



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGON

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DEL BIOGAS  
OBTENIDO DE LOS DESECHOS URBANOS**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: ELECTRICA - ELECTRONICA

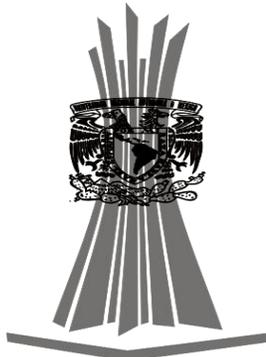
P R E S E N T A:

ESAUL DÁVALOS DÍAZ

ASESOR: ING. RODOLFO ZARAGOZA BUCHAIN

MEXICO

2012.





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mi familia por todo el apoyo incondicional que me han brindado y por ser mi fuente de motivación durante todo este tiempo, son el mejor regalo que tengo en la vida y tenerlos a mi lado siempre ha sido de vital importancia para mí. En los momentos más difíciles de mi vida, siempre me han tenido paciencia, comprensión y me han ayudado de la mejor manera posible; por lo que no me queda más que agradecerles sus enseñanzas y el tiempo que me han dedicado. Gracias por todos los momentos tan especiales que hemos compartido... Gracias, por darle sentido a mi vida.

A la UNAM, ya que esta institución me brindó muchas experiencias, tanto buenas como malas, pero que al final de cuentas me han dejado grandes enseñanzas. Gracias a ello, ahora me siento una persona más perceptiva de las cosas y del mundo que me rodea. Un ejemplo de ello es que ahora comprendo lo importante que es la Educación en toda la extensión de la palabra, ya que es la mejor base que una persona puede tener para enfrentar los problemas que hay en nuestra sociedad actualmente. Por lo tanto, agradezco a esta Universidad todo el conocimiento tan valioso que me han dado.

# ÍNDICE

TEMA	PAGINA
Objetivo.....	1
Objetivos particulares.....	2
Justificación.....	3
Introducción.....	5
Capítulo I: Los desechos urbanos un grave problema de contaminación.....	10
1.1 Introducción.....	11
1.2 Definiciones.....	13
1.3 Clasificación de la basura.....	14
1.3.1 Por el medio que contaminan.....	15
1.3.2 Por la facilidad de degradación.....	16
1.3.3 Por su estado físico y formal.....	17
1.3.4 Por su origen.....	17
1.3.5 Por su composición.....	19
1.4 El problema de la basura.....	19
1.5 Contaminación.....	20
1.6 Fuentes de basura.....	21
1.7 Recolección y tratamiento de basura.....	22
1.7.1 Planes y programas de recolección y tratamiento de la basura.....	23
1.7.2 Cultura de la basura.....	23

1.7.3	Conocimiento del problema en los ciudadanos.....	24
1.8	El caso de México.....	25
1.9	Impacto de la basura.....	28
1.10	Toneladas de basura.....	30
1.11	Impacto ambiental.....	31
1.12	Enfermedades ocasionadas por la basura.....	31
	Capítulo II: Aprovechamiento de los desechos en la producción del biogas.....	33
2.1	Introducción.....	34
2.2	La dimensión ambiental.....	34
2.2.1	Tratado de Kyoto.....	35
2.2	Tratamiento de la basura.....	36
2.3	Procesos de tratamiento.....	37
2.3.1	Compactado de los rellenos sólidos urbanos.....	38
2.3.2	Clasificación de commodities.....	39
2.3.3	Compost de los residuos orgánicos naturales.....	39
2.3.4	Incineración de los rellenos sólidos urbanos.....	40
2.3.5	Reducción por plasma de los rellenos sólidos urbanos.....	41
2.3.6	Tecnología de captación de metano.....	42
2.4	¿Qué es el biogas?.....	43
2.4.1	Biología de la producción de metano.....	43
2.4.2	Substratos para la producción de biogas.....	45
2.4.3	Composición y características del biogas.....	45
2.5	Requerimientos mínimos de diseño para un relleno sanitario.	50
2.5.1	Panorámica de los componentes de un relleno sanitario.....	51

Capítulo III: Procesos para la captación del Biogas.....	53
3.1 Introducción.....	54
3.2 Principios del funcionamiento de un relleno sanitario.....	55
3.3 Factores asociados a la generación del biogas.....	55
3.4 La producción del biogas.....	57
3.5 Captación pasiva y otros sistemas de captación.....	58
3.5.1 Sistemas de captación.....	60
3.5.2 Drenajes horizontales.....	60
3.5.3 Pozos verticales de gas.....	60
3.6 Colectores.....	61
3.7 Estación de bombeo, regularización y controles.....	61
3.8 Coberturas finales.....	61
3.9 Valoración energética y deshidratación del biogas.....	62
Capítulo IV: Generación de electricidad utilizando biogas....	65
4.1 Introducción.....	66
4.2 Generalidades.....	67
4.3 Biodigestores.....	67
4.4 Equipamiento para la generación de electricidad.....	72
4.5 Utilización del biogas.....	77
4.5.1 Utilización del biogas en el mundo.....	78
4.6 Refinación del biogas.....	79
4.7 Inhibidores de la producción del biogas.....	80
4.8 Aplicaciones del biogas.....	80
4.9 Acondicionamiento del biogas agua.....	81
4.9.1 H <sub>2</sub> S.....	81

4.10	Aprovechamiento de los efluentes.....	82
4.11	Tratamiento de los líquidos cloacales.....	83
4.12	Plantas de tratamientos de desechos industriales.....	83
	Conclusiones.....	91
	Glosario.....	94
	Bibliografía.....	98

## **OBJETIVO**

Dentro del presente trabajo de tesis, se desea hacer énfasis en el aprovechamiento de la basura y su correspondiente transformación de biogas a energía eléctrica aprovechable por el ser humano, de tal manera que, en un futuro no muy lejano, la basura deje de ser un grave problema para la sociedad, como se esta viendo en la actualidad, donde ya no se sabe que hacer con ésta y se comienzan a cerrar tiraderos de basura como el del Bordo de Xochiaca en el Municipio de Nezahualcóyolt que recientemente fue cerrado por su ya exagerada capacidad al limite. Esperando que en cambio la basura, este caso el metano que se desprende de la descomposición, sea la materia prima que nos permita obtener energía útil y para nuestro beneficio.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Dar una visión general de la problemática de la basura a nivel nacional.
- Enfatizar la toma de conciencia para minimizar el problema de los desechos de las grandes ciudades
- Mostrar las posibilidades del aprovechamiento de la basura para generar recursos energéticos útiles en la sociedad actual.
- Concientizar a la población y a las autoridades sobre el aroma tan desagradable y nocivo que representa, el flujo de gases que difunden los desechos urbanos en tiraderos al aire libre, dañando la capa de ozono y la salud de los habitantes a kilómetros a la redonda de la zona cercana al Bordo Xochiaca.

## **JUSTIFICACIÓN**

Inicialmente, es necesario aclarar que el concepto “basura” esta definido en algunos diccionarios como “suciedad”, “residuo desechado” y “cosa repugnante o despreciable”.

No obstante, estas definiciones encierran en si mismas actitudes que desestiman el gran tema de la basura. A la basura la hemos conceptualizado como algo despectivo, que carece de valor y de la que hay que deshacerse. Ante esto, tenemos que señalarlo, el sistema de educación tanto en nuestro país como en otros países, ha tratado de contrarrestar estas actitudes con educación, es decir, difundiendo conocimiento acerca del impacto que la basura tiene en la ecología.

Actualmente, es común encontrarse con niños o gente joven que tiene una conciencia más critica de lo que significa la basura en nuestro entorno, lo cual es un buen principio.

Sin embargo, el tema de la basura y su problemática en general son temas de los que diariamente se da cuenta en los medios de comunicación, como ha sido el caso del cierre del tiradero de basura del Bordo de Xochiaca, el cual esta afectando directamente al Distrito Federal. De acuerdo con las informaciones difundidas en estos medios, la basura es un problema que si no se atiende correctamente y con la prioridad adecuada puede ser una bola de nieve de dimensiones desconocidas.

Aunado a la dinámica de crecimiento demográfico de la población, una de las consecuencias que trae consigo el proceso de “globalización” en el que se encuentran inmiscuidas todas las sociedades del orbe, es el de que a medida que se industrializan dichas sociedades se generan en forma proporcional la producción de basura, tanto basura orgánica e inorgánica como desechos tóxicos.

La población que habita las ciudades de dichas sociedades puede percibir con creciente malestar el incremento de los problemas relacionados con la forma en que es tratada la basura, desde los insuficientes camiones recolectores, hasta el tratamiento no metódico de la misma. Hechos que se traducen en problemas relacionados con insalubridad, enfermedades infectocontagiosas, pobreza, marginalidad, etcétera.

Aunque es relativamente fácil cuantificar el numero de toneladas de basura que se producen, los datos disponibles revelan la importancia relativa que significa tratar de hallar una solución conjunta a la problemática que representa la basura, esto es, que la cantidad de basura

“Generación de energía eléctrica a través del biogas obtenido de los desechos urbanos”

crece, pero los espacios para almacenarla no, que la basura acumulada en grandes cantidades puede afectar el aire, el agua de los ríos, el agua de los mantos que utilizamos para consumo humano y el suelo de tierras de cultivo, entre otros problemas.

En nuestros municipios es relativamente nuevo el que se pretenda introducir una nueva cultura para tratar la basura, como es el de clasificar los desperdicios.

## **INTRODUCCIÓN**



Basureros Mexiquenses

La basura es todo material considerado como desecho y que se necesita eliminar. La basura es un producto de las actividades humanas al cual se le considera de valor igual a cero por el desechado.

Normalmente se la coloca en lugares previstos para la recolección para ser canalizada a tiraderos o vertederos, rellenos sanitarios u otro lugar. Actualmente, se usa ese término para denominar aquella fracción de residuos que no son aprovechables y que por lo tanto debería ser tratada y dispuesta para evitar problemas sanitarios o ambientales.

En pocas palabras se puede definir como basura a aquellos residuos:

- De comida
- Papel
- Trapos viejos
- Cosas rotas
- Otros desperdicios

En términos generales, se puede decir que la basura es todo aquello que sale cuando se barre.

En cualquier ciudad, por pequeña que ésta sea, se destinan espacios específicos para el depósito de la basura. En muchas ocasiones, estos depósitos quedan espacios abiertos y en ellos aparecen, rápidamente, múltiples agentes que aumentan el nivel de contaminación que dichos lugares producen.

Frecuentemente, en estas ciudades, se cuenta con un servicio de recolección y transporte que lleva la basura a los depósitos. Durante la recolección y después de ella, los desperdicios son espulgados por una cierta cantidad de personas (pepenadores), quienes escogen diferentes materiales que se pueden utilizar o vender a los que concentran estos productos

Bajo esta circunstancia, se podría decir que la basura es una fuente de enorme riqueza para unos cuantos. Los materiales son comprados por diferentes industrias que los trasforman o que reciclan; es decir, los ponen en uso nuevamente. Estos materiales suelen ser:

- Vidrio
- Metal
- Papel
- Pet
- Etcétera

En poco tiempo, los depósitos contienen básicamente toda aquella basura que no es reciclable o reutilizable, como:

- El plástico
- El poliestireno o PVC (cloruro de polivinilo)
- La gran cantidad de materia orgánica que se degrada lentamente.

Cuando los materiales orgánicos se echan a perder, producen gas metano en el proceso de descomposición

Los depósitos a cielo abierto liberan una gran cantidad de contaminantes químicos y biológicos

Entre los contaminantes químicos encontramos:

- Acido sulfhídrico
- Benceno

- Metano

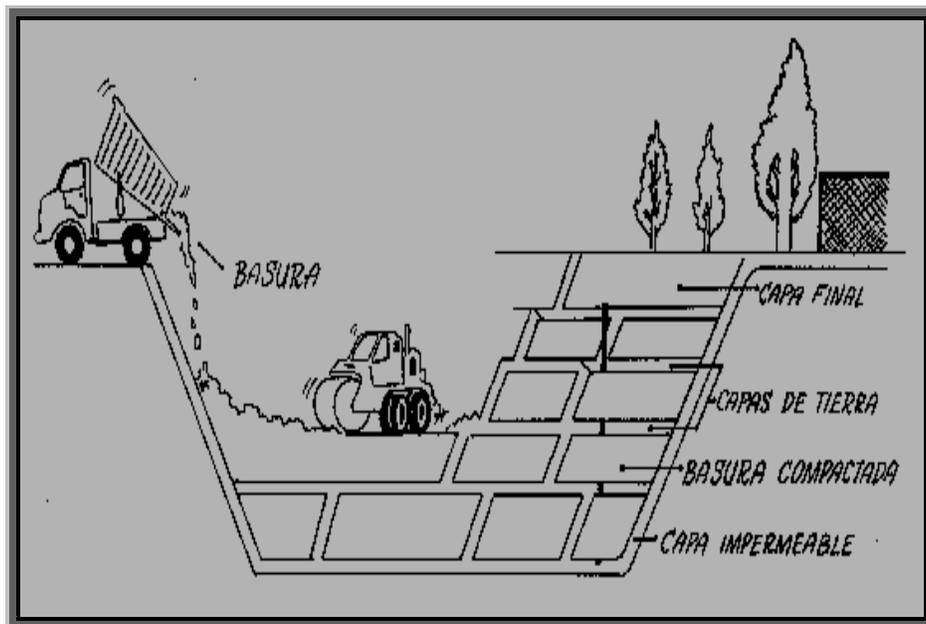
Entre los contaminantes biológicos podemos encontrar:

- Hongos
- Bacterias
- Insectos
- Ratas
- Etcétera

De la misma manera, la humedad que produce la basura orgánica o la que llega con las lluvias, acarrea los contaminantes hacia el suelo, desde donde penetra alcanzando, en la mayoría de las veces, el agua subterránea del manto freático, factor de suma importancia en el ciclo del agua.

En consecuencia, la contaminación producida en la superficie invade pronto la atmosfera, el suelo y el agua; representando así una importante fuente de deterioro ambiental en las zonas donde se establecen las comunidades.

De acuerdo con el grave problema que la basura representa, se recomienda que, para su manejo, los depósitos de basura se instalen en depósitos de rellenos sanitario; estos se forman sobreponiendo capas de basura y capas de arena compuesta, que reduzcan l acción contaminante.

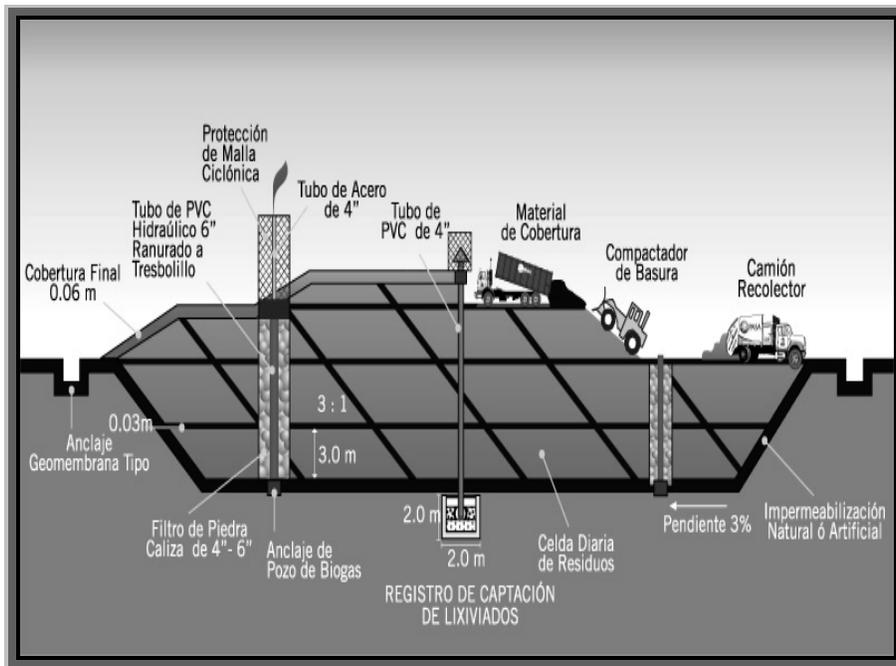


Confinamiento de un relleno sanitario.

Estos depósitos son removidos periódicamente mediante maquinaria especializada con el fin de evitar que los gases se concentren en algún punto formando un depósito inflamable que pudiera ocasionar accidentes

Los depósitos deber ser considerados en zonas en donde no sea fácil que la contaminación alcance los mantos freáticos como se muestra en la siguiente imagen, y estos deben estar lejos de las zonas urbanas.

Se les instala un sistema de drenaje para extraer los desechos líquidos y en el fondo se le recubre con lodo y arcilla sólidos, como el que se muestra en la siguiente figura.



Registro de captación de los lixiviados, basurero del ayuntamiento de Madrid

Por otro lado, en algunos sitios, la basura se incinera, con lo que la materia desaparece rápidamente del medio ambiente; sin embargo, los efectos en la atmosfera no se dejan esperar. Toda vez que la basura se conforma de una gran diversidad de productos degradables y no degradables, muchos de ellos liberan compuestos severamente nocivos.

Se han tomado, sin embargo, otras medidas de prevención como lo es la separación de desechos en orgánicos e inorgánicos para reciclar, reutilizar o como composta

Se hace necesario resolver este problema; la vía más rápida es la incineración, pero no es la más viable.

Recientemente, aparece una nueva modalidad para resolver el problema de la basura; ésta se refiere al aprovechamiento de todos los desechos, ya

sean degradables o no, convirtiéndola en biogas para la generación de electricidad. Además, de que este tipo de gas puede ser utilizado para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, también se emplea en estufas, secadores, hornos, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para tal efecto.

**CAPÍTULO I:**  
**LOS DESECHOS URBANOS UN**  
**GRAVE PROBLEMA DE**  
**CONTAMINACIÓN**

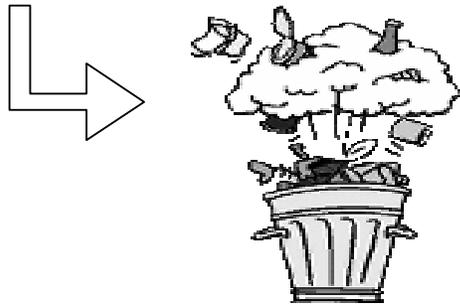
## 1.1 Introducción



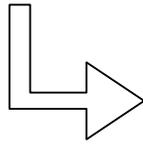
Fig. 1.1 Basura tirada en la calle Hacienda de la Noria, Edo de Méx.

La basura es un gran problema de todos los días y un drama terrible para las grandes ciudades, que ya no saben que hacer con tantos desperdicios que son, además, fuentes de:

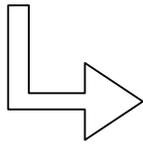
- Malos olores



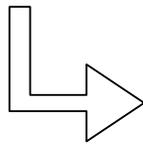
- Infecciones



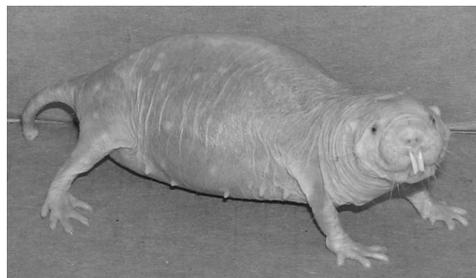
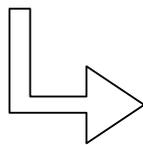
- Enfermedades



- Contaminación ambiental



- Alimañas



Además de ellos, hay que agregar el problema de la recolección y del almacenamiento de la basura, lo cual es un proceso muy costoso.

Recientemente, la reutilización y procesamiento de la basura a nivel casero, se ha ido organizando de tal manera que llegara el día en que los

desperdicios sean fuente de riqueza para las comunidades que los generan, en vez de ser un problema sin solución.

El hombre comenzó a utilizar las materias por mas de una forma desordenada, con la excusa del desarrollo humano, esto ha producido la proliferación de insectos, roedores y microorganismos patógenos, trayendo como consecuencia enfermedades graves a la salud; algunas de ellas catastróficas, como es el caso de la peste.

Observando esto, se vio que el hombre no podía desentenderse tan fácilmente de la basura que originaba y ya que no eran un conjunto de cosas inútiles, sino que de ellas se podían extraer materias primas, reutilizables, se empezó a utilizar el término residuo.

Se calcula que cada persona produce una medida de 1kg de basura por día. La mayoría de los residuos sólidos urbanos que produce la sociedad esta constituida por materiales que pueden ser clasificados con facilidad:

- Papel
- Cartón
- Vidrio
- Plástico
- Trapos
- Materia orgánica
- Materia inorgánica

## **1.2 Definiciones**

La palabra basura proviene del latín “versura” que significa barrer. Por esto se puede decir que el significado origina “lo que se ha barrido”.

En general, la basura es todo material considerado como desecho y que se necesita eliminar. La basura es un producto de las actividades humanas al cual se le considera de valor igual a cero por el desechado. No obstante, debe ser odorífica, repugnante e indeseable; esto depende, por supuesto, del origen y la composición de esta.

Normalmente, la basura se coloca en lugares previstos para la recolección; esto, para ser canalizado a tiraderos o vertederos, rellenos sanitarios a algún otro lugar específico.



