigable con el medio ambiente ya que reduce la emisión de metano a la atmósfera y evita derrames de lixiviados al subsuelo, permitiendo que no se contaminen mantos freáticos.
3. Permite la entrada de ingresos al municipio, por la reducción de consumo eléctrico y venta de los excedentes de energía eléctrica y venta de bioabono.
4. Contribuye al cumplimiento de las normas vigentes, así como proporciona prestigio al municipio.
5. Mejora la calidad de vida de los habitantes, no solo por imagen pública y salud social, también porque estos proyectos proporcionan empleos temporales y definitivos.

Al final, mientras el hombre exista y los sistemas de producción y consumo no cambien, se seguirán produciendo residuos y si utilizamos estos como fuente de energía primaria para la producción de energía eléctrica, podemos considerarla como fuente de energía renovable, limpia y eficiente.

La evaluación técnica del proyecto en forma global fue satisfactoria, así como la evaluación económica y dichos estudios nos permitirán tener herramientas para solicitar el financiamiento del proyecto, obteniendo así múltiples beneficios para el municipio, no solo económicos, también beneficios sociales como son:

1. Correcto manejo de los residuos.
2. Cumplimiento de las leyes Mexicanas.
3. Mejor imagen.
4. Salud.
5. Creación de empleos.
6. Educación sobre el tema.
7. Ejemplo para otros municipios que puede inducir a un efecto dominó.

Es importante que además de realizarse los estudios de factibilidad técnica y económica, también se realicen los de factibilidad política y social, de manera tal que se evalúen los niveles de compromiso por parte del gobierno y las implicaciones sociales que podrían impedir que este tipo de proyectos se realicen y posibles soluciones o alternativas, así como evaluación técnica y económica de diversas alternativas para analizar cada una de las opciones con las que cuentan los gobiernos municipales para solucionar la problemática de manejo residuos y que estos puedan tomar la mejor decisión de acuerdo a sus necesidades específicas, tomando en cuenta sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✿ "Aguilar-Virgen, Q., Armijo-de Vega, C. y Taboada-González, P.2009. "El potencial energético de los residuos sólidos municipales". Artículo de Divulgación, Ingeniería 13-1 (2009) 59-62."
- ✿ Alejandra Castro, 2009. "Notas de clase". Compendio de presentaciones y material de clase preparado por la Dr, Alejandra Castro.
- ✿ Annamari Lethomäki, 2006. "Biogas production from energy crops and crop residues ". Jyväskylä studies in biological and environmental science. 91 pág.
- ✿ Aztimba Donaji Martínez Hernández, 2008. "Utilización de biodigestores para la reducción de gases de efecto invernadero". Tesis de Licenciatura UNAM, 161 pág.
- ✿ BANOBRAS, 2005. "ROGRAMA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES".
- ✿ Christian Ludwig, Stefanie Hellweg, Samuel Stucki, 2003. "Municipal Solid Waste Management, Strategies and Technologies for Sustainable Solutions". Springer, 334 pág.
- ✿ Diario Oficial de la Federación el 20 de octubre de 2004, "NORMA OFICIAL; NOM-083-SEMARNAT-2004".
- ✿ Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003, "LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS".
- ✿ FIRCO, 2007. "APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR AGROPECUARIO". SAGARPA, 76 pág.

- ✿ Francisco J. Cervantes, Jorge Saldívar-Cabrales y José Francisco Yescas, 2007. "Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura". *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3 (1): 3-12, 2007."
- ✿ Flotats X. Campos, 1997. "Aprovechamiento energético de los residuos ganaderos". *Departamento del Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, Universidad de Lleida*, 21 pág.
- ✿ Francisco José Colomer Mendoza, 2007. "Tratamiento y gestión de residuos sólidos". *Valencia, Limusa*, 328 pág.
- ✿ Fundación Hábitad, 2005. "Biodigestores: Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes". *Colombia*, 37 pág.
- ✿ Gabriel Moncayo Romero, 2008. "Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás". *Aqualimpia Beratende Ingenieure*, 720 pág.
- ✿ George Tchobanoglous, Hillary Theisen, Samuel Vigil, 1998. "Gestión integral de residuos sólidos". *McGraw-Hill*. 2 Tomos, 1107 pág.
- ✿ Gerard Kiely, 1998. "Environmental engineering". *McGraw-Hill International Editions, Chemical and petroleum engineering series*. 979 pág.
- ✿ Gerard Kiely, 1999. "Ingeniería Ambiental; fundamento, entornos, tecnologías y sistemas de gestión". *McGraw-Hill, España*. 1331 pág.
- ✿ Gobierno del estado de Jalisco, 2005. "Proyecto de Integración y Modernización del Transporte Público en Guadalajara, Jalisco. Memorandum Técnico 3. Análisis Económico Financiero".
- ✿ Günther Wehenpohl, 2004. "GUÍA DE CUMPLIMIENTO DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003". *SEMARNAT*, 58 pág.