Fig. 1.2 Contenedor de basura

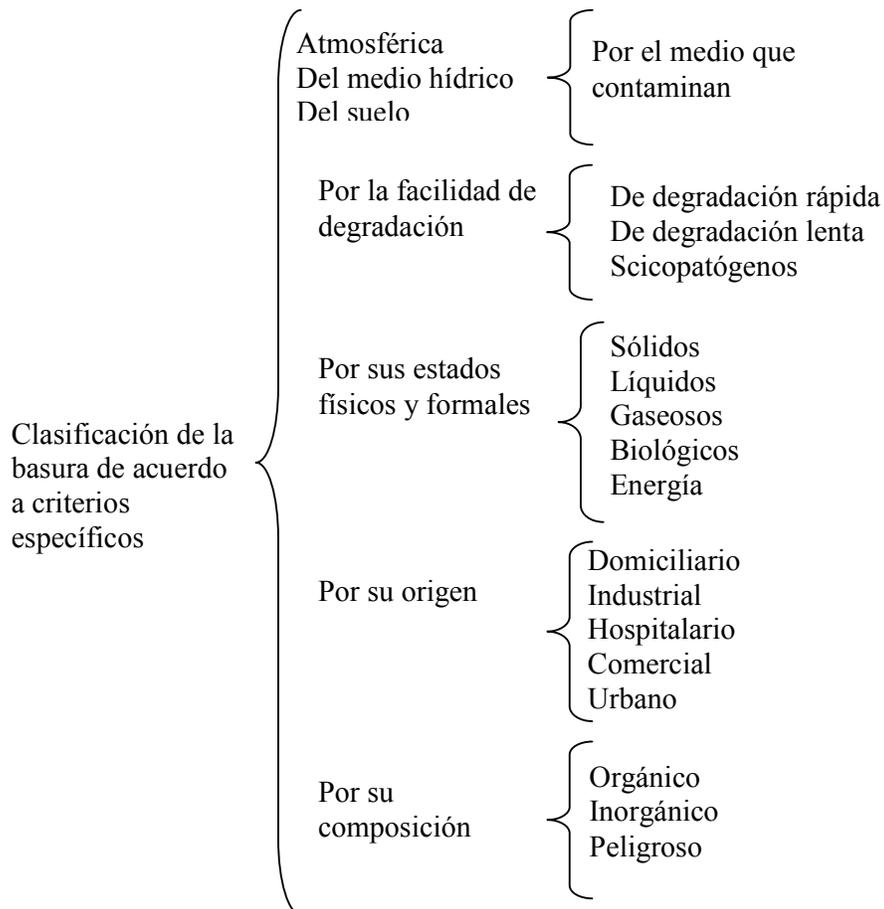


Fig. 1.3 Vertedero de basura

Actualmente, la basura es un termino utilizado para denominar aquella fracción de residuos que no son aprovechables y que, por lo tanto, debería ser tratada y dispuesta para evitar problemas sanitarios y/o ambientales.

### 1.3 Clasificación de la basura

Una manera sencilla de clasificar a los residuos (la basura), es a través de criterios específicos; esto, nos da la facilidad de agrupar los desechos de acuerdo con características comunes. Estas es la siguiente:



### 1.3.1 Por el medio que contaminan

Según el medio que contaminan, hablamos de tipos de contaminación: tales como:

- Atmosférica
- Del medio hídrico
- Del suelo

La contaminación atmosférica es la debida a las emisiones a la atmosfera terrestre. Los contaminantes principales son los productos de procesos de combustión convencional en actividades como:

- Transporte
- Industriales
- Generación de energía eléctrica
- Calefacción
- Evaporación de disolventes orgánicos
- Emisiones de ozono y freones



Fig. 1.4 Imagen de un mundo extremadamente contaminado

La contaminación del medio hídrico se refiere a la presencia de desechos en el agua (ríos, mares y aguas subterráneas). Los contaminantes principales son los vertidos de desechos industriales y de aguas servidas: en las primeras se encuentra la presencia de metales y evacuación de aguas a elevada temperatura; en la segunda, se refiere al saneamiento de poblaciones.



Fig. 1.5 Desechos industriales tirados al mar contaminando la bahia Acapulco Guerrero

La contaminación del suelo se genera cuando hay presencia de desechos en el suelo; estos residuos son debidos principalmente, a:

- Actividades industriales, tales como almacenes y vertidos ilegales
- Vertido de residuos sólidos urbanos
- Productos fitosanitarios empleados en agricultura, tales como abonos y fertilizantes químicos
- Purines de las actividades ganaderas

### **1.3.2 Por la facilidad de degradación**

De acuerdo a la facilidad o tiempo de descomposición, los residuos pueden ser:

- De degradación rápida
- De degradación lenta
- Psicopatógenos

Los de degradación rápida son aquellos que, al entrar en contacto con el ambiente, contaminan por un tiempo breve; tal es el caso de la basura y de las aguas negras.

Los de degradación lenta son aquellos que, por su estructura, no permiten una transformación inmediata. Entre ellos están los residuos nucleares, los insecticidas, los aceites y el petróleo.

Los desechos psicopatógenos son aquellas manifestaciones que dañan la salud de los seres vivos, perturbando su estructura orgánica y sistema nervioso. Por ejemplo: el ruido produce angustia, inestabilidad y modifica el medio.

### 1.3.3 Por su estado físico y formal

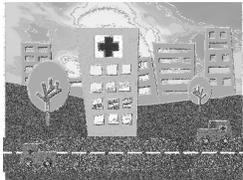
De acuerdo a su estado físico y formal, los residuos pueden ser:

- Sólidos. Polvo, cenizas, residuos, desperdicios, basura, detergentes, chatarra.
- líquidos. Aguas residuales, aguas negras, aceite, petróleo crudo, fertilizantes, plaguicidas
- Gaseosos. Humo, gases, smog y aerosoles.
- Biológicos. Microorganismos en general, como bacterias, virus y hongos.
- Energía. Calor, radiactividad, ruido, residuos naturales.

### 1.3.4 por su origen

De acuerdo a su origen, los residuos pueden ser:

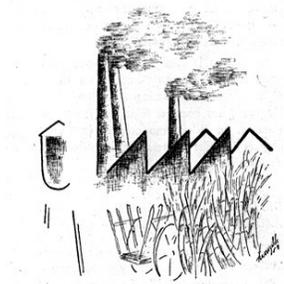
- Domiciliario
- Industrial
- Hospitalario
- Comercial
- Urbano
- Tecnológico
- Agropecuario



→ Hospitalario



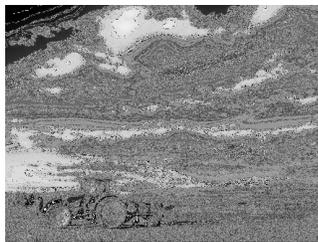
→ Domiciliario



Industrial



Comercial



Urbano



Tecnológica



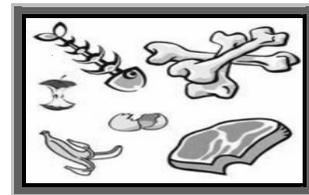
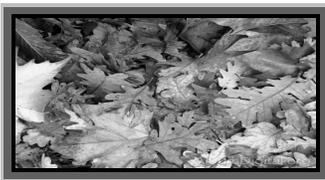
Agropecuario

### 1.3.5 Por su composición

De acuerdo a su composición, los residuos pueden ser:

- orgánicos
- inorgánicos
- Peligrosos

Los desechos orgánicos es todo aquel de origen biológico, que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, tal como hojas, ramas, cáscaras, semillas de frutas, huesos. Sobras de animales, etcétera.



La basura inorgánica es todo de origen no biológico, ya sea de origen industrial o algún otro proceso no natural, tal como: plástico, telas sintéticas, etcétera.



Fig 1.6 botellas de plástico y pet

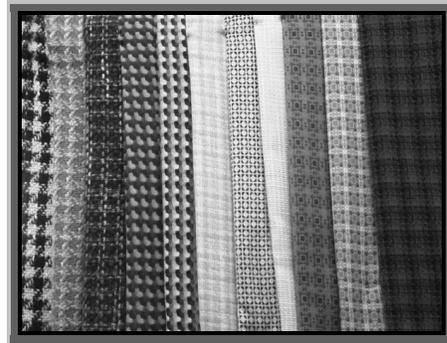


Fig. 1.7 Telas y tiras de polietileno

Los desechos peligrosos son todos los desechos, independientemente de su origen, que constituyen un peligro potencial y por lo cual deben ser tratados como tales; ejemplos de ellos son: el material infeccioso, material radioactivo, ácidos y sustancias químicas corrosivas.

### 1.4 El problema de la basura

La basura constituye un problema para muchas sociedades; sobre todo, para las grandes ciudades así como para el conjunto de la población en general, y a nivel mundial.

La sobre población, las actividades humanas modernas y el consumismo han acrecentado significativamente la cantidad de basura que generamos; si a esto se le agrega el ineficiente manejo que se hace de la basura, provoca problemas tales como:

- Contaminación; lo que provoca problemas de salud y daño al medio ambiente
- Conflictos sociales
- Conflictos políticos

Antes de convertirse en basura, los residuos han sido materias primas que, en su proceso de extracción son, en su mayoría, procedentes de países en desarrollo. En la producción y consumo, se ha empleado agua y energía. Y solo siete países, que representan el 20% de la población mundial, consumen más del 50 % de los recursos naturales de nuestro planeta.

Por otro lado, la sobreexplotación de los recursos naturales y el incremento de la contaminación, amenazan la capacidad regenerativa de los sistemas naturales.

### 1.5 Contaminación

La contaminación es la introducción de un medio cualquiera de un contaminante; es decir, la introducción de cualquier sustancia o forma de energía con potencial para provocar daños, irreversible o no, en el medio inicial.



Fig. 1.8 Una gran variedad de desechos vertidos en nuestro planeta.

Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente que pueda ser nocivo para la salud, para la seguridad o para el bienestar de la población; también, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal; o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación o goce de los mismos. Estos agentes pueden ser:

- Físicos
- químicos
- Biológicos
- Combinación de algunos de los anteriores

La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas, gaseosas o mezcla de ellas; siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público.

Se puede decir que la contaminación es:

- Ensuciar parte del ambiente que nos rodea, envenenarlo
- Altera los ciclos normales de la naturaleza
- Romper las cadenas alimenticias y privar de oxígeno a los seres vivos.

### 1.6 Fuentes de basura

Los residuos urbanos son, sin duda alguna, la fuente masiva de producción de la basura, seguidas por las industrias. La calidad y la cantidad de los residuos urbanos se relacionan directamente con el nivel socioeconómico de la población.



Fig 1.9 basura no separada en orgánica e inorgánica

En promedio, una persona produce su propio peso en basura cada tres meses, y en veinte días, su volumen, pero esta también es dependiendo de las condiciones sociales de cada persona.

### **1.7 Recolección y tratamiento de basura**

En nuestros municipios no hay aun un tratamiento para los desechos sólidos de la basura, la recolección se hace diariamente en todos los municipios, con los vehículos destinados para este y diariamente pasan los tricicleros quienes también para la comodidad de las personas pasan diariamente en cada colonia, estos tienen un precio aunque aun no disponible de una tarifa en especifica ya que el ciudadano es quien les da una ayuda o cooperación voluntaria cada vez que recolectan la basura.



Fig. 1.10 recolectores de basura del estado de México.

Aunque las personas no se encuentran muy satisfechas con el servicio que presta el gobierno con los vehículos de la limpia publica, no tiene dificultades para tirar su basura, debido al servicio que prestan los tricicleros independientes.

### **1.7.1 Planes y programas de recolección y tratamiento de la basura**

La Dirección de Servicios Públicos presenta la campaña de descacharrización que consiste en recoger basura especial como:

- Trozos de madera
- Llantas
- Muebles
- Escombros
- Colchones
- Cubetas
- Ollas inservibles

Teniendo como base el grave problema de la acumulación de basura en los drenajes pluviales y ofrecer a la ciudadanía sin costo alguno este servicio, para crear conciencia en la ciudadanía de su participación en el cuidado del medio ambiente, para conservar los municipios y saludables, y principalmente para evitar el criadero del mosquito del dengue.

También existe un apoyo a la ciudadanía que consiste en la recolección colectiva del servicio de basura ordinario.

En cuanto a los tratamientos los municipios aun no tienen algún programa de tratamiento de la basura.

### **1.7.2 Cultura de la basura**

La eterna realidad en esta sociedad hoy en día, es la de la basura. Miles y miles de toneladas de la misma fluyen diariamente y sin noticia, basura Bio-degradable, orgánica e inorgánica. La respuesta de las personas ha sido siempre la misma. La basura me descontrola. Simplemente desecho todo lo que no me sirve.

La mayoría de las personas sabemos como se clasifica la basura, pero normalmente nunca lo hacemos, llámese flojera, falta de espacio o falta de cultura, no nos importa tirar por tirar, ni siquiera reciclar, tampoco respetamos nuestro entorno pues lo ensuciamos cuanto podemos y cuanto nos guste pero siempre nos quejamos de que nuestras calles nunca están limpias y se nos hace mas fácil echarle la bolita a nuestras autoridades diciendo que falta mas personal, y nunca nos ponemos a pensar que todo esto nosotros lo podemos evitar como simplemente tirando la basura en los lugares que corresponden.

Al igual que muchos de nosotros, la imagen de un ambiente natural descuidado descompone tanto a las diferentes ciudades locales, como al visitante o a los turistas.

En conclusión puedo decir que no es falta de cultura por parte de las personas, sino de los “monopolios” que existen en los basureros, estos son los encargados de expulgar la basura y sacar todos aquellos desechos que se puedan vender. En el 2011, el Instituto Politécnico Nacional (IPN) presentó el diagnóstico del Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) donde determinó, entre otros resultados, que en el Estado de México se generan, en promedio, 25 mil 439 toneladas diarias de residuos sólidos, de los cuales los denominados LOS REYES DE LA BASURA un grupo de recolectores los cuales están al servicio de recolección de basura está concesionado a particularmente. De acuerdo con reportes de las propias autoridades, operan unas 40 uniones de recolectores que sectorizan la zona metropolitana, pero es Lizandro Tapia, apodado "El Rey de la Basura", quien mantiene el monopolio en este sector, al grado tal, que incluso logró financiamiento de dependencias estatales y federales para adquirir una planta recicladora de desechos. Dando como resultado un gran problema de monopolio en los basureros.

Es por eso que la culpa es de los monopolios existentes en los basureros y NO DE NOSOTROS por una falta de cultura.

### **1.7.3 Conocimiento del problema en los ciudadanos**

La mayoría de las personas tira basura en lugares públicos y en lugares prohibidos y con muy poca frecuencia limpian sus calles al igual que ellos tienen algunas dificultades para tirar su basura; concluyendo que no están satisfechos con el servicio de limpia pública.

Hace algunas décadas, el progreso estaba asociado al deterioro ambiental. A nadie escandalizaba que el signo de éxito de las ciudades se representara por la presencia de múltiples fábricas. Tal parece que es un signo del hombre el dejar deterioro y basura para demostrar que es poderoso y que tiene éxito.

Sin embargo, no podemos continuar produciendo diariamente miles de toneladas de basura en las diferentes ciudades del mundo, que deben ser manejadas y procesadas con el consiguiente gasto de energía y producción de contaminantes.

En la basura podemos encontrar varios tipos de desechos, producto generalmente de nuestra forma de vida. Al mismo tiempo que disponemos de más aparatos para hacer nuestra vida más confortable, nos hemos ido aficionando a la adquisición de objetos útiles e inútiles, primorosamente empacados en envolturas extravagantes y costosas. Preferimos aquellos productos que vienen envueltos individualmente y con cubiertas poco o nada biodegradables o reciclables. Parece que nos encanta comprar bebidas en envases no retornables para evitarnos la molestia de devolver el envase para que pueda ser reutilizado varias ocasiones.

De tal manera nos hemos ido acostumbrando a ciertas “comodidades” que por momentos consideramos que son indispensables para llevar a cabo las tareas de nuestra vida moderna.

Antes de seguir desarrollando esta clase de hábitos sería conveniente conocer, por ejemplo, los diferentes tipos de empaques que desechamos como basura y el efecto que tiene en el medio ambiente.

### 1.8 El caso de México

El gobierno del Distrito Federal reporta que dispone de lo siguiente:

Superficie de los rellenos sanitarios (Ha)	Vehículos recolectores
37	2011

Las legislaciones nacionales, la pobreza, la baja preocupación por el ciudadano del ambiente y el gran interés de las empresas por hacer grandes negocios produciendo mas y ahora, nos ponen en una delicada situación respecto a la producción y liberación de materiales peligrosos.

El mayor problema lo genera el otro tipo de basura que producimos y que se conforma principalmente de:

TIPO DE BASURA	USO Y CARACTERÍSTICAS
Madera y tela	Se utilizan para empacar alimentos, fertilizantes, alimentos secos, refacciones y autopartes, en forma de costales o como cajas de madera. Se pueden comprimir o prensar y se degradan y

	arden con facilidad. Son completamente biodegradables en periodos largos, se puede reutilizar varias veces y aun no es redituable su reciclaje
Envolturas y bolsas de papel	Ampliamente utilizadas en la mayoría de las tiendas y almacenes. Son difíciles de utilizar mas de una vez y casi siempre terminan formando basura. Se pueden prensar disminuyendo considerablemente su volumen en la basura, incinerar o pulverizar y son completamente biodegradables a largo plazo. La mayoría de las fibras de papel se pueden transformar mediante procesos de reciclaje, aunque no es suficientemente redituable todavía.
Botellas y envases de vidrio	Se emplean para empacar bebidas (envases retornables) y cosméticos u otro tipo de productos (no retornable). Al incinerarlos se derriten, se pueden pulverizar y reutilizar. Permanecen inertes en la basura pero pueden ser reciclados para la fabricación de vidrio nuevo y de productos abrasivos.
Botellas, bolsas y películas de polietileno	Ampliamente utilizados en el empaque de sólidos y líquidos, no se degradan y permanecen inertes en la basura por mucho tiempo. Al incinerarse pueden producir gases tóxicos y se derriten. En general no son reciclables pero pueden utilizarse varias ocasiones.
Papel celofán y celulosa	Se utilizan en envolturas de regalos y golosinas. Se comportan como la mayoría de los productos de papel en la basura pero no son recuperables después de ser usados
Cajas de cartón y cartulina	Se emplean principalmente como envoltura externa y como o parte de exhibidores de productos. Se descomponen lentamente en la basura y se pueden procesar de la misma manera que el papel (pulverización e incineración). Son completamente biodegradables y su reciclaje es más costeable que el del papel.
Papel encerado	Se utiliza para envolver bocadillos, panes y dulces. Su degradación en la basura es mas lenta que la del papel aunque puede procesarse de la misma manera que este (pulverización e incineración). Es completamente biodegradable a largo plazo y no

	es recuperable por reciclaje
Papel plastificado	Se utiliza en envolturas, cuadernos, tarjetas y artículos propagadísimos. El plástico que contiene no es degradable, no es recuperable y no se reutiliza.
Poliestireno	Muy utilizado como empaque de aparatos y equipo frágil (televisores, microscopios, computadoras, radios, etc.), así como de frutas y legumbres. Se utiliza con frecuencia para la elaboración de artesanías. Es muy ligero y puede permanecer inerte por mucho tiempo en la basura. Se puede incinerar mas no se derrite. Se puede reutilizar en los sistemas de aislamiento térmico pero aun no se cuenta con técnicas adecuadas para reciclarlo
Botes de aerosol	El bote de aerosol como gas no es reciclable, pero como metal si lo es.
Botes y laminas de aluminio	Los botes se utilizan para empacar diferentes tipos de bebidas y las hojas son ampliamente utilizadas en la cocina. No se degradan, pocas veces se vuelven a utilizar y su reciclaje es posible aunque aun demasiado costoso.
Cloruro de polivinilo (PVC)	Se emplea con frecuencia para el envasado de conservas y bebidas, así como de productos de tocador como champús y acondicionadores. Se comporta en la basura de la misma manera que el polietileno, excepto que al incinerarse produce emanaciones muy toxicas.
Botes de acero y de hoja de lata	Se usan con frecuencia para empacar alimentos, pinturas y solventes. Se degradan formando óxidos. Al incinerarlos solo se queman sus etiquetas. Se pueden comprimir, no son reutilizables pero anualmente se recuperan parte de ellas para obtener estaño.

## 1.9 Impacto de la basura



Fig. 1.11 Tiradero Bordo Xochiaca (Edo. de México)

La basura es un gran problema en nuestra sociedad actual, esa es una realidad indiscutible. Cada uno de nosotros colabora con su grano de arena (de basura); ha llegado al punto de que no sabemos como controlarla; separarla ni reciclarla.

- Esto, trae consigo: diferentes tipos de enfermedades
- Plagas
- Contaminación de las fuentes de agua (ríos, mares, etcétera)
- El aire que respiramos ya no es tan saludable
- Las ciudades se mantienen sucias
- Se debilita la capa de ozono, que protege a los seres vivos de la radiación ultravioleta del sol

Es lamentable que la humanidad no se haya considerado como parte de la naturaleza, que es la razón por la que no toma conciencia y no mide el daño que hace al planeta; al hacerlo, también el hombre sale perjudicado.

No obstante, eso parece no importarnos, destruimos hábitats naturales sin detenernos a meditar en todo aquello que conlleva a su destrucción. Lo único cierto en todo esto, es que somos culpables, pero al mismo tiempo nos hemos convertido en víctimas.

Algunas de las medidas para frenar esto serian las siguientes:

- La primera acción a tomar es concientizar a la sociedad
- Dar a conocer la necesidad de respetar nuestro entorno mas inmediato
- Reducir la cantidad de basura que se produce
- Limitar el uso de materiales perecederos como el agua o la de los productos que contengan gases
- Cuidar la flora
- Cuidar la fauna
- Trabajar los principales problemas medioambientales del planeta

En las grandes ciudades (de hecho, en todas en general), la basura lleva siendo un problema casi desde el origen de estas, debido a la alta densidad de la población y al hecho de arrojar la basura a las calles. Esto ha producido:

- La proliferación de insectos, roedores y microorganismos patógenos
- Deterioro y depreciación del entorno debido a la contaminación del aire del agua y del suelo
- La perdida de tierras agrícolas

Una familia urbana promedio (mas o menos de cinco integrantes), produce un metro cúbico de basura, lo que se traduce en términos de la ciudad entera, en alrededor de tres millones de metros cúbicos. Por otro lado, persisten los depósitos de basura sin control (se habla de cerca de seis mil tiraderos en lotes baldíos).