- ✿ Günther Wehenpohl, 2006. "GUIA PARA LA ELABORACIÓN DE PROGRAMAS MUNICIPALES PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS". SEMARNAT, 50 pág.
- ✿ Guillermo J. Román Moguel, 2006. "DESARROLLO DE PLANES DE MANEJO DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL Y PELIGROSOS". Instituto Politécnico Nacional.
- ✿ Hernández H. Abraham, 2005. "Formulación y evaluación de proyectos de inversión". Thomson, 403 pág.
- ✿ Javier Bonilla, 2005. "Producción de electricidad con biogás". Centro Nacional Planificación Eléctrica Instituto Costarricense de Electricidad, 47 pág.
- ✿ José E. Ocampo Sámano, 2003. "Costos y evaluación de proyectos". Compañía Editorial Continental, 280 pág.
- ✿ "José L. Arvizu F. y Jorge M. Huacuz V., 2003. "Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad". Boletín IIE, octubre-diciembre del 2003. 128 -123 pág."
- ✿ José L. Arvizu F. y Jorge M. Huacuz V., 2004. "Metodología para la evaluación del potencial energético de los rellenos sanitarios". Segundo coloquio internacional de Energía de los residuos sólidos, 22 diapositivas.
- ✿ María del Carmen Espinosa Lloréns, 2007. "La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás". La Habana, Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 38, No. 1, 2007.
- ✿ Marttelo Araiza, Héctor A., 2008. "Propuesta de metodología para análisis de proyectos de cogeneración en Petróleos Mexicanos". Tesis de Maestría IPN, 220 pág.

- ✿ Raúl Fiscal Escalante, 2007. "Metodología de análisis para estudios de factibilidad técnicaeconómica en sistemas de generación eléctrica costa fuera". Boletín IIE, julio-septiembre del 2007, pág. 92 -97.
- ✿ Rafael López Ruíz. "Ingeniería Sanitaria aplicada al control, aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales". Facultad de Ingeniería, UNAM, 228 pág.
- ✿ Paul T. William, 2005. "Waste Treatment and Disposal". Second Edition, John Wiley & Sons, 380 pág.
- ✿ Parne Vesilind, William A. Worell, Debra R. Rein Hart, 2002. "Solid Waste Engineering". Thomsom Learning, 428 pág.
- ✿ Pérez Báez, J.A.. "Planta de biometanización de residuos biodegradables". Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 6 pág.
- ✿ SAGARPA, FIRCO, UACM, 2007. "Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el sector agropecuario". Claridades agropecuarias No. 168. Pág 3 - 40.
- ✿ Sánchez Machado R., 1998. "Evaluación de proyectos de inversión", Curso para Diplomados y Maestrías, Universidad Central de Las Villas.
- ✿ Santos Santos, T, 2008. "Estudio de factibilidad de un proyecto de inversión: etapas en su estudio" en Contribuciones a la Economía, noviembre 2008 en <http://www.eumed.net/ce/2008b/>
- ✿ SEDESOL, 2004. "MANUAL PARA EL MANEJO DE BASURA EN LOCALIDADES DE 100 HABITANTES, ALBERGUES Y CAMPAMENTOS". SEDESOL, 67 pág.

- ✿ SEMARNAT, 2002. "MINIMIZACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS". SEMARNAT, 230 pág.
- ✿ SEMARNAT, 2008. "Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos". SEMARNAT, 190 pág.
- ✿ "Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V. ""Aprovechamiento de los desechos sólidos municipales para la generación de Energía Eléctrica"". Octubre, 2002"
- ✿ Víctor Gutiérrez Avedoy, 2006. "Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, 113 pág.
- ✿ Xavier Elías Castells, 2005. "Tratamiento y valorización energética de residuos". Fundación Universitaria Iberoamericana Ediciones Díaz de Santos, 1228 pág.

REFERENCIAS DE INTERNET.

- ☀ Gestión Integral de Residuos Sólidos, Giresol: www.giresol.org
- ☀ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT):
www.semarnat.gob.mx
- ☀ Comisión Federal de Electricidad: www.cfe.com.mx
- ☀ Federación mexicana de ingeniería sanitaria y ciencias ambientales:
www.femisca.org.mx
- ☀ Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI): www.inegi.org.mx
- ☀ Instituto de Investigaciones Eléctricas: www.iiie.org.mx
- ☀ Instituto Nacional de Ecología: www.ine.gob.mx
- ☀ Secretaría De Energía: www.sener.gob.mx
- ☀ http://www.fing.edu.uy/imfia/ambiental/reactores_anaerobios.ppt
- ☀ Electro Sistemas Industriales S.A.: www.grupoesisa.com.mx
- ☀ Grupo Aqualimpia consultores: www.aqualimpia.com
- ☀ United Nations Framework Convention on Climate Change:
<http://cdm.unfccc.int/index.html>
- ☀ Tierra amor: <http://www.tierramor.org/>
- ☀ Universidad de Chile: <http://www.uchile.cl>