## 1.10 Toneladas de basura



Fig. 1.12 Camiones tirando basura antes de cerrar el tiradero de Xochiaca

Se calcula que cada persona produce una medida de 1 Kg. de basura al día. Si se toma en cuenta que la población mundial es aproximadamente de 6 millones, los cálculos son sorpresivamente drásticos (Datos obtenidos de un artículo publicado en [cronica.com.mx](http://cronica.com.mx), de fecha 15 de enero de 2012 “Millones de basura diaria, una problemática a nivel mundial”):

6,000,000 de personas x 1 Kg. = 6000000 Kg. de basura en el mundo en un día

6,000,000 Kg. de basura en el mundo en un día x 7 días = 42,000,000 Kg. de basura en el mundo en una semana

42,000,000 Kg. de basura en una semana x 4 semanas = 168 millones de kgs de basura en un mes

168 millones de kgs de basura en un mes x 12 meses = 2016 millones de kgs de basura al año.

La mayoría de los residuos sólidos urbanos que producimos esta constituido por materiales que pueden ser clasificados con facilidad:

- Papel
- Cartón
- Vidrio
- plástico
- Trapos

- Materia orgánica
- Etcétera

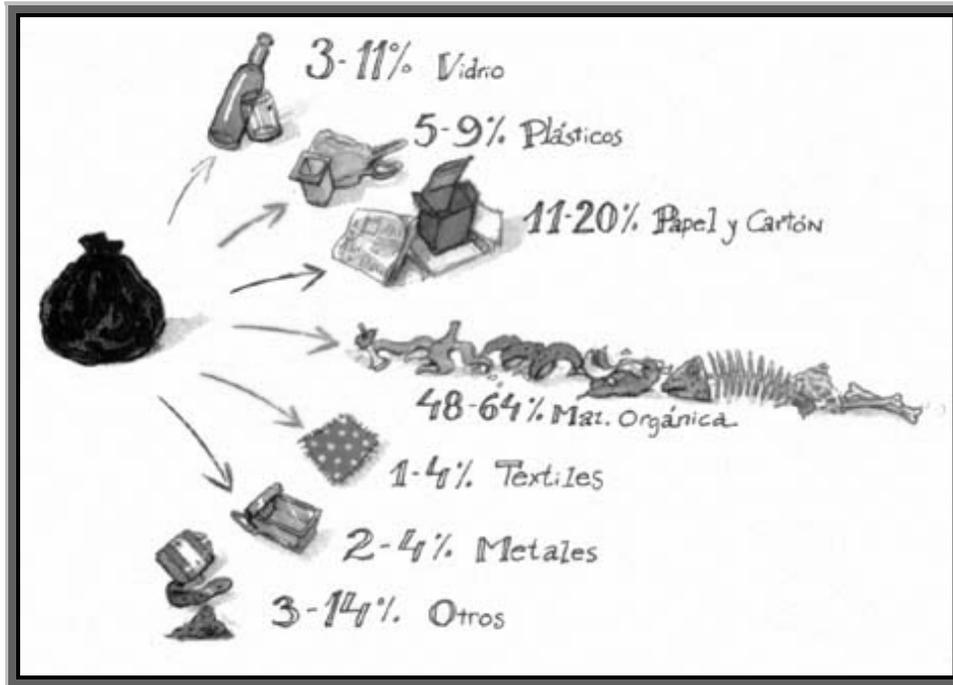


Fig. 1.13 porcentaje diario de los diferentes desechos urbanos en el DF y Estado de México.

### 1.11 Impacto ambiental

En el principio de los asentamientos humanos, la basura nunca fue un verdadero problema, ya que:

- Los residuos orgánicos seguían el ciclo de la vida, sirviendo de abono o de alimento para animales
- Los vertidos arrojados a los ríos eran depurados por las propias aguas

Hasta ese momento, el gran poder de la naturaleza aun no habido sido derrotado por el ansia de poder del hombre. Sin embargo, en la actualidad, este enorme poder natural, ha sido sobrepasado sin límites y la naturaleza no se da abasto con la cantidad de residuos que el hombre genera en su entorno

### 1.12 Enfermedades ocasionadas por la basura

La excesiva cantidad de basura generada en todo el mundo, da lugar a enfermedades, tales como:

- Infecciones respiratorias
- Infecciones intestinales
- Dengue clásico y dengue hemorrágico
- Ortitis aguda
- Conjuntivitis clásico hemorrágico
- Neumonía y bronconeumonía
- Gripe
- Intoxicación por plaguicidas

El efecto persistente de la contaminación del aire respirado, es un proceso silencioso de años, que conduce finalmente al desarrollo de afecciones cardiovasculares agudas, como el infarto.

Al inspirar partículas ambientales con un diámetro menor de 2.5 micrómetros, ingresan en las vías respiratorias más pequeñas y después irritan las paredes arteriales.

Los científicos e investigadores encontraron que por cada aumento de 10 microgramos por metro cúbico de estas partículas, la alteración de la pared íntima media de las arterias aumenta 5.9 %. El humo del tabaco y el que, en general, proviene de los caños de escape de los autos, producen la misma cantidad de esas partículas.

**CAPITULO II:**  
**APROVECHAMIENTO DE LOS**  
**DESECHOS EN LA**  
**PRODUCCION DEL BIOGAS.**

## **2.1 Introducción**

La producción diaria nacional de basura en el año 2011, de acuerdo a estadísticas proporcionadas por el Instituto Nacional de Ecología se estimó en 84,200 toneladas, de las cuales, sólo el 53% (44,600 toneladas) se depositaron en 51 rellenos sanitarios ubicados en ciudades medias, zonas metropolitanas y muy poco en localidades pequeñas. Esto representa un confinamiento anual en rellenos sanitarios de 16'279,000 toneladas. Con el biogás que ya produce la basura confinada en los últimos cinco años, sería posible soportar una capacidad de generación eléctrica cercana a los 80 MW. De esta forma, a lo largo de diez años la capacidad total de generación eléctrica podría ascender a 240 MW.

En el caso de que toda la basura actualmente producida fuera confinada en rellenos sanitarios, la capacidad de generación eléctrica por medio del biogás resultante podría llegar a los 400 MW para todo México. Conforme la población y la economía del país vayan creciendo, esta capacidad podrá también ir en aumento. Lamentablemente, excepto por un proyecto reciente de 8 MW en la ciudad de Monterrey, el biogás producido en el país no se aprovecha, por lo que más de 40 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> terminan incorporándose anualmente a la atmósfera con las implicaciones ambientales que conllevan: el metano tiene un impacto equivalente a 21 veces el efecto invernadero producido por el bióxido de carbono.

## **2.2 La dimensión ambiental**

El metano es uno de los constituyentes principales al inventario mundial de gases con efecto invernadero (GEI) a los cuales se atribuye en gran medida el cambio de clima observado en nuestro planeta. En México, la aportación de este gas al inventario nacional de emisiones es la segunda en importancia con un 23%; detrás del bióxido de carbono que proviene, principalmente, de la quema de combustibles fósiles y que contribuye con el 75%. Las principales fuentes de metano a nivel mundial son: la ganadería, el cultivo del arroz, las minas de carbón, los rellenos sanitarios, la quema de biomasa, las fuentes de suministro de combustibles fósiles y el venteo en las plantas procesadoras de hidrocarburos.

Para dar seguimiento a los acuerdos derivados del Protocolo de Kyoto, Las naciones comprometidas a reducir sus emisiones de GEI establecieron el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y han creado instrumentos como el Mercado de Bonos de Carbono. Los proyectos de captura de metano y su conversión a electricidad, son idóneos para tales mecanismos. Las emisiones actuales en México pueden ser negociadas con un valor que en el mercado internacional supera los cincuenta

millones de dólares anuales, con lo que podría financiarse la capacidad de generación correspondiente. Sin embargo, para que esto sea posible deben establecerse las reglas que den seguridad a las inversiones. De igual modo, se debe validar la información que sustenta las cifras anteriores y establecer los programas correspondientes para la ejecución de los proyectos.

### **2.2.1 Tratado de kyoto**

El tratado de Kyoto es un acontecimiento clave en el desarrollo de la energía eólica por la fuerte preocupación del sobre calentamiento global. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) de 1992 se definió la legislación internacional relacionada con los Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), los cuales se basan en reducir emisiones o capturar carbono. En 1997 se realizó la tercera conferencia de las partes de CMCC, la cual tuvo lugar en Kyoto Japón , donde se especificó el marco jurídico aplicable y se incluyen las decisiones adoptadas por las diferentes partes, que contemplan guías técnicas y de procedimiento.

Este fenómeno tiene como responsable a los gases invernadero que crean una capa capaz de retener radiaciones y por ende generar un aumento de la temperatura promedio de la tierra. El sobrecalentamiento es responsable de cambios climáticos que conllevan desastres colosales en todo el mundo.

Establecido en 1997, el Protocolo de Kyoto es un tratado internacional cuyo objetivo principal es lograr que entre los años 2008 y 2012 los países disminuyan sus emisiones de gases de efecto invernadero a un 5 % menos del nivel de emisiones del año 1990.

Si un país fallara en cumplir este mandato podría ser forzado a reducir su producción industrial. Si bien en sus inicios el Protocolo carecía de especificaciones, a partir de las reuniones negociadoras de Marruecos a Inés del año 2001, se definieron cinco puntos principales: compromisos legalmente vinculantes para países desarrollados; métodos de implementación del Protocolo diferentes de la reducción de emisiones (implementación conjunta); minimización de impacto en países en desarrollo (incluyendo asistencia en diversificar sus economías); reportes y revisiones por un equipo de expertos y cumplimiento evaluado por un comité.

El gas más importante, por lo menos considerando volumen de emisión, es el dióxido de carbono. La relación entre las emisiones y la generación de energía reside en el hecho que todas las centrales térmicas,

exceptuando la geotérmica y la nuclear, emiten grandes cantidades de  $\text{CO}_2$ .

## 2.2 Tratamiento de la basura

La recolección y disposición final de los desperdicios debe estar orientada a eliminar malos olores e insectos, especialmente las moscas; reducir la probabilidad de incendios; controlar a los roedores.

Para la recolección de la basura, se deben utilizar recipientes metálicos o plásticos con tapa. Estos deben de ubicarse en lugares contiguos a la vivienda.



Fig. 2.1 Basura separada, lista para su reciclaje, en botes de metal adecuados para esta tarea.

Asimismo, en la cocina se debe disponer de un recipiente con tapa que sea fácil de operar. La recolección debe ser diaria (por lo menos), para lo cual es útil disponer de un doble juego de recipientes que, una vez vaciados, deben ser lavados.

Con respecto de la disposición final, las condiciones locales determinan el sistema más económico y/o apropiado para cada tipo.

Para tratar la basura de manera eficiente, se hace necesario determinar las características de los residuos urbanos que hay que tratar.

Partiendo de esto, se requiere realizar cálculos básicos y decidir el tipo de tratamiento que debe llevar la basura para su aprovechamiento.

### **2.3 procesos de tratamiento**

Los inconvenientes que presentan los residuos sólidos urbanos en la actualidad son mayores que los presentados en el pasado; esto se debe, en general, al crecimiento del consumo en todos los estratos sociales.

Adicionado a lo anterior, se considera el incremento poblacional, derivando en el colapso de los sistemas de disposición tradicional de los residuos sólidos urbanos; siendo la mayoría tiraderos a cielos abiertos.

Con el correr del tiempo, fueron surgiendo alternativas con diferentes metodologías técnicas para el tratamiento de los residuos domiciliarios, ya sea el simple clasificado para recuperar algunos materiales de valor comercial, hasta otros más complejos para tratar ciertos residuos especiales.

Mientras que en Europa se desarrollaron plantas de disposición final de residuos, en las que se instalan hornos de incineración de última generación, con elevados costos de inversión. En Latinoamérica, las cosas son muy diferentes.

Se mejoran las técnicas de rellenos sanitarios hasta hacerlas seguras, se optimizan los procedimientos del clasificado para maximizar los resultados y así obtener productos de recuperación y reciclado para el mercado interno y externo; se busca darles a los residuos negativos, por medio de implementación tecnológica, alguna utilidad para reducir los volúmenes en los rellenos sanitarios.

A medida que toma mayor importancia e interés los problemas del efecto invernadero por la emanación de gases, se va poniendo mas énfasis en el tratamiento de los residuos orgánicos naturales contenidos en los rellenos sólidos urbanos; es así que ganan popularidad el tratamiento por compostaje y por biodigestión de estos residuos, con diferentes resultados en unos y otros.

Mientras que la composta, que se logra de los orgánicos de los residuos sólidos urbanos, no consigue alcanzar la cantidad que las normas requieren, la biodigestión consigue un desarrollo tecnológico mucho mas avanzado que la tecnología anterior.

Independientemente del debate entre criterios, las tecnologías de reducción de los residuos sólidos urbanos se pueden listar como sigue:

- Compactado de los rellenos sólidos urbanos
- Clasificación de Commodities

- Compost de los residuos orgánicos naturales
- Incineración de los rellenos sólidos urbanos
- reducción por plasma de los rellenos sólidos urbanos
- tecnología de captación de metano

### 2.3.1 Compactado de los rellenos sólidos urbanos

El compactado de residuos sólidos urbanos (RSU) es una técnica utilizada en pequeñas poblaciones, en donde hay muy poca generación de residuos sólidos urbanos. Se trata de una técnica de reducción de volumen de residuos sólidos por una vía de aumento en la densidad de los residuos sólidos urbanos recibidos.



Fig 2.2 compactado de RSU

El compactado consiste en prensar los residuos sólidos urbanos ingresados a la planta para posteriormente enviarlos a un relleno sanitario acondicionado para recibir los fardos previamente compactados en la planta.

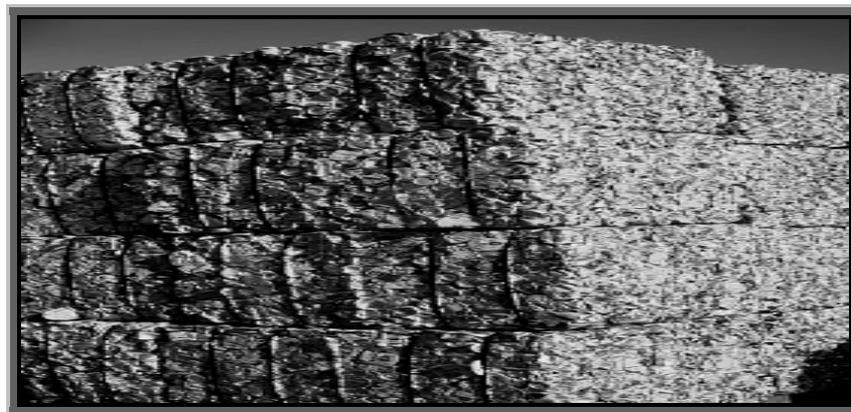


Fig. 2.3 RSU compactados

### **2.3.2 Clasificación de Commodities**

La clasificación de Commodities es una operación de separación de los materiales, llamados commodities y fácilmente comercializables de terceros.

Esta tecnología juega un papel importante, y esta acondicionada a una correcta caracterización previa de los residuos sólidos urbanos en función de conocer de antemano los materiales que serán clasificados.

Esto significará un diseño de cintas transportadoras y logísticas que estarán en relación directa con los objetivos comerciales que el responsable del emprendimiento disponga a tal fin.



Fig. 2.4 separación de los residuos también llamados commodities

### **2.3.3 Compost de los residuos orgánicos naturales**

El Compost de los residuos orgánicos naturales es una tecnología que solo debe ser aplicada sobre residuos sólidos orgánicos de corrientes generadoras conocidas y constantes.

Lamentablemente, en estos días, sigue ofreciéndose la tecnología del composta para ser aplicada sobre los residuos sólidos urbanos, a sabiendas de que el residuo orgánico contenido en ellas, tiene una alta posibilidad de contener contaminantes que hacen del composta obtenido, un abono no recomendable para labores en la agricultura.

Se supone que la tecnología del Compost de los residuos sólidos urbanos es solo una expresión de deseo, pues no existen antecedentes ciertos de su actual y continua producción.

### 2.3.4 Incineración de los rellenos sólidos urbanos

La incineración es una tecnología que podría ser aplicada siempre y cuando se efectúe en acuerdo a la legislación ambiental vigente. En algunos lugares, es aplicada en forma deficiente, puesto que carecen de tratamiento de gases y de los efluentes líquidos a generarse en el lavado de aquellos emitidos por el incinerador. Lo anterior provoca contaminación del agua de lavado.

La incineración de residuos sólidos logra una importante reducción de volumen, dejando un material inerte (escorias y cenizas) de cerca del 10% del inicial. El proceso, que se realiza en hornos especiales, emite gases durante la combustión, generara humo, cenizas y olores indeseables.

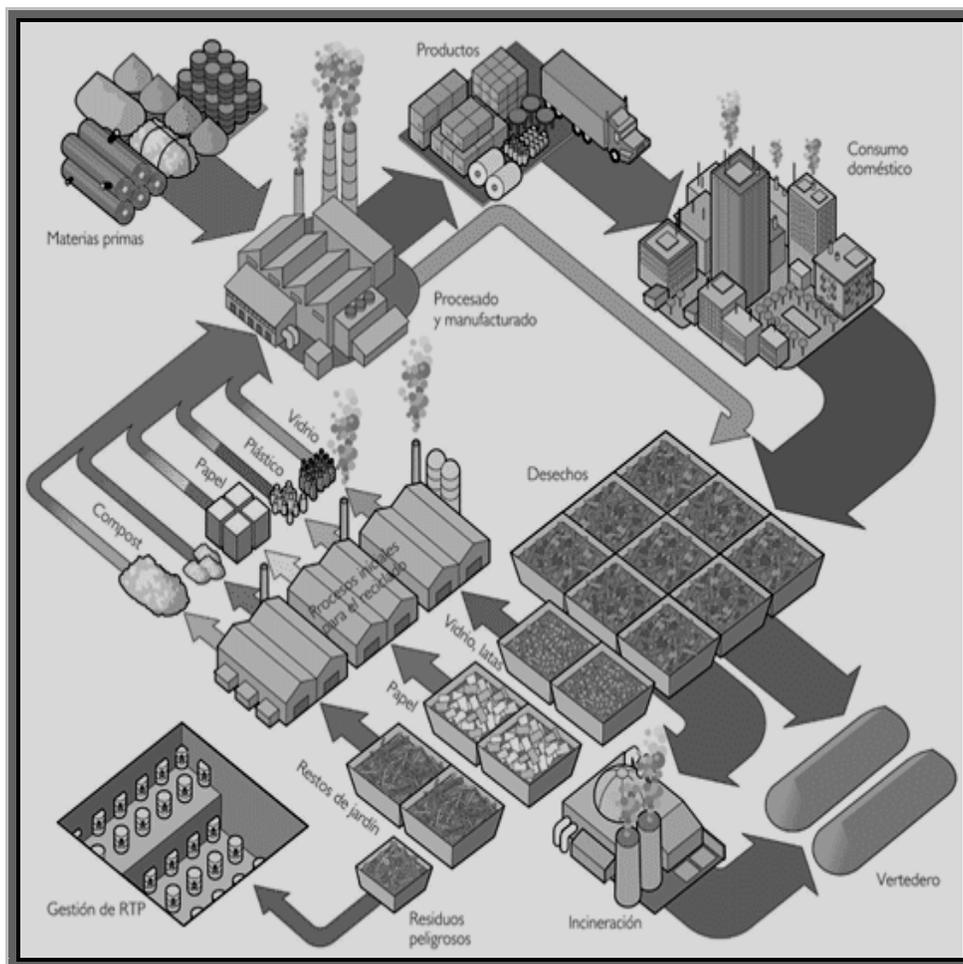


Fig. 2.5 Planta incineradora de basura

Esta técnica, a excepción de cuando se usa para los residuos hospitalarios, no es recomendable para los países en desarrollo, por las causas siguientes:

- Se requiere de un elevado capital inicial
- Tiene altos costos operativos
- Se necesitan técnicos bien calificados. Su operación y mantenimiento son complejos y presentan muchos problemas.
- No es flexible para adaptarse a tratar mayores cantidades adicionales
- En ocasiones, se requiere de combustible auxiliar, ya que el poder calorífico de la basura es bajo debido a su humedad
- Se requiere de equipo de control para evitar la contaminación del aire

### **2.3.5 Reducción por plasma de los rellenos sólidos urbanos**

El plasma es el cuarto estado de la materia y, de éste, se ha desarrollado la Tecnología de plasma de complejo diseño y equipamiento de alto costo.

Básicamente, la reducción por plasma de los rellenos sólidos urbanos, consiste en gasificar los residuos orgánicos y/o a los que contienen carbono y vitrificar a los residuos inorgánicos.

Esta transformación se produce por la acción de un arco voltaico que genera temperaturas superiores a las producidas en los incineradores pirolíticos, oscilando entre 12000 a 25000 °C en sus distintas zonas y que, al pasar por los rellenos sólidos urbanos por las mismas, se logra la transformación indicada.

Con los residuos orgánicos gasificados, y utilizando equipos adicionales, se puede obtener:

- Ácido clorhídrico
- Vapor
- Gas
- Etanol
- Agua destilada
- Energía eléctrica

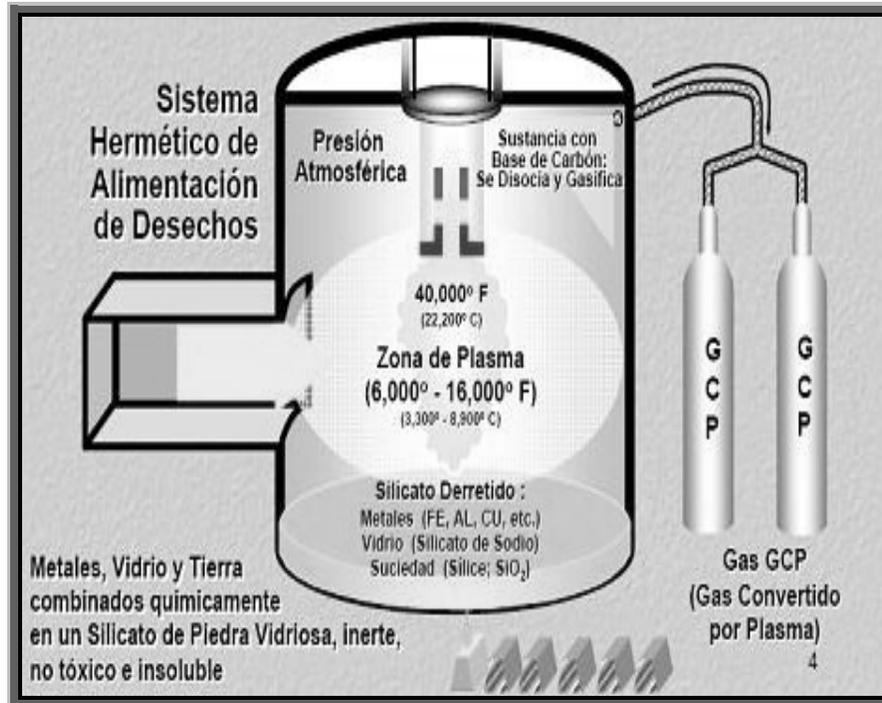


Fig. 2.6 Sistema hermético de alimentación de desechos

Por otro lado, con los residuos inorgánicos vitrificados, se puede conseguir un material similar a la arena y, entre otras cosas, se pueden fabricar materiales para la construcción.

### 2.3.6 Tecnología de captación de metano

La tecnología de captación de metano se presenta para el caso de la captación de este gas llamado Biogas, generado en los rellenos sanitarios controlados.

Se ha determinado que el metano es uno de los compuestos más contaminantes asociado con el efecto invernadero, por lo tanto el Instituto Nacional de Ecología en una estrategia para la reducción de estos gases, ofrece un mecanismo eficiente de mitigación del calentamiento global, que representa cerca del 18% de los gases de efecto invernadero en nuestro país.

La concentración de metano en la atmósfera se ha incrementado alrededor de 0.6% año, lo que representa actualmente más del doble en los últimos doscientos años (IPCC, 1990), en contraste con el bióxido de carbono, que incrementa su concentración en la atmósfera alrededor de 0.4%/año.

El metano tiene una vida media de once años en la atmósfera, mientras que el bióxido de carbono permanece más de 120 años (IPCC, 1992); así, que el metano con su alto poder de absorción las radiaciones y su vida corta, hace que tenga un impacto inmediato en el cambio climático. También, el biogás generado puede generar riesgo de explosión, incendio e intoxicación según sea la caracterización del mismo y el tiempo de exposición.

La importancia de la recolección y equivalencia a CO<sub>2</sub>, y su incidencia en el calentamiento global por su carácter de gas de efecto invernadero, se deduce del GWP (*gross warming potencial*)

## **2.4 Qué es el biogas?**

El biogas es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire). La generación natural de biogas es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogas es una fuente de energía renovable.

### **2.4.1 Biología de la producción de metano**

Para diseñar, construir y operar plantas de biogas (llamadas biodigestores) es necesario conocer los procesos fundamentales involucrados en la fermentación del metano. La fermentación anaeróbica involucra la actividad de tres diferentes comunidades bacterianas. El proceso de producción de biogas depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana, como por ejemplo la temperatura, como se muestra en la figura 2.7.

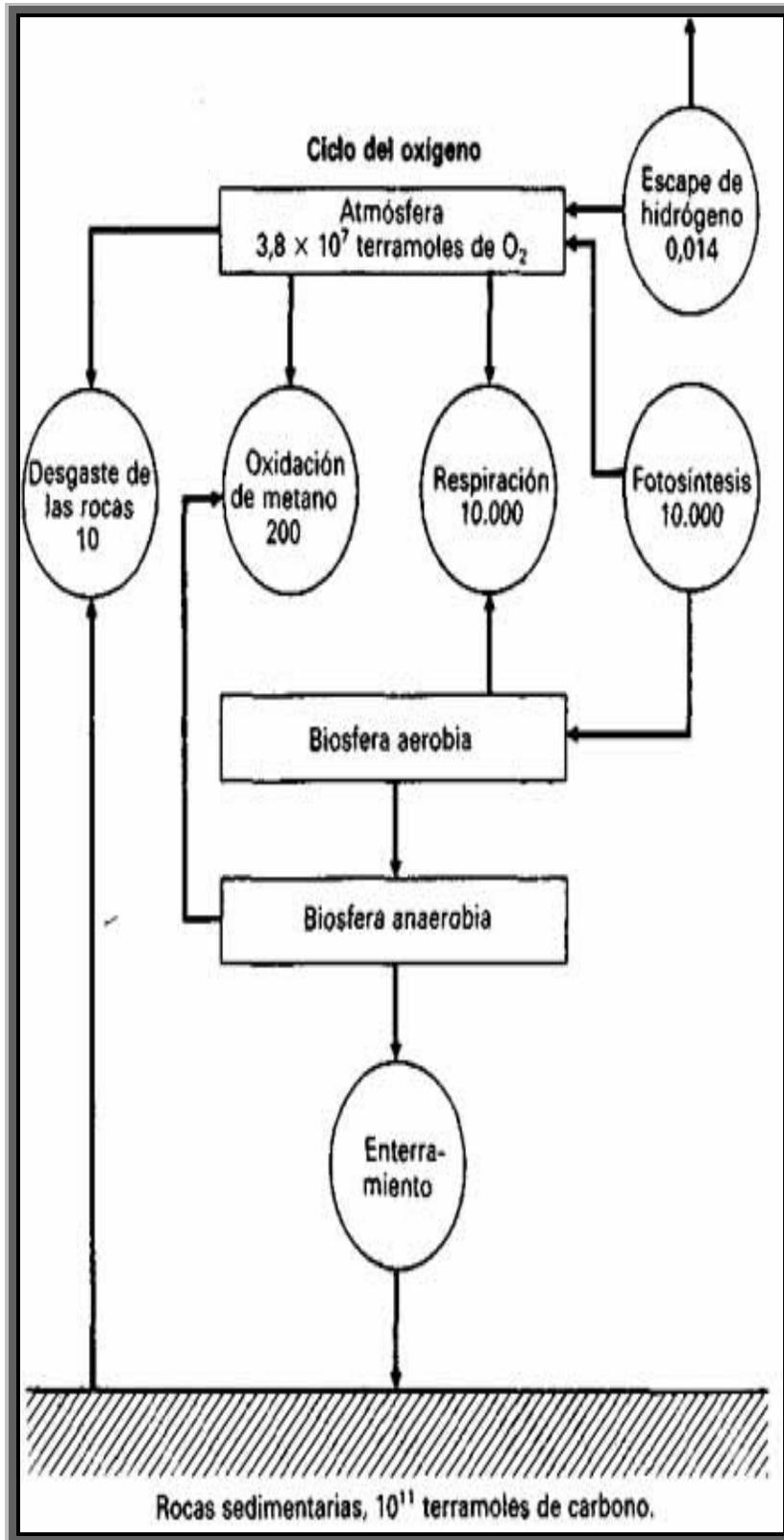


Fig. 2.7 Producción del metano

## 2.4.2 Substratos para la producción de biogas

El sustrato es el material de partida en la producción de biogas. En principio, todos los materiales orgánicos pueden fermentar o ser digeridos. Sin embargo, sólo algunos pueden ser utilizados como sustratos en plantas de producción sencillas. Excremento y orina de vacas, cerdos y posiblemente aves de corral son algunos ejemplos. A veces, también pueden usarse los desperdicios de las plantas de producción de alimentos. Cuando se llena una planta de biogas, el excremento sólido debe diluirse con aproximadamente la misma cantidad de líquido, en lo posible orina. La máxima producción de gas que se puede conseguir a partir de una cantidad dada de materia prima depende del sustrato que se utilice.

## 2.4.3 Composición y características del biogas

Se llama biogas a la mezcla constituida por metano  $\text{CH}_4$  en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Sus características han sido resumidas en el

CARACTERISTICAS	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$ - $\text{H}_2\text{S}$	OTROS	BIOGAS 60/40
Proporciones %	55-70	27-44	1	3	100
Volumen					
Valor Calórico MJ/m <sup>3</sup>	35,8	-	10,8	22	21,5
Valor Calórico kCal/m <sup>3</sup>	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % en aire	5-15	-	-	-	6-12
Temp. ignición en °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión crítica en Mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
g/l	0,7	1,9	0,08	-	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad Vol. en % aire	5-15	-	-	-	6-12

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al 1,600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se lo utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

A lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes.

Como puede apreciarse en el cuadro según los campos de aplicación de la tecnología de la fermentación anaeróbica los objetivos buscados son diferentes o tienen un distinto orden de prioridades. Analizaremos brevemente la evolución y estado actual de cada uno de los campos descritos.

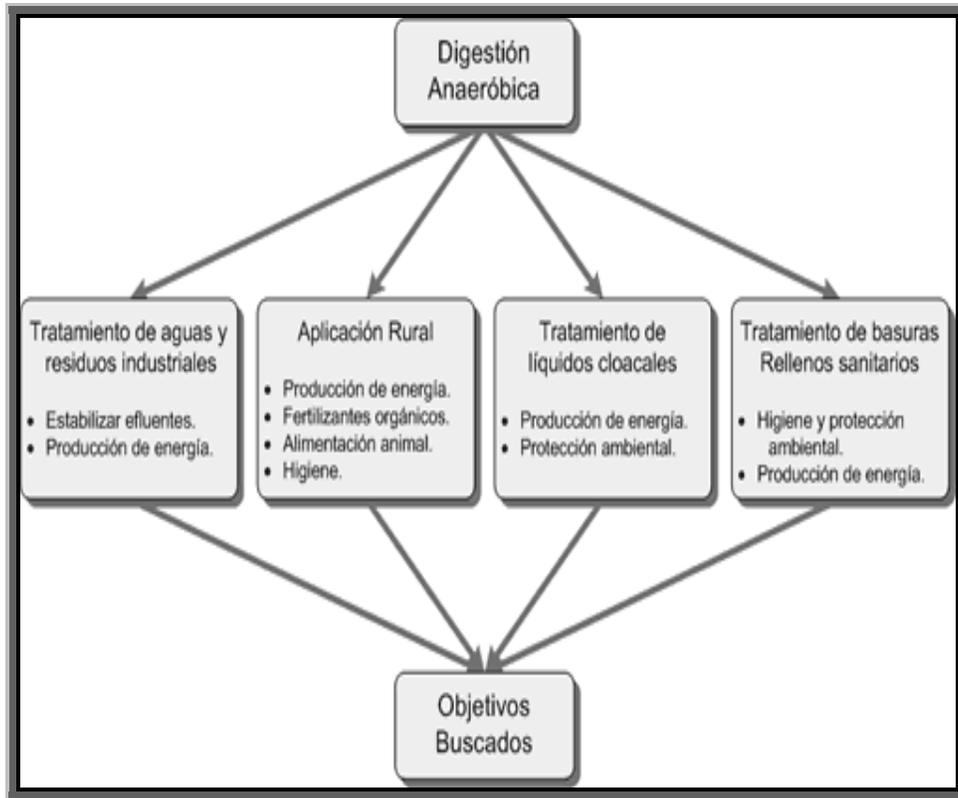


Fig. 2.8 mapa conceptual digestión anaeróbica

Las plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución en los últimos años y habiendo superado una primera etapa a nivel piloto, en Europa y China se encuentran actualmente siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales.

Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1.000 m<sup>3</sup> de capacidad), trabajan a temperaturas mesofílicas ( 20°C a 40°C, esta es una temperatura óptima de crecimiento), o termofílicas (más de 40°C ) poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales; calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.

A nivel latinoamericano, se ha desarrollado tecnología propia en la Argentina para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar. En Brasil y Colombia se encuentran utilizando sistemas europeos bajo licencia.

El número de reactores de este tipo aún no es importante en el, pero los continuos descubrimientos, reducciones de costos y mejoramiento de la confiabilidad hacen suponer un amplio campo de desarrollo en el futuro.

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el primero, el objetivo buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía.

En este caso la tecnología desarrollada ha buscado lograr digestores de mínimo costo y mantenimiento fáciles de operar pero con eficiencias pobres y bajos niveles de producción de energía.

El segundo tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos. El objetivo buscado en este caso es brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento.

Ambos tipos de digestores se encuentran hoy día en continua difusión. Los reactores sencillos han tenido una amplia aceptación en China, India, Filipinas y Brasil; debido a que en estos países se ejecutaron importantes planes gubernamentales que impulsaron y apoyaron con asistencia técnica y financiera su empleo. En el resto de los países del mundo la difusión alcanzada por este tipo de digestores no ha sido significativa

Con respecto a los digestores de alta eficiencia la mayoría se encuentran instalados en Europa; en el resto del mundo no se ha superado aún la etapa de unidades demostrativas o emprendimientos particulares aislados.

El tratamiento de líquidos cloacales mediante sistemas anaeróbicos solos o combinados con tratamientos aeróbicos es una técnica muy difundida en todo el mundo desde hace más de 40 años. Para tener una idea de su importancia el gas generado por esta técnica en Europa alcanzaba en el año 1975 un total de casi 240 millones de m<sup>3</sup> anuales de biogás.

Recientes progresos en equipos de cogeneración han permitido una más eficiente utilización del gas generado y los continuos avances en las técnicas de fermentación aseguran un sostenido desarrollo en este campo.

Debe tenerse en cuenta que la incorporación de esta tecnología obliga a una estricta regulación en cuanto a tipo de productos que se vierten en los

sistemas cloacales urbanos; por este motivo en algunos países donde los desechos industriales son vertidos sin tratar en las cloacas los reactores anaeróbicos han tenido graves problemas de funcionamiento y en muchos casos han sido abandonados.

El relleno sanitario, práctica muy difundida en el mundo para eliminar las enormes cantidades de desperdicios generados en las grandes ciudades han evolucionado incluyendo hoy en día modernas técnicas de extracción y purificación del gas metano generado el cual en décadas pasadas generaba graves problemas, entre los cuales figuraba el ambiental, por muerte de la vegetación que se encontraba en las zonas cercanas, malos olores que molestaban a los residentes y explosivas mezclas de gases que se acumulaban en los sótanos de la vecindad.

El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluya un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.

Todos los campos de aplicación analizados muestran que la tecnología bajo estudio se encuentra en una franca etapa de perfeccionamiento y difusión.

Las causas que motivarán y regularán su futura expansión se encuentran centradas en dos aspectos críticos del futuro como son la energía y la contaminación.

## 2.5 Requerimientos mínimos de diseño para un relleno sanitario

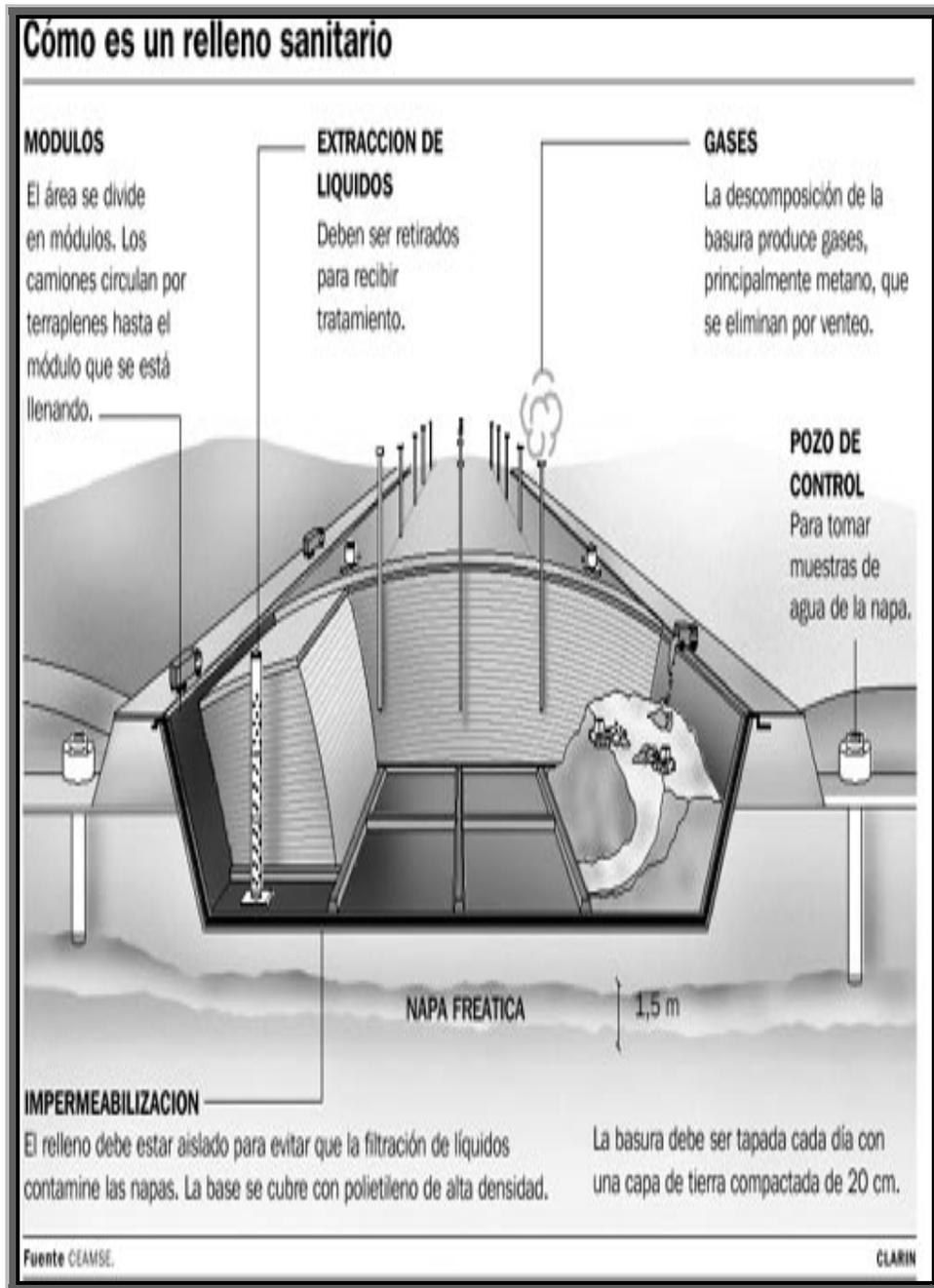


Fig. 2.9 Partes principales de un relleno sanitario

Los parámetros mínimos que deben anticiparse a cualquier proyecto de captación y/o utilización del biogás, están asociados con el análisis de la información disponible, y los planes, programas y estrategias relacionadas con:

- Cantidad y caracterización de los RSU (Relleno Sólido Urbano).
- Inserción de todos los estándares técnicos incorporados en las buenas prácticas de diseño, manejo y mantenimiento, bajo la óptica del manejo integral de los residuos sólidos urbanos, con fortalecimiento de la difusión y adopción de buenas prácticas de consumo y disposición.
- Compactación y confinamiento de los RSU en celdas adecuadas con membranas de impermeabilización y sistemas de pozos o chimeneas de captación, zanjas de extracción y red de captación del biogás, además de un sistema de extracción activa para garantizar una efectiva remoción del biogás y 34 minimizar su emisión a la atmósfera, además del diseño de la cobertura, la compactación de los RSU y la profundidad del relleno, así como la humedad de los RSU y parámetros climatológicos.
- La adecuación de un sistema para la recolección de biogás es muy costosa, si no imposible e impráctica, cuando se propone realizarla después de la clausura del relleno, cuando no se ha previsto esa reconversión en el diseño preliminar del relleno.
- Según los objetivos del diseño se puede necesitar una planta de tratamiento del biogás, para lograr enmarcar la caracterización del biogás o del metano producido al cumplimiento de estándares sobre contenido de humedad, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y COV.

La cobertura de disposición final en rellenos sanitarios, potencia la generación de biogás y su manejo ambiental sostenible. Los proyectos de biogás-energía están reconocidos como fuentes competitivas de energía renovable que generan las 24 h/día y están disponibles más del 90% del tiempo y que puede competir con alternativas energéticas como gas natural, carbón y derivados del petróleo, particularmente en el área de influencia del relleno. Su uso puede ir desde cultivo de peces, evaporación de lixiviados e invernaderos, hasta inyección a gasoductos de gas natural uso como combustible vehicular.

### **2.5.1 Panorámica de los componentes de un relleno sanitario**

La figura siguiente se indica la ubicación general típica de los componentes y cobertura de un relleno sanitario. Aquí se esquematizan el transporte y disposición de los RSU, las etapas progresivas de relleno y ubicación de las celdas, el drenaje de lixiviados, el equipo de

compactación, la cuneta perimetral de escorrentías, la valla perimetral, las teas, los pozos de perforación y la empadricación de las zonas clausuradas. En este esquema todo el gas se quema en las teas, no hay utilización térmica del biogás.

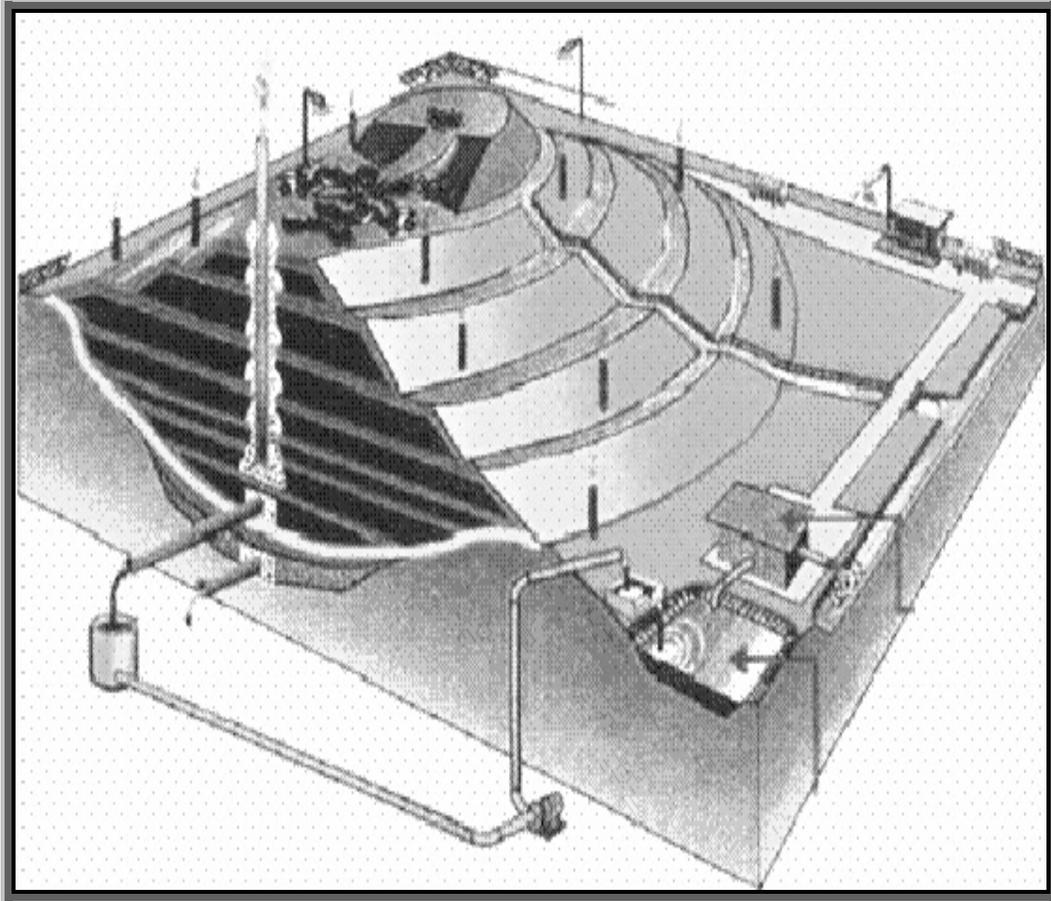


Fig. 2.10 Relleno sanitario en operación

# **CAPÍTULO III: PROCESOS PARA LA CAPTACIÓN DEL BIOGAS.**

### 3.1 Introducción

Los residuos eliminados en un vertedero, fundamentalmente los residuos orgánicos y su aprovechamiento energético que sufren degradación biológica, producen gas de vertedero, cuya composición típica es metano (50-70 %), dióxido de carbono (20-50 %), nitrógeno (4-20 %), vapor de agua, ácido sulfhídrico y compuestos orgánicos halogenados y órgano sulfurados.

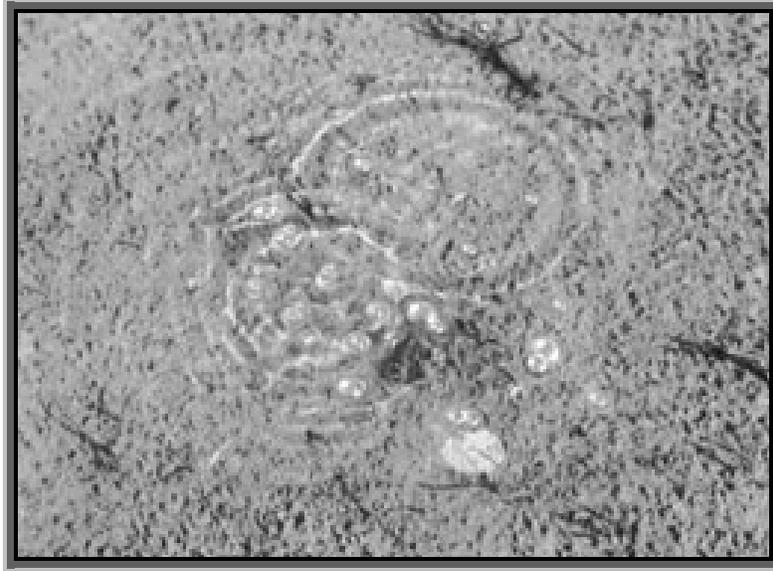


Fig. 3.1 Gases tóxicos de un vertedero

Este gas de vertedero presenta una problemática local por su capacidad de migración y composición:

- Incendio y explosión: el metano mezclado con el aire en proporciones del 7-15 % forma mezclas explosivas similares al grisú de las minas, provocando una situación de riesgo en puntos distantes del vertedero dada la facilidad que tiene el gas para la migración subterránea.
- Inestabilidad del vertedero: bolsas de gas
- Toxicidad: asfixia por metano y  $\text{CO}_2$ , toxicidad por sus componentes minoritarios
- Malos olores
- Daños en la vegetación: clorosis, defoliación y pérdida de ramaje, crecimiento enano, desarrollo superficial de raíces, asfixia por desplazamiento, alteración pH por  $\text{CO}_2$ )
- Daños en la fauna: lombrices, hormigas, topos...
- Efecto invernadero: se considera que el metano produce un efecto invernadero 25 veces superior al  $\text{CO}_2$

### 3.2 Principios del funcionamiento de un relleno sanitario

Un relleno sanitario es un gigantesco biodigestor anaerobio que tiene el potencial de producir energía renovable a partir del metano contenido en el biogás, como lo indica el cuadro derecho de la figura. Alternativamente, a escala mucho menor, puede llevarse a cabo un tratamiento de fermentación aeróbica controlada (es decir, un proceso de compostaje) para la producción de compost, como lo indica el cuadro izquierdo de la figura, utilizando materia orgánica, particularmente restos vegetales y de alimentos, así como papel y demás productos celulósicos.

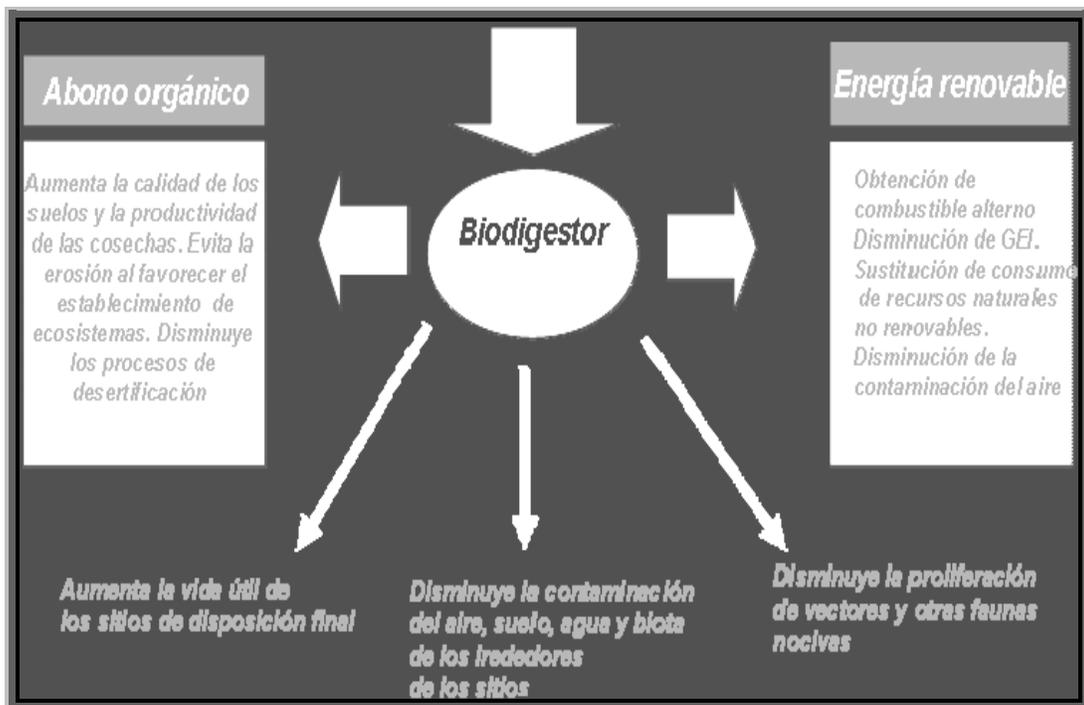


Fig. 3.2 Principales funciones de un biodigestor

### 3.3 Factores asociados a la generación de biogás

Los principales factores que influyen sobre la producción de biogás en el tiempo son:

Cantidad, calidad y edad de los desechos dispuesto. Después de un incremento rápido, la producción de  $1\text{m}^3$  de biogás disminuye regularmente. Según los tipos de desechos, se consideran tres tipos de velocidad de degradación del carbono:

- Degradación rápida; desechos vegetales y alimenticios, 1.5 a 2 años;
- Degradación media; desechos vegetales y alimenticios, 5 a 10 años;

- Degradación lenta; cartón, madera, cuero, 10 a 20 años o más

Según la composición media de los desechos, se puede estimar la degradabilidad media del carbono, según las siguientes consideraciones:

- Agua. La presencia de agua es un factor necesario para la producción de biogás. Si falta el agua, la producción de biogás disminuye rápidamente y hasta se suspende, como puede ocurrir en los desiertos; pero lo contrario no es cierto, o sea, que un aumento de la cantidad de agua no influye significativamente sobre la producción de biogás.
- Temperatura. Al interior del cuerpo del relleno influye muy significativamente en la velocidad de degradación del material orgánico y en la producción de biogás. A mayor temperatura es más alta la rata de producción y la cantidad de biogás que se produce.
- Productos químicos. La mezcla de desechos industriales puede limitar o a veces aumentar la velocidad de producción de biogás; en efecto, la presencia de ácidos o bases, de metales o de desechos tóxicos, puede disminuir o suprimir parcialmente la producción.

Finalmente, el estado físico de los desechos, como una buena compactación o una buena reducción del tamaño de los desechos, pueden aumentar la producción de biogás.

Otras consideraciones importantes dentro de este contexto, se muestran en la figura, que enumera los factores determinantes del proceso de generación de biogás y lixiviados.

Las variables y parámetros que se indican determinan la cantidad y caracterización del biogás producido así:

- Cantidad, caracterización, climatología y humedad de los RSU
- Percolación, evapotranspiración, y procesos químicos y microbiológicos, característicos del contexto geográfico y del diseño puntual del relleno sanitario. Además se indican genéricamente los desechos y los subproductos que se producen durante el tratamiento opcional del biogás y de los lixiviados, todo lo cual depende del comportamiento de las variables y parámetros involucrados, y del tiempo de disposición de los RSU.

Estas figuras se resumen las etapas de generación de biogás y el tratamiento para su uso y sus aplicaciones. El primer cuadro indica las

fuentes usuales de biogás; el segundo, la composición que se mencionó en la discusión anterior sobre la caracterización y etapas aeróbicas y anaeróbicas.

La figura siguiente, resume los parámetros deseables que influyen y los rangos deseables para el incremento de la producción de biogás.

Los cuadros siguientes, presenta opciones de tratamientos fisicoquímicos, que son usuales en los procesos de tratamiento y purificación de gas combustible, según los objetivos de la purificación y los requerimientos normativos y ambientales, presentando opciones de uso final del energético.

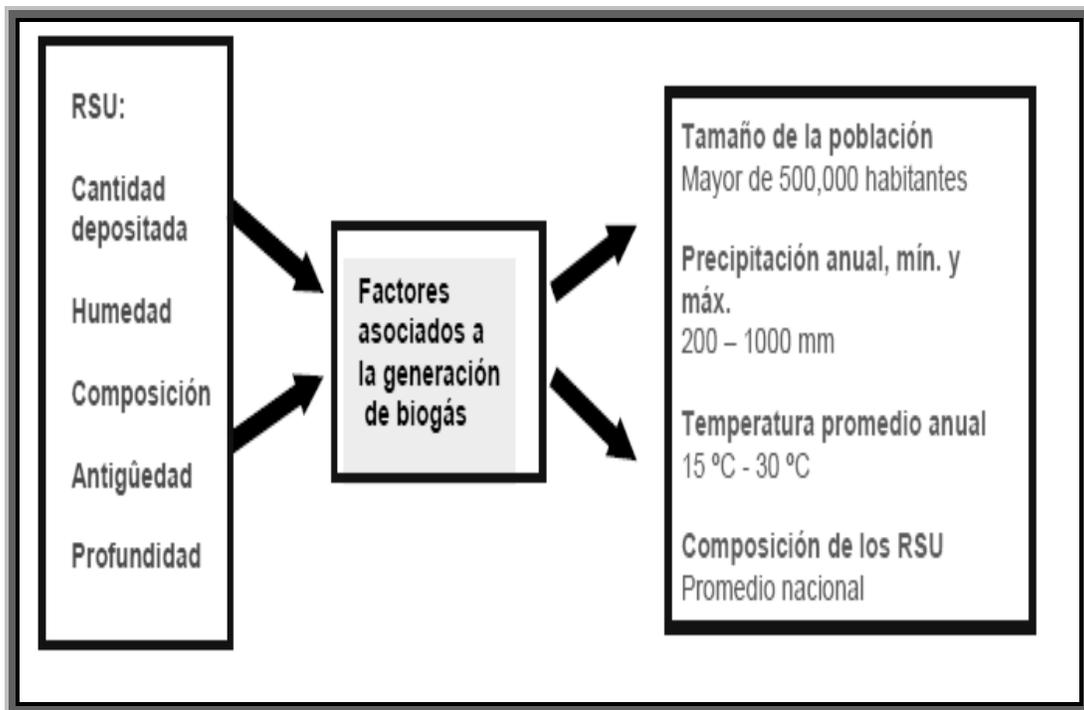


Fig. 3.3 Tratamiento físico para la generación de biogas.

### 3.4 La producción de biogás

La producción total de biogás depende de la composición de los desechos, y la duración de la producción depende de los factores mencionados arriba. En climas templados se cuenta con una producción fuerte durante diez a veinte años después de depositados los desechos. La producción en el tiempo forma una curva de campana que disminuye en forma asintótica. En climas fríos la producción puede ser más prolongada, y en climas calientes más corta.

Conociendo la historia de un relleno y los pronósticos de desarrollo; es decir, de la cantidad y de la calidad de los desechos dispuestos, se puede desarrollar un modelo de cálculo para estimar la producción en el tiempo futuro. El modelo puede calibrarse mediante el conocimiento de unos pocos datos de producción, el sistema de captación y la tea. Para otros casos, se hacen varias hipótesis para ver la variación posible de la estimación de producción con la variación de estas hipótesis.

En un relleno nuevo, la producción de biogás puede empezar después de varios meses, pero en rellenos existentes se nota generalmente una producción de biogás ya después de unas semanas de operación. La cantidad de biogás producido por los desechos depende de la composición y muy directamente de la proporción de materia orgánica degradable, que depende del tipo de desechos. Durante estas etapas es común la práctica de captación pasiva del biogás. Para su transporte y quemado, se puede necesitar sistemas de compresión según lo determine la ingeniería de proceso para la recolección, transporte y quemado de este gas.

### 3.5 Captación pasiva y otros sistemas de captación

La siguiente composición fotográfica muestra la secuencia general de captación pasiva del biogás, que se utiliza para las etapas productivas de generación que producen la presión suficiente para su recolección y transporte.

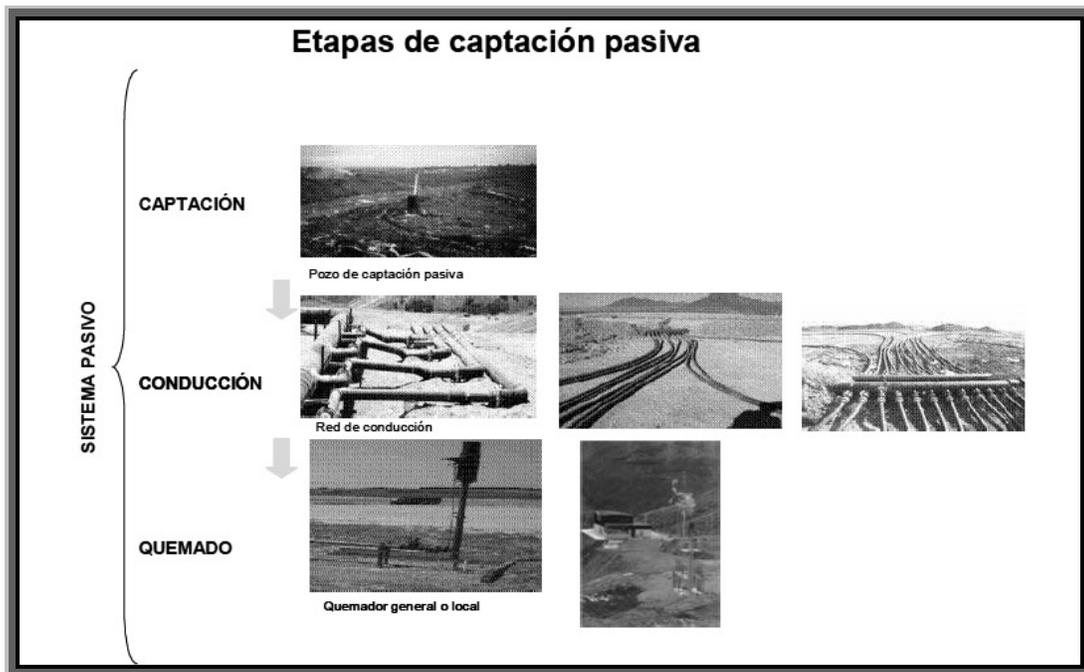


Fig. 3.4 Etapas de captación pasiva

Para recolectar el biogás se necesitan instalaciones específicas que dependen de las características técnicas del relleno.

Las metas de un sistema de captación del biogás son:

1. Captación y destrucción del metano y de los gases tóxicos y malolientes.
2. Valoración energética

Las principales dificultades son las siguientes:

- La necesidad de separar el biogás del aire atmosférico porque genera riesgos de explosión, lo cual, a su vez, restringe significativamente las posibilidades y el interés de la valoración energética.
- La saturación con agua del biogás. Esta agua condensa a la temperatura más baja del entorno del relleno, lo cual causa riesgos de taponamiento o acumulación en los tramos más bajos de las tuberías de conducción o drenaje del biogás.
- El asentamiento de los residuos por causas geotécnicas y de su misma degradación, puede llegar a disminuir hasta 30 % la altura de los depósitos de los rellenos sanitarios. Este asentamiento genera puntos bajos donde se acumula agua en los tubos y genera esfuerzos importantes en las tuberías hasta provocar rupturas, para lo cual deben implementarse las medidas preventivas en el diseño de la red, que debe caracterizarse por ser versátil, dinámico y bien mantenido.

La promoción de proyectos de captación de biogás de rellenos sanitarios necesita:

- Acciones de capacitación y asistencia técnica especializada
- Diseño de un plan piloto institucional como guía metodológica para el desarrollo de los proyectos que conduzcan a una estrategia nacional que impulse la viabilización de la utilización del biogás como fuente alterna energética, particularmente en rellenos regionales, con material didáctico de apoyo.
- Análisis de escenarios que incluyan el diseño de biodigestores y producción de composta
- Esquemas de participación comunitaria.

### 3.5.1 Sistemas de captación

Generalmente son una combinación de los siguientes elementos:

### 3.5.2 Drenajes horizontales

Las perforaciones de estos se ubican hacia abajo para el drenaje de condensados. Estos sistemas deben colocarse unos dos o tres metros por debajo de la superficie para inhibir la entrada de aire. Un drenaje práctico y eficaz, como uno de plástico, debe estar rodeado de un volumen muy importante de material muy permeable al gas, como piedras, ladrillos, llantas o desechos gruesos.

### 3.5.3 Pozos verticales de gas

Estos pozos necesitan un diámetros grande, de aproximadamente 1 m, y es preferible hacerlos durante el llenado del relleno, a medida que sube el nivel de los residuos depositados, mediante una armadura metálica que se sube progresivamente a medida que sube el nivel de los RSU, y que pueden llenarse con piedras grandes u otro material que permita fácilmente la subida del biogás que se esté generando. El resultado es una columna permeable y continua en toda la altura del relleno. Este sistema se puede mejorar colocando un tubo de drenaje vertical. Los pozos pueden servir de sistema de recolección de los drenajes horizontales, puestos radialmente a diferentes niveles.

La figura siguiente muestra una visión general y de talle de los pozos de extracción de biogás.

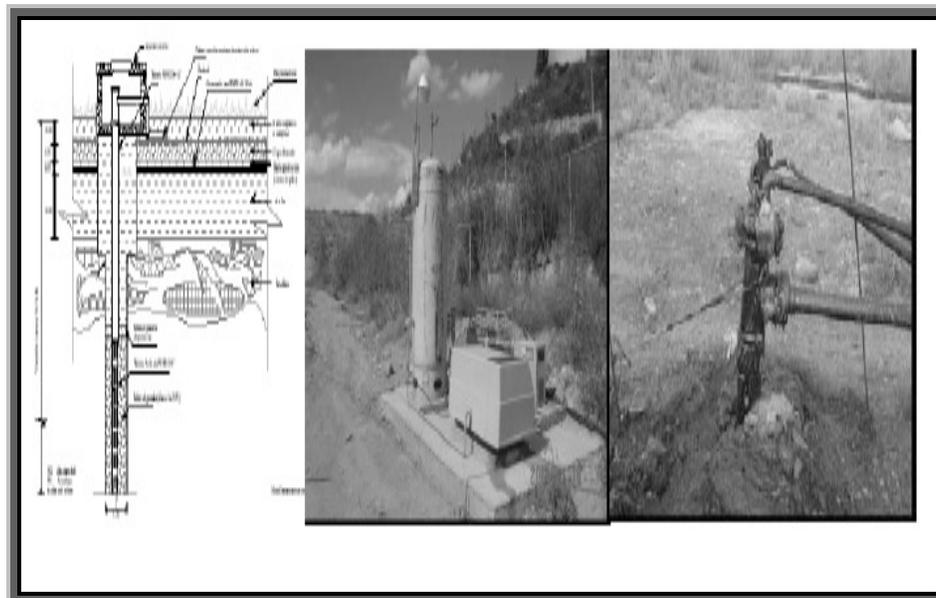


Fig. 3.5 Diferentes tipos de pozo para la extracción del biogas.

### **3.6 Colectores**

Aseguran la recolección del biogás de los diferentes pozos y drenajes. En lo posible el colector principal se coloca en la periferia del relleno, apoyado en un suelo estable para evitar el asentamiento. A estos colectores se colocan los colectores secundarios, los cuales pueden equiparse, según la necesidad, con algún tipo de medidores de calidad, flujo, presión y válvulas de seguridad. Un buen diseño de colectores debe asegurar el funcionamiento a pesar del asentamiento que se presenta en las diversas zonas del relleno debido a la disminución de la masa del mismo.

### **3.7 Estación de bombeo, regulación y controles**

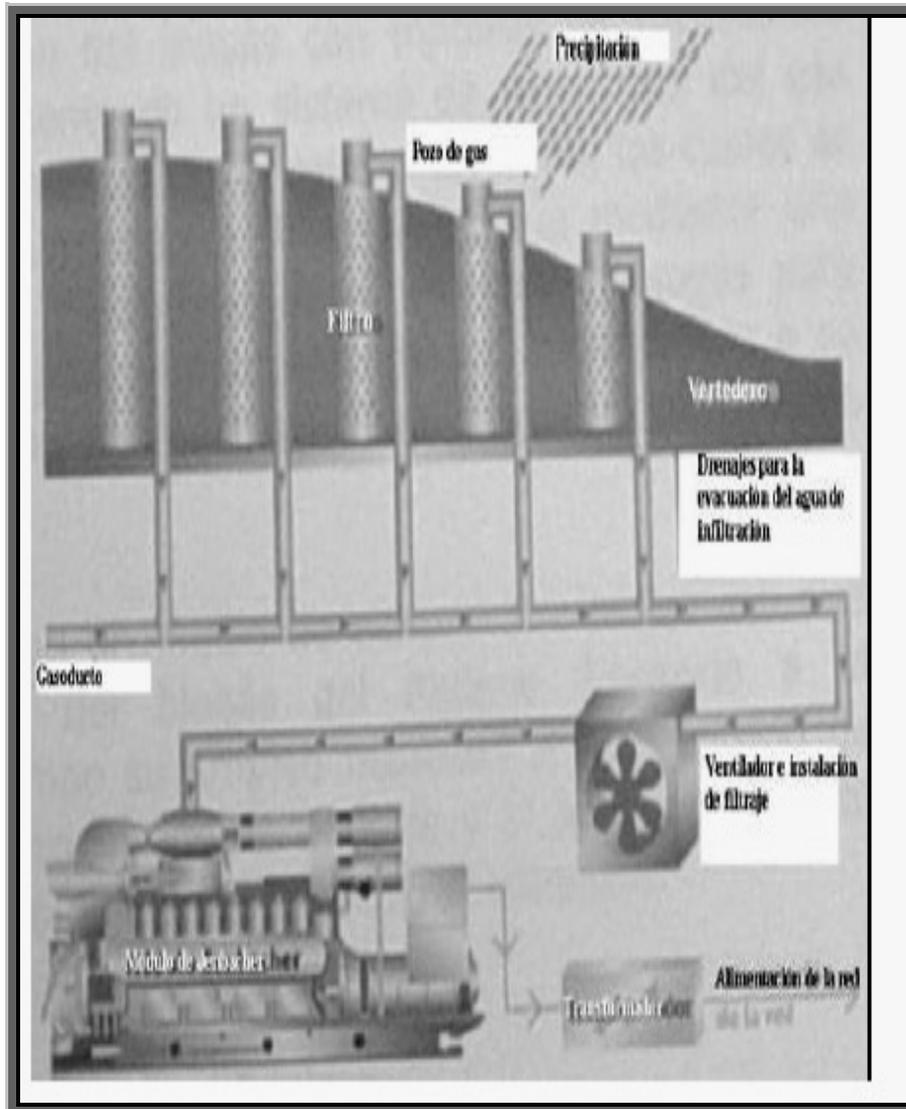
La estación de bombeo asegura la aspiración del biogás y la regulación de la presión y del caudal. Los diferentes colectores se equipan con válvulas para la regulación de la presión.

Como se está manejando un gas combustible, deben hacerse las previsiones de alarma y control automático de calidad, flujo, contenido de oxígeno, metano y del sistema de bombeo.

Control automático de calidad, flujo, contenido de oxígeno, metano y del sistema de bombeo. La figura siguiente es un esquema general de la captación de biogás de los pozos del relleno mediante extracción y compresión para despacho y medición, además del manejo del agua de infiltración y de escorrentía.

### **3.8 Coberturas finales**

La realización de cobertura con tierra en las zonas terminadas, permite disminuir la infiltración de aire atmosférico en el sistema de aspiración del biogás, así como la realización de coberturas diarias puede disminuir la eficacia del sistema de aspiración del biogás. Si tales coberturas diarias o semanales se necesitan, se recomienda aumentar el número de pozos verticales.



3.6 Pozos verticales para la aspiración del biogas

### 3.9 Valoración energética y deshidratación del biogás

Puede funcionar con instalaciones sencillas, sin infraestructuras sofisticadas. Los límites de la valoración térmica son los siguientes:

- Se necesita un consumidor importante de energía térmica en el entorno inmediato del relleno, ejemplo, fábricas de ladrillos, incineración de residuos infecciosos, lavandería industrial y desecación de productos.
- Debe tenerse cuidado con los riesgos de corrosión de las partes frías de las instalaciones donde pueda presentarse una condensación.

Estos sistemas deben estar provistos de teas para quemar los excedentes de gas que resulten de un bajo consumo.

- Para grandes proyectos que justifiquen la separación del CO<sub>2</sub> la calidad del metano debe ajustarse a la normativa nacional, que generalmente regula sobre componentes como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S y algo de humedad.
- Para proyectos medianos y pequeños, con utilización del biogás como energético, generalmente es suficiente la deshidratación del biogás para utilizarlos en motores generadores, y más usualmente en turbinas a gas. Cuando el biogás se quema, eventualmente puede ser necesario solamente la eliminación de H<sub>2</sub>S (El sulfuro de hidrógeno, denominado ácido sulfhídrico en disolución acuosa (H<sub>2</sub>S<sub>aq</sub>). Este gas, más pesado que el aire, es inflamable, incoloro, tóxico, odorífero: su olor es el de materia orgánica en descomposición, como de huevos podridos), o ningún tratamiento, ni siquiera la deshidratación.

Según el diseño de cada proyecto, en atención a los objetivos y la caracterización y cantidad de los RSU, además de los requerimientos técnicos, normativos y legales, puede ser necesario uno o varios de los procesos mencionados anteriormente. Uno de los requerimientos técnicos más comunes es la deshidratación del biogás o del CH<sub>4</sub> que se haya separado previamente. El proceso usual para esta deshidratación es igual al que se emplea para la deshidratación de gas natural, tal como se indica en el diagrama de flujo simplificado en la figura 3.7

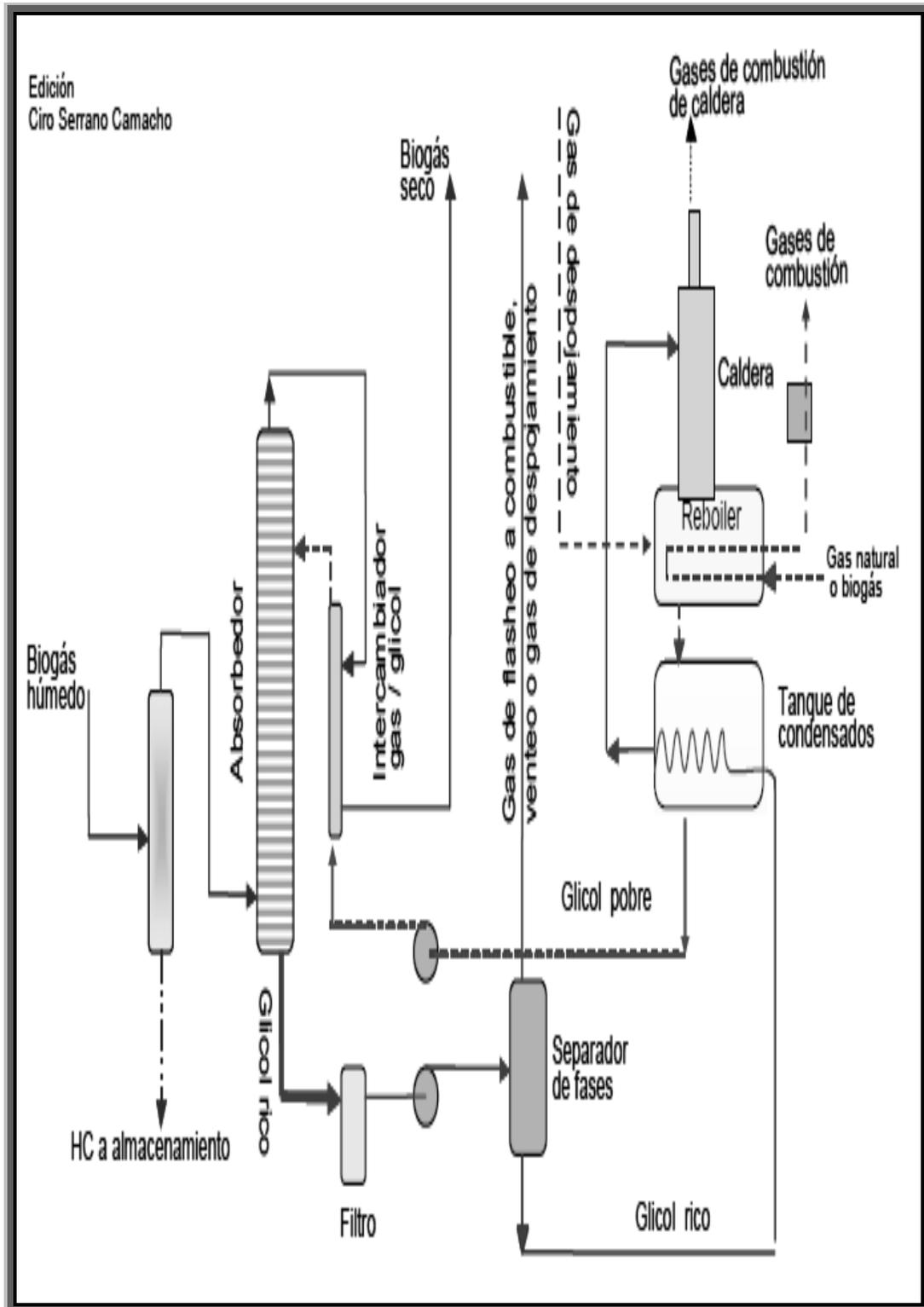


Fig. 3.7 Deshidratación del biogás

**CAPÍTULO IV:**  
**GENERACIÓN DE**  
**ELECTRICIDAD UTILIZANDO**  
**BIOGAS**

## **4.1 Introducción**

En la actualidad la emisión a la atmósfera de gases con efecto invernadero, como consecuencia de la dependencia de los derivados del petróleo para la obtención de energía, alteran o afectan día con día a nuestro planeta por las enormes emisiones de contaminantes que estas generan y van directamente a la atmosfera. En el caso de la ganadería, el estiércol producido contiene materia orgánica la cual, bajo condiciones anaeróbicas (como en fosas de almacenamiento de estiércol y en lagunas) se convierte a biogás, que contiene metano y dióxido de carbono. Tanto el metano, como el dióxido de carbono, son gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global. En general, los gases producidos en el sector agropecuario contribuyen con más de un 30 % de dicho efecto.

La necesidad de alternativas de producción energética, mediante la implementación de prácticas amigables con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos disponibles, crea un clima favorable para la promoción e implementación de la tecnología de biodigestores, obteniendo como beneficio la producción de biogás. Por tanto, aprovechar de manera eficiente este combustible es de importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo la explotación agropecuaria en una actividad económica más rentable y menos contaminante.

Generalmente, en la mayoría de los países latinoamericanos, el biogás ha tenido un uso limitado a la cocción de alimentos y calefacción de animales de granja. A pesar de esto, el uso del biogás en la sustitución de combustibles fósiles, para la generación de electricidad en motores de combustión interna ha cobrado importancia en los últimos años.

El biogás puede ser utilizado para reemplazar la gasolina hasta en un 100 %, mientras que en motores diesel sólo se logra un máximo de 80 %, debido a que la baja ignición del biogás no permite que haya explosión en este tipo de motores que carecen de bujía. Para el uso del biogás en motores, es indispensable eliminar el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), ya que éste al reaccionar con agua forma ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) que es altamente corrosivo y puede ocasionar graves daños internos al motor.

## 4.2 Generalidades

- Centros de consumo => generan desperdicios orgánicos
  - Concentraciones humanas
  - Resultantes de un proceso fabril
  - Actividad agropecuaria
- Difícil tratamiento y disposición
- Zonas consumidoras de energía aisladas de grandes centros urbanos => usan generadores de electricidad
- Utilización de desperdicios orgánicos => generación de biogas => generación de electricidad + disposición de desperdicios (+ producción de fertilizante en algunos casos)

## 4.3 Biodigestores

- Continuos:
  - La carga de materia orgánica y la producción de biogas son continuos
  - Presentan variaciones de temperatura (carga del digestor)

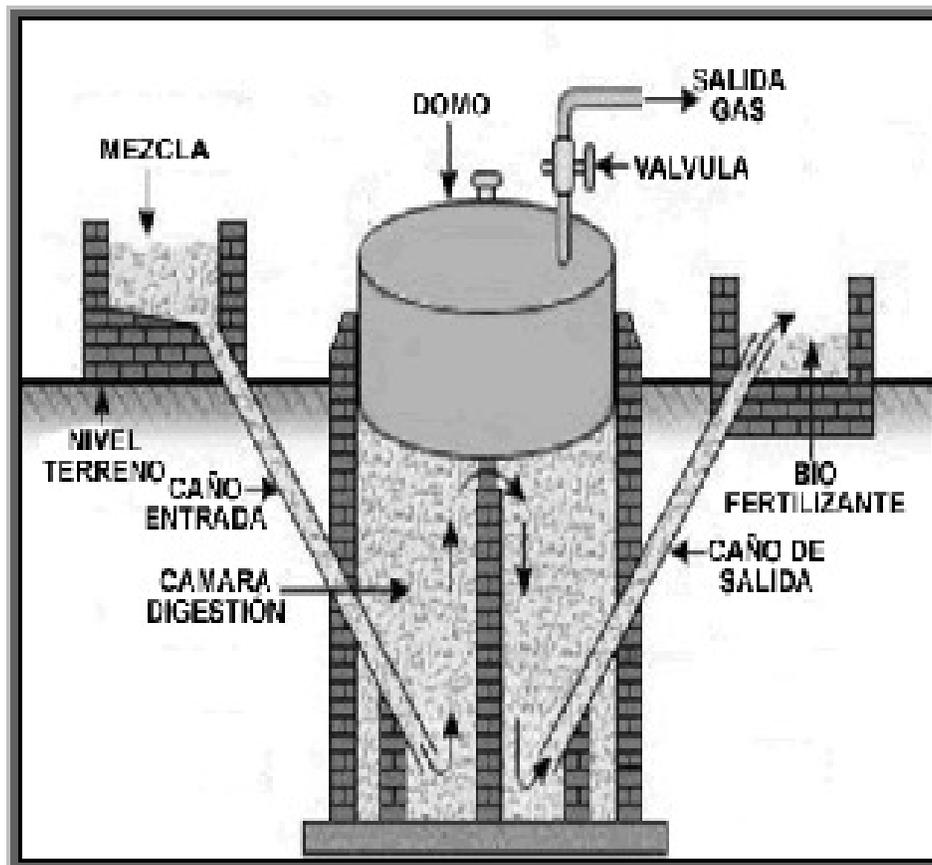


Fig. 4.1 Biodigestor de funcionamiento continuo

• Discontinuos:

- Se agota la materia prima => se los vacía y se los recarga => tiempo sin producción de gas
- Se trabaja generalmente con 3 digestores
- Poseen gasómetros o pulmones
- Trabajan con temperatura más uniforme

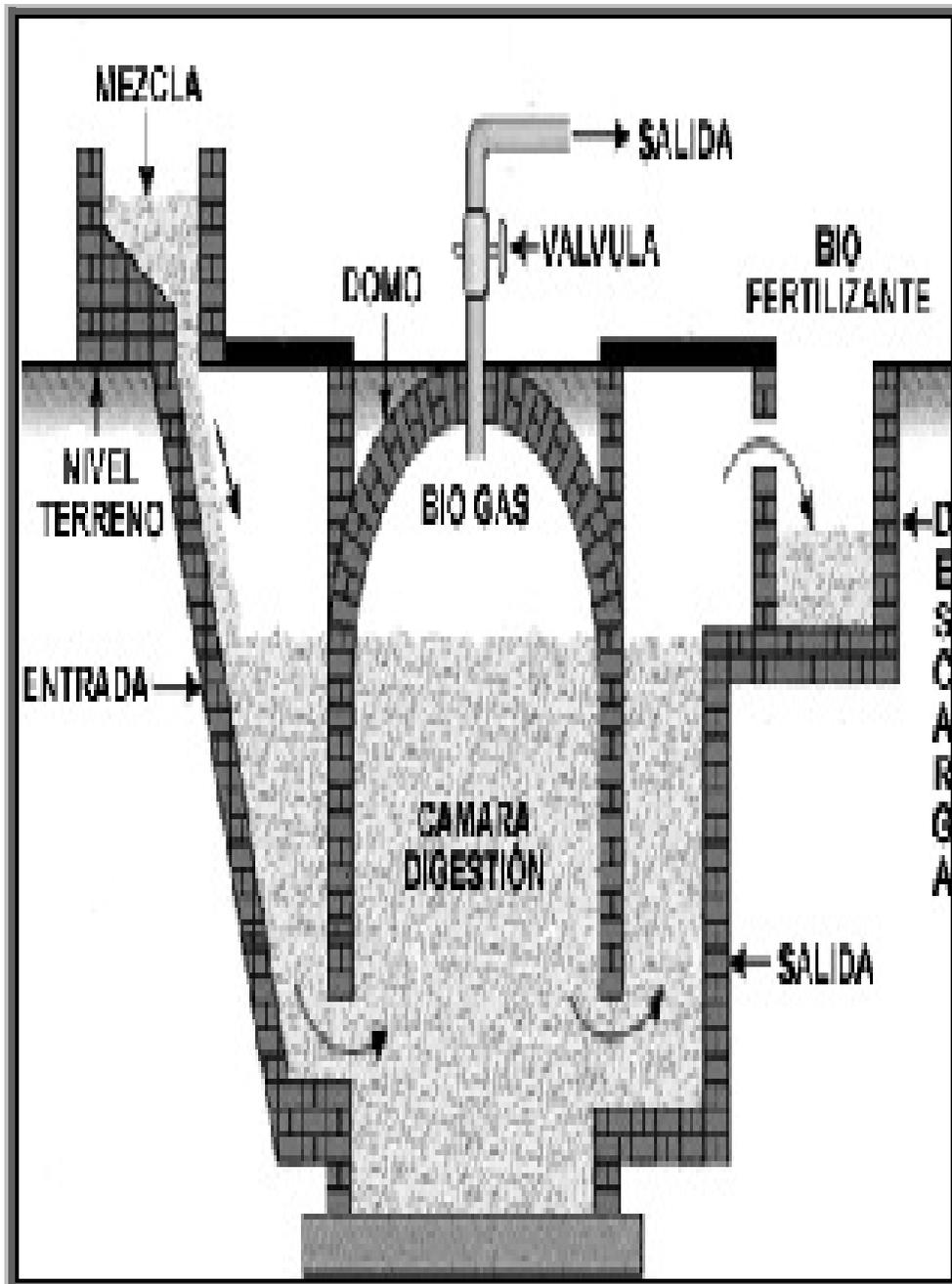


Fig. 4.2 Biodigestor de funcionamiento discontinuo

• Tipo moderno:

- Posee 2 membranas flexible
- Membrana superior negra

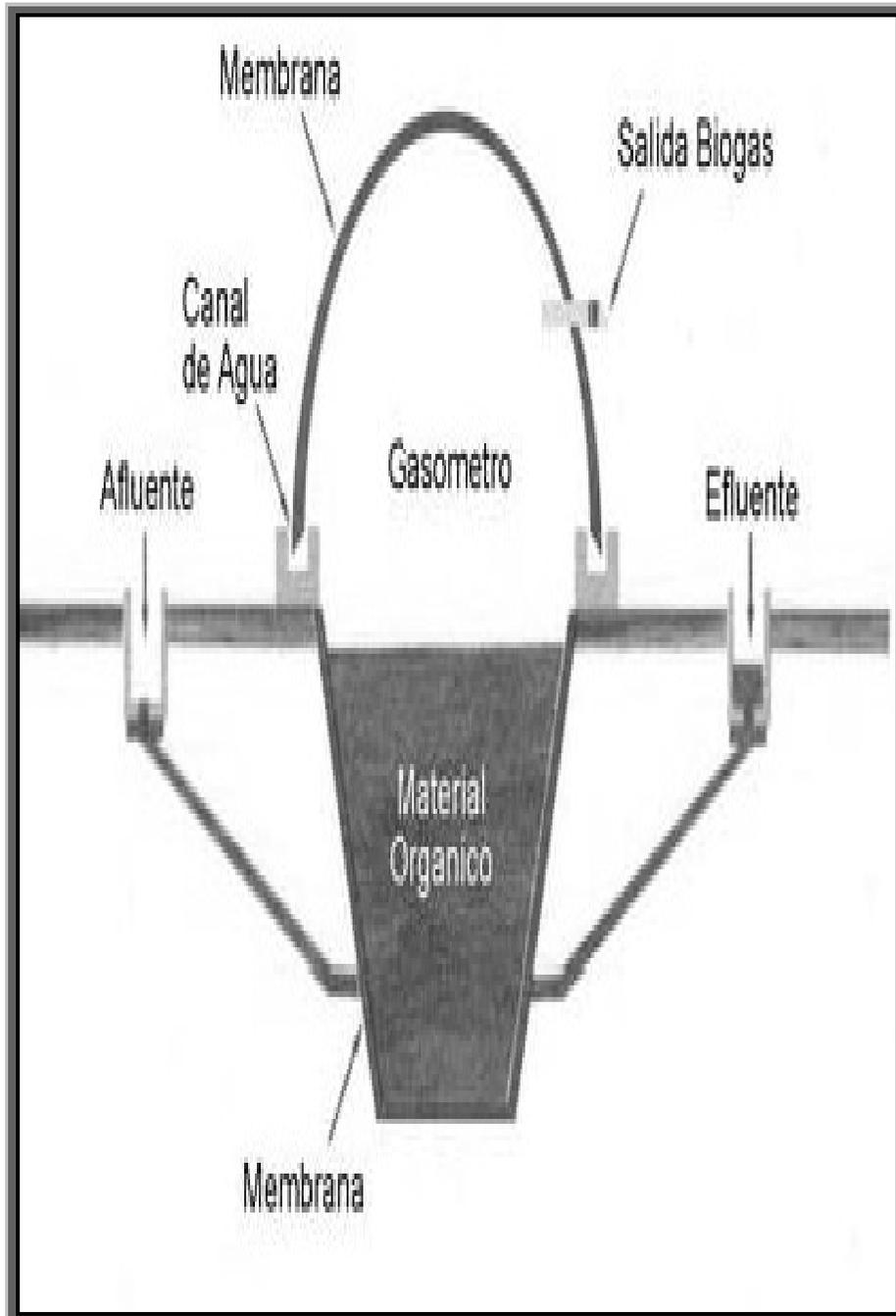


Fig. 4.3 Biodigestor moderno

“Generación de energía eléctrica a través del biogas obtenido de los desechos urbanos”

Generación de electricidad utilizando biogas como combustible en motogeneradores:

- Motores con combustible dual
- Motores especiales para biogas (incluyen el pretratamiento del gas)

• Utilizando biogas en pilas de combustible:

- Generación de electricidad
- Calor generado por la pila => fermentación
- Requieren un biogas con al menos 60% de metano

De los Rellenos sanitarios

• Se genera biogas por la descomposición de materia orgánica => se puede:

- Aprovecharlo como combustible para generar electricidad

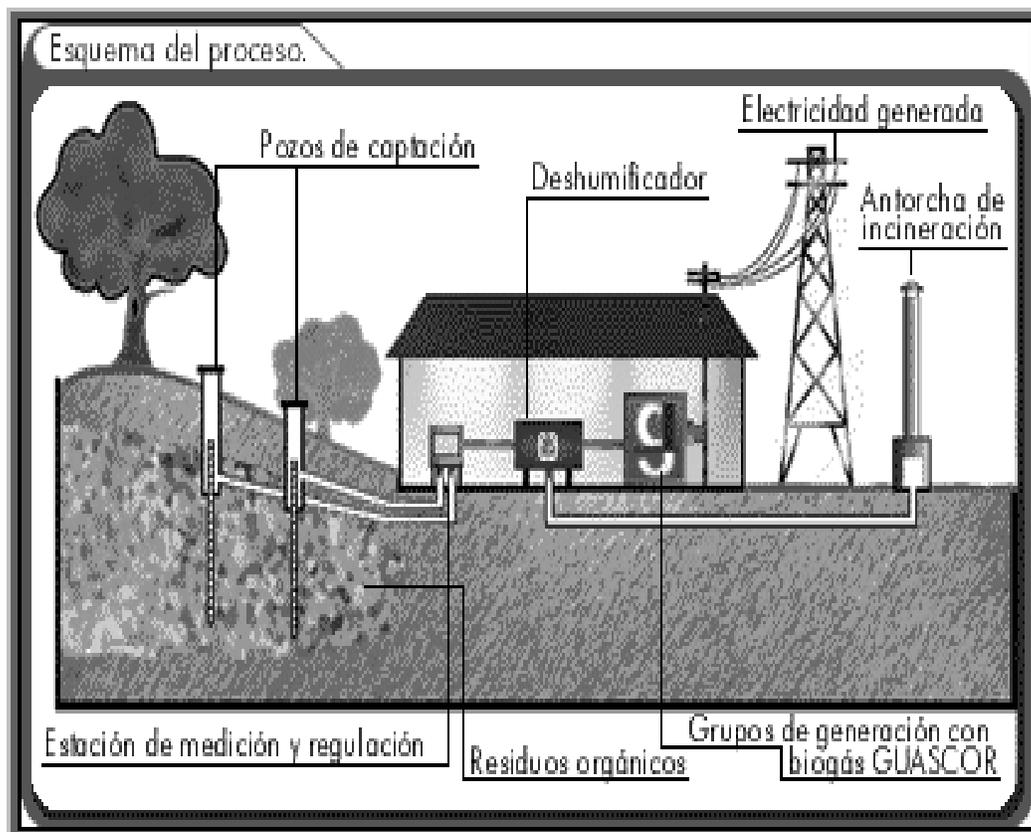


Fig. 4.4 Proceso de generación de electricidad utilizando al biogas como materia prima

El equipamiento para la generación de electricidad utilizando el biogas como combustible es la siguiente:

- Generadores a Gas

- Versátiles para funcionar con biogas y otras gases alternativos (al funcionar con biogas se pierde un 10% de potencia en el motor, lo que conlleva el mismo nivel de pérdidas en la generación de electricidad)
- Motores Diesel adaptados para funcionar con biogas

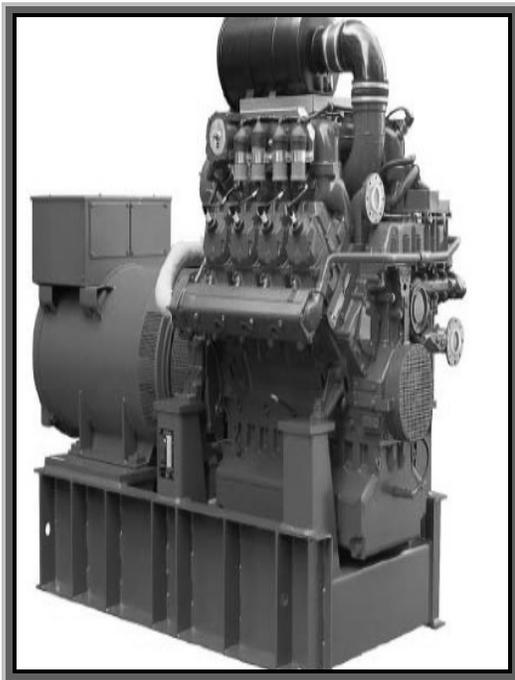


Fig. 4.5 Generador con motor Diesel adaptado



Fig. 4.6 Generador con motor para Biogas

- Generadores a Gas con motor Diesel:

- En el caso de los motores diesel, el biogas puede reemplazar hasta el 80% del gasoil, a baja capacidad de ignición del biogas no permite reemplazar la totalidad del gasoil en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión.
- El gas es succionado junto con el aire de combustión hacia el cilindro

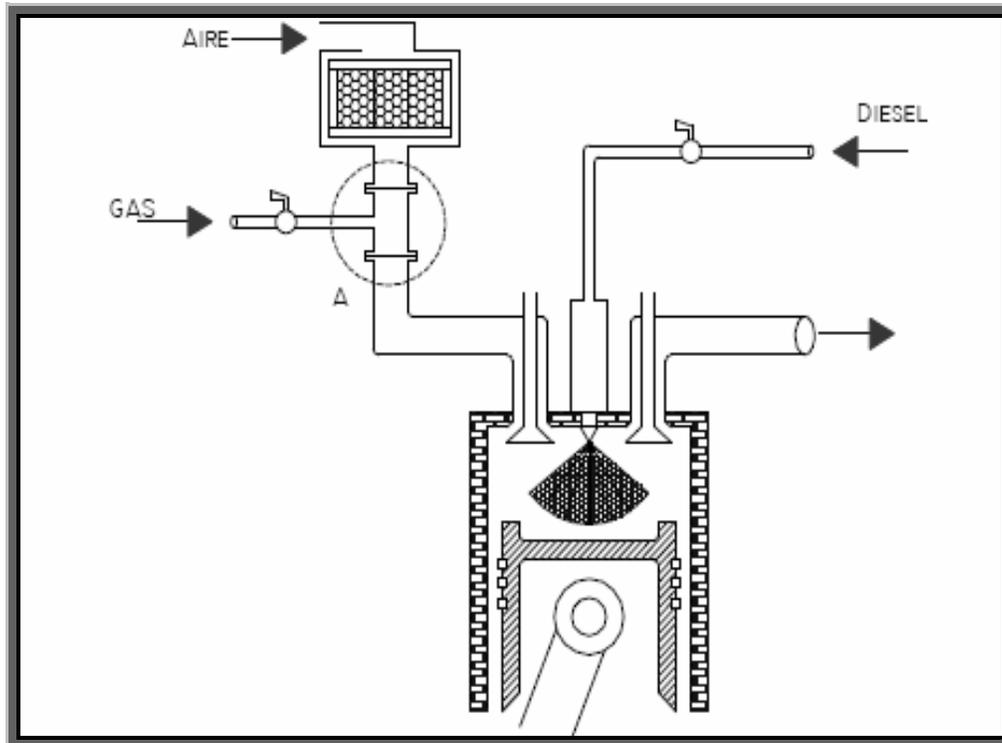


Fig. 4.7 Generador a gas con motor Diesel

#### 4.4 Equipamiento para generación de electricidad

- Dispositivos para adaptar los motores para la utilización de biogas:
  - Se necesita un filtro para la captación del sulfuro de hidrógeno en el biogas
  - Sistema de encendido electrónico
  - Sistema de tratamiento de gases de escape
  - Control de combustión
  - Mezclador de Aire-Biogas
- Sistemas de tratamiento de gases de escape:
  - Objetivo: disminuir la emisión de monóxido de carbono
  - Consiste en un intercambio térmico regenerativo
  - El gas de escape fluye a 500°C, desde el motor a través de la unidad conmutadora hasta el primer depurador, donde se calienta hasta 800 °C
  - En la cámara de reacción, el gas de escape reacciona con el oxígeno que contiene, oxidando el monóxido de carbono y el hidrocarburo para producir dióxido de carbono y agua.

- El gas de escape vuelve a emitir calor a medida que atraviesa la segunda depuradora y llega a la unidad conmutadora que lo dirige al conducto de escape de humos.

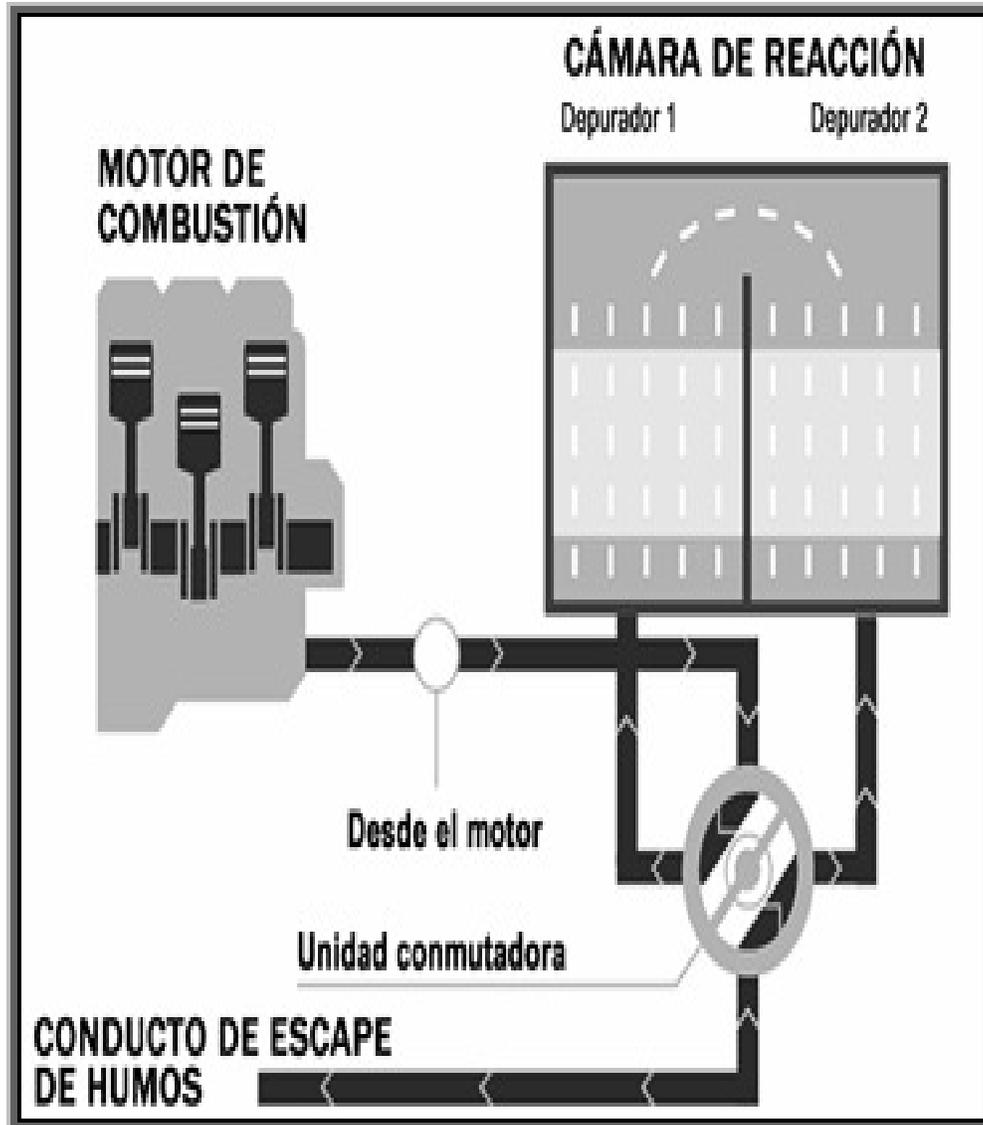


Fig.4.8 Sistemas de tratamiento de gases de escape

- Mezclador de Aire-Biogas:
  - No hay pérdida de presión durante el mezclado aumentando la potencia a una máxima eficiencia.
  - Aún con cambios en el caudal másico del gas, la proporción aire-gas permanece constante.

- Con la temperatura de la cámara de combustión, el sistema de control regula la emisión de gases del motor ajustando la proporción aire-gas correspondientemente.

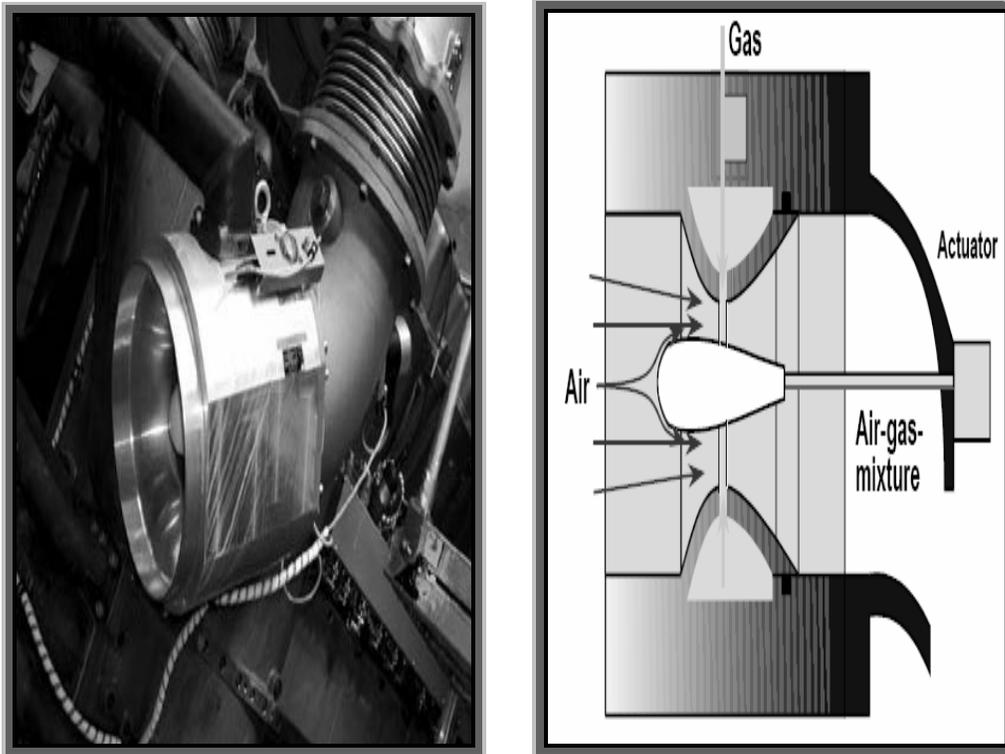


Fig 4.9 Mezclador de Aire-Biogas y su funcionamiento

- Generación de electricidad con turbinas
- También la generación de electricidad se puede realizar mediante calderas y turbinas de gas.
- Un caso especial de este tipo de generación es el del vertedero controlado de Bouqueval/Plessis-Gassot, el cual se encuentra a unos 20km al norte de París.
- La producción total de biogas se eleva a 13.000 m<sup>3</sup>/hora, de los que se valorizan 10.000 m<sup>3</sup> para producir 10 MW/hora de electricidad, es decir, el consumo medio de una ciudad de 30.000 habitantes.

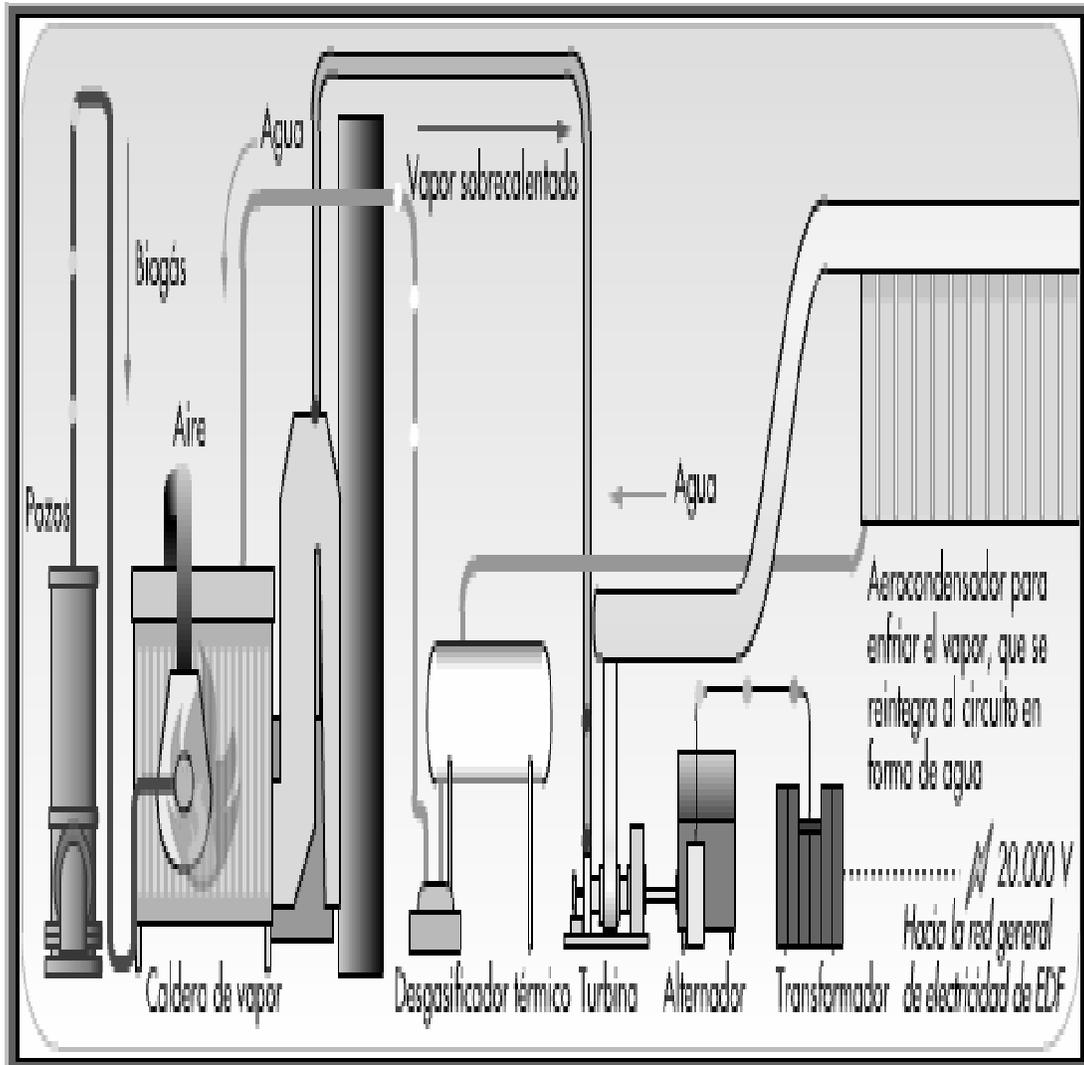


Fig.4.10 Generación de biogás utilizando turbinas

Tras su captación y control, los 10.000 m<sup>3</sup> de biogás que se producen en el vertedero controlado de Bouqueval se queman en tres calderas.

Los quemadores de estas calderas se adaptan automáticamente a la cantidad y a la calidad del biogás entrante, es decir, a su contenido en Metano, cada una de las calderas suministra 30 toneladas de vapor a 380° C, a una presión de 40 bars, este vapor pone en marcha la turbina que gira a 7.500 rpm, conectada a su vez a un alternador que, produce cerca de 20.000 voltios de electricidad

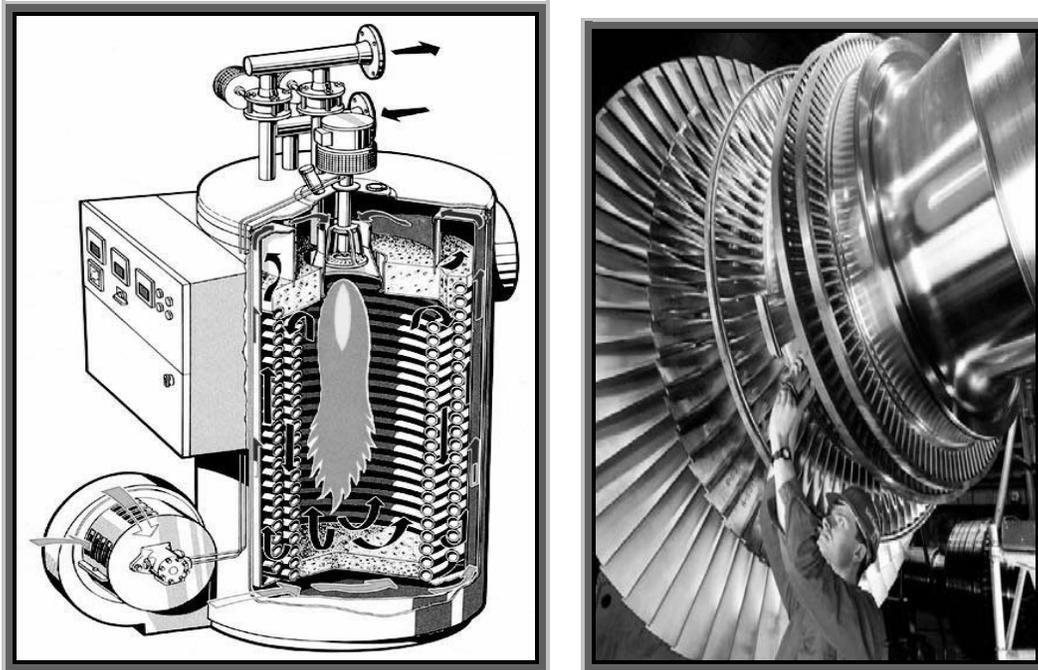


Fig. 4.11 toberas de una turbina de vapor

Una turbina de vapor transforma la energía del flujo de vapor de agua en energía mecánica. Al pasar por las toberas de la turbina, se reduce la presión del vapor (se expande) aumentando así su velocidad. Este vapor a alta velocidad es el que hace que los álabes móviles de la turbina giren alrededor de su eje al incidir sobre los mismos

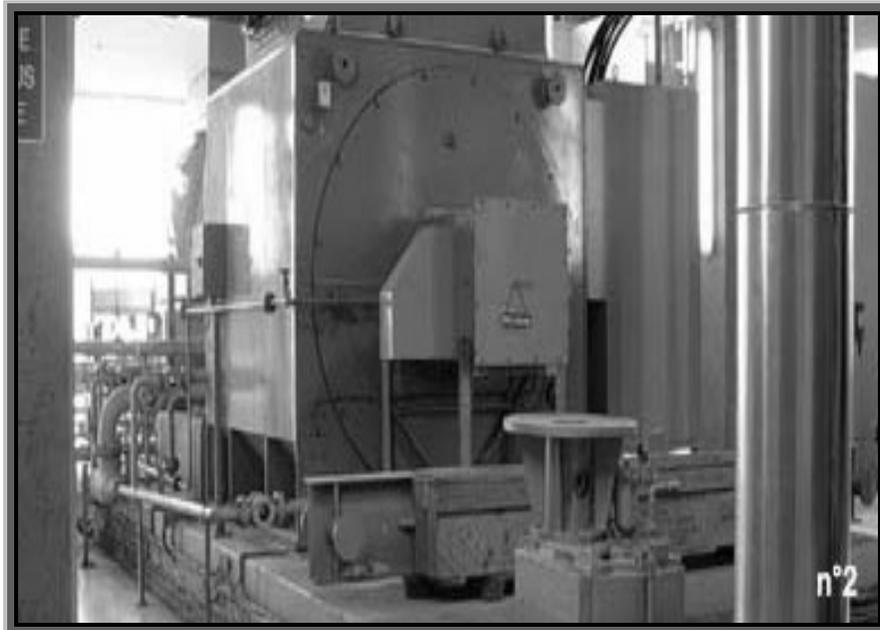


Fig. 4.12 Turbina de vapor

## 4.5 Utilización del biogás

Un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- Generar 1.25 kw/h de electricidad.
- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 1 hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 30 minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas. En escasas ocasiones la cantidad de CH<sub>4</sub> generado es aprovechado eficientemente.
- La economía de generación con el biogás de rellenos sanitarios depende fuertemente de las inversiones que para ello deban hacerse:
  - Perforación de los pozos de extracción, la construcción de la red de recolección, de la planta de tratamiento del gas y del bloque de potencia
- Costo de generación: 3 a 6 centavos de dólar por kWh.
- Si el relleno no existe, la economía del proyecto debe analizarse tanto desde el punto de vista eléctrico como desde el punto de vista ambiental.
- Si no existen condiciones para aprovechar el biogás en ninguna forma, debe considerarse la opción de captarlo y quemarlo en una instalación adecuada.

### 4.5.1 Utilización del biogas en el mundo

El gráfico 4.13 representa la participación de RSU en la utilización de energías renovables a nivel mundial.

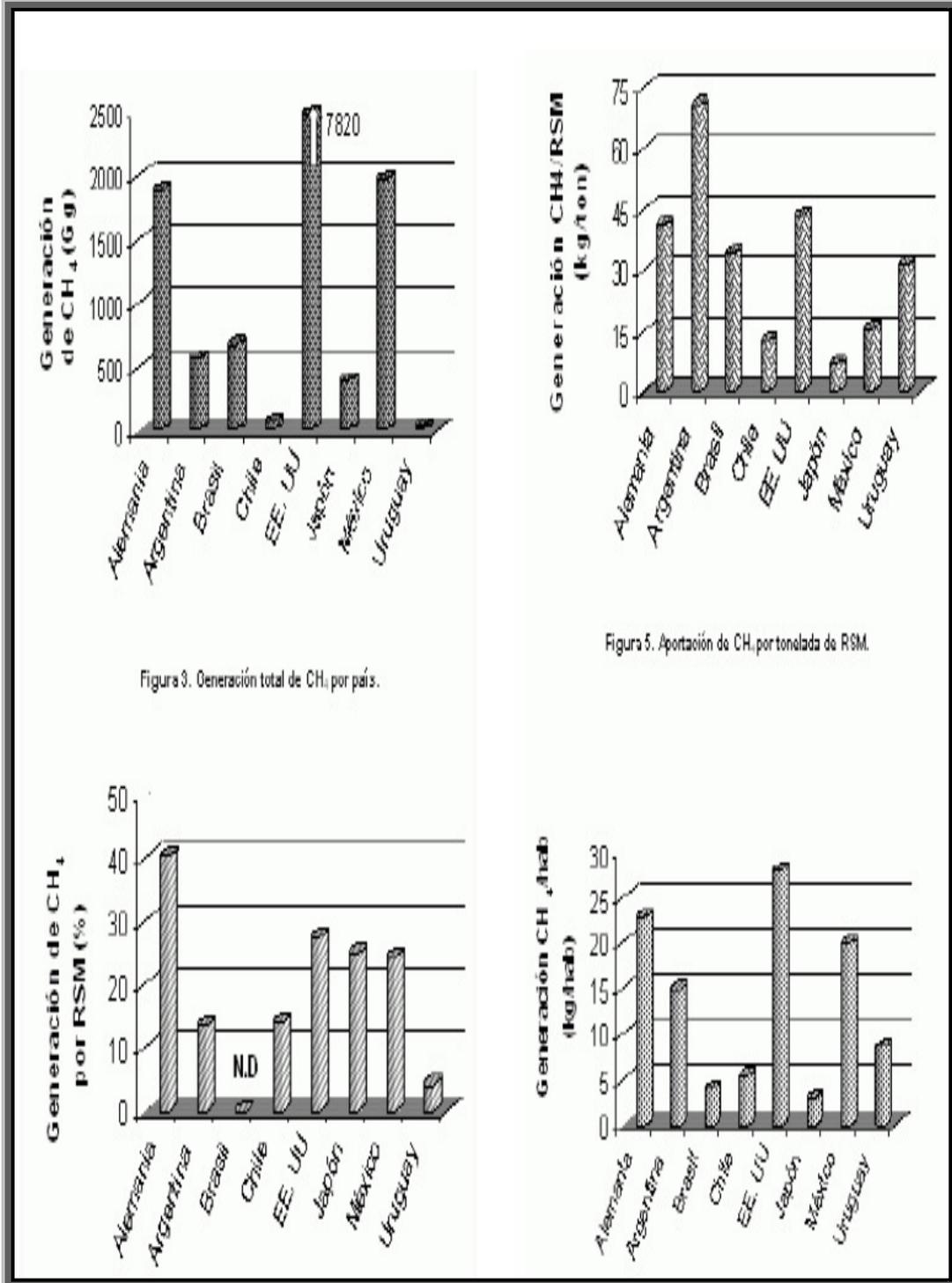


Figura 3. Generación total de CH<sub>4</sub> por país.

Figura 5. Aportación de CH<sub>4</sub> por tonelada de RSM.

Fig. 4.13 RSU en la utilización de energías renovables a nivel mundial

## 4.6 Refinación del biogás

La figura siguiente que corresponde a un proceso complejo de separación de fracciones condensables de gas natural, puede servir de referencia para la selección de opciones tecnológicas disponibles para eliminar separar H<sub>2</sub>S para el tratamiento de biogás. Según la caracterización típica del biogás, la opción de refinación del biogás no incluiría la separación de fracciones livianas mediante condensación. En todo caso el azufre sólido recuperado sí puede ser una alternativa de valorización como materia prima para la fabricación de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

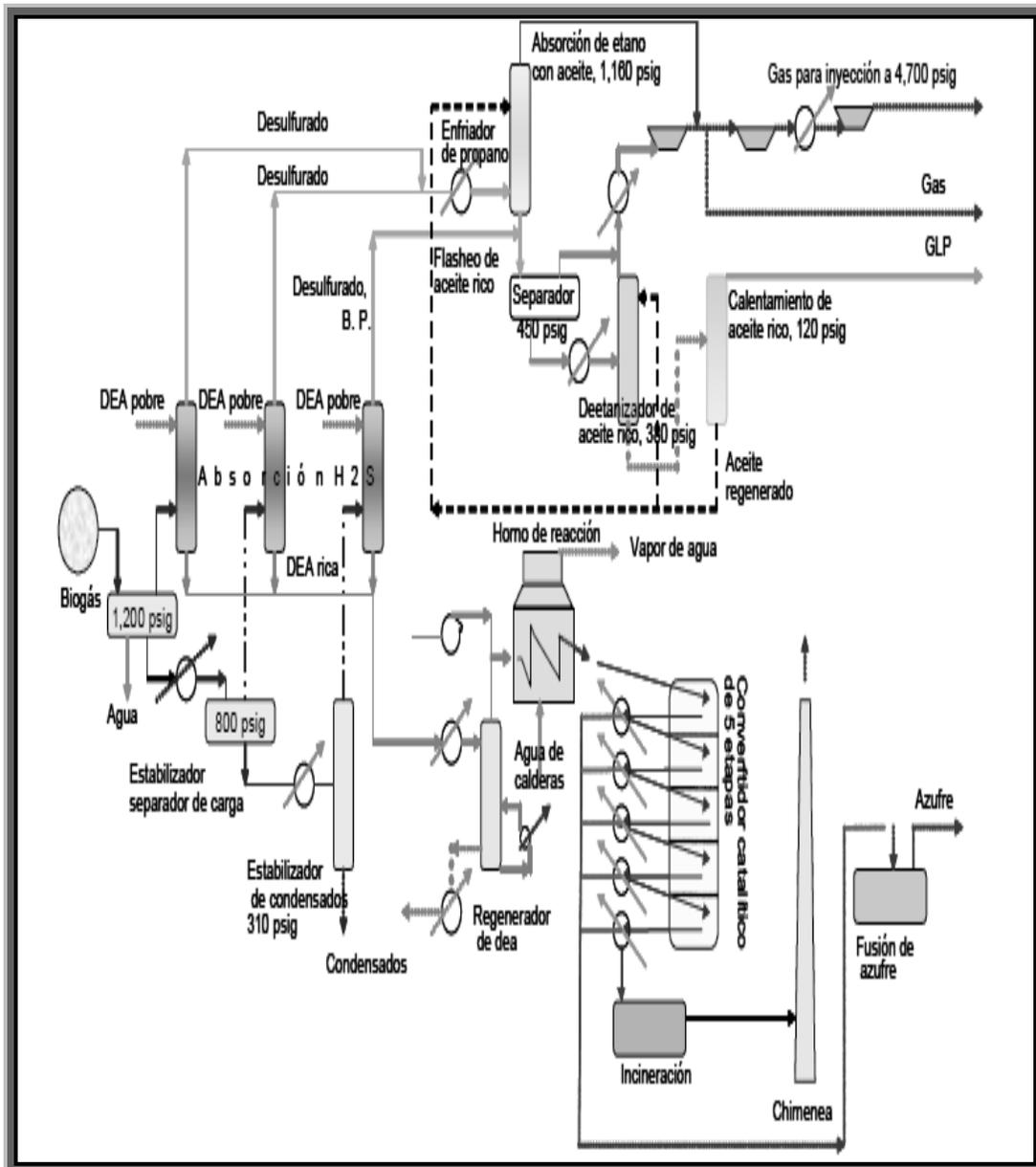


Fig 4.14 Refinación del biogás para su mejor aprovechamiento

#### 4.7 Inhibidores de la producción de biogás

La presencia en determinadas concentraciones de metales pesados, antibióticos y detergentes pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo. Ácidos volátiles en concentraciones superiores a 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 para la termofílica inhibirá la digestión, como así una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco pueden destruir las bacterias metanogénicas.

INHIBIDORES	CONCENTRACIÓN INHIBIDORA
SO <sub>4</sub>	5.000 ppm
NaCl	40.000 ppm
Nitrato (Según contenido de N <sub>2</sub> )	0,05 mg/ml
Cobre	100 mg/ml
Cromo	200 mg/ml
Níquel	200-500 mg/ml
CN	25 mg/ml
Detergente sintético	20-40 mg/ml
Sodio	3.500-5.500 mg/ml
Potasio	2.500-4.500 mg/ml
Calcio	2.500-4.500 mg/ml
Mg	1.000-1.500 mg/ml

#### 4.8 Aplicaciones del biogás

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el queroseno, el gas licuado, etc., como para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas al biogás. Mezclas de biogás con aire, en una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados. El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos transformándose principalmente en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

El biogás tiene un poder calorífico superior (PCS) en promedio es de 4.600 Kcal./m<sup>3</sup> lo que permite generar entre 1,3-1,6 Kwh., lo cual equivale a medio litro de petróleo, aproximadamente. El contenido de energía de 1 m<sup>3</sup> de biogás es aproximadamente de 5 Kwh.. Esta energía puede ser almacenada y distribuida en diferentes formas (gas a baja presión, media o alta), agua caliente o energía eléctrica.

El gas tal cual sale del digestor debe ser acondicionado a fin de asegurar un permanente y buen funcionamiento de los equipos que se alimentan de él.

A pesar de que alguno de estos acondicionamientos no son necesarios en todos los casos, otros como el drenaje del agua de condensación deberá realizarse siempre.

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural, por ejemplo en aplicaciones como: cogeneración, quemadores, estufas-infrarrojo, iluminación, motores, generación de electricidad, calor, potencia mecánica.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores.

#### **4.9 Acondicionamiento del biogás agua**

El biogás que sale del digestor está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría el vapor se condensa en las cañerías y si no se lo evacua adecuadamente pueden bloquearse los conductos con agua.

Por esta razón las cañerías de distribución deben ser instaladas con trampas de agua donde ésta se almacena y se extrae.

##### **CO<sub>2</sub>**

El dióxido de carbono es un gas inerte es decir que no tiene ningún poder calorífico y debe ser calentado en la combustión. Su eliminación no es aconsejable salvo en los casos de almacenaje del biogás a altas presiones debido a que sería inútil gastar energía de compresión y volumen de almacenaje de alto costo en un gas que no dar ningún beneficio adicional. Se utilizan varios sistemas entre los cuales los más difundidos son los que emplean su disolución en agua a presión y otros que usan mezclas químicas de gran complejidad.

##### **4.9.1 H<sub>2</sub>S**

Es muy importante hacer un seguimiento de la concentración de ácido sulfhídrico, es tóxico y en concentraciones de 2.000 ppm es mortal en un corto lapso de exposición. Por otra parte es muy corrosivo y combinado con el agua potencia su poder corrosivo sobre las partes vitales de algunas instalaciones. El sistema más utilizado para su eliminación es hacer pasar el gas por un filtro que contiene hidróxido de hierro. El H<sub>2</sub>S del gas se combina con el hierro formando sulfuro de hierro.

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico puede ser afectada por diversos factores.

Entre los factores más importantes se encuentran, el tipo de sustrato (nutrientes disponibles), la concentración del sustrato; la temperatura del sustrato; la carga volumétrica; el tiempo de retención hidráulico; el nivel de acidez (pH); la relación carbono/nitrógeno; el agregado de inoculantes; el grado de mezclado, agitación; y la presencia de compuestos inhibidores del proceso.

Las materias primas fermentables puede ser: excrementos de animales y humanos, aguas cloacales o residuales orgánicas de las industrias químicas o derivadas por ejemplo de la producción de alcohol, alimentos en general, biomasa a partir de restos de cosechas y basuras de diferentes tipos.

El proceso microbiológico no sólo requiere de fuentes de carbono y nitrógenos sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Normalmente las sustancias orgánicas como estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas.

Otras sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, comportado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas.

Cuando tratamos estiércoles animales el volumen producido y su degradación dependerán fundamentalmente del tipo de animal, peso, alimentación y del manejo que de los mismos

ESPECIE	PESO VIVO	Kg ESTIERCOL/día	l/kg. S.V.	% CH <sub>4</sub>
Cerdos	50	4,5-6	340-550	65-70
Vacunos	400	25-40	90-310	65
Equinos	450	12-16	200-300	65
Ovinos	45	2,5	90-310	63
Aves	1.5	0,06	310-620	60
Caprinos	40	1,5	110-290	--

#### 4.10 Aprovechamiento de los efluentes

Existen amplias evidencias del incremento en la producción de distintas especies provocada por la aplicación de efluentes de metanización al suelo, no obstante esto dependerá de sistemas biológicos muy complejos como son: el material orgánico de carga, el digestor, el suelo y finalmente el cultivo.

Debido a su acelerada descomposición el efluente brinda rápidamente nutrientes disponibles. Los ácidos húmicos presentes en este material contribuyen a mejorar la estructura del suelo y su porosidad aumentando al mismo tiempo la capacidad de intercambio. La cantidad de humus estable duplica generalmente al que se consigue mediante la utilización de estiércoles incrementando al mismo tiempo en forma significativa la actividad biológica del suelo.

El elevado contenido de nitrógeno en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ) presente en los efluentes ayuda a evitar la pérdida por lavado y lixiviación del nitrógeno del suelo al igual que las pérdidas por volatilización producidas por los procesos de desnitrificación biológica.

El efluente de los digestores tiene otras aplicaciones entre las cuales merecen mencionarse: la alimentación de animales en raciones balanceadas, como sustrato para el crecimiento de algas y peces en estanque cerrados.

#### **4.11 Tratamiento de líquidos cloacales**

El tratamiento realizado mediante sistemas anaeróbicos solos o combinados con tratamientos aeróbicos es una técnica muy difundida en todo el mundo desde hace más de 50 años.

Para tener una idea de su importancia, el gas generado por esta técnica en Europa alcanzaba en el año 2.000 un total de casi 600 millones de  $\text{m}^3$  anuales de biogás.

Recientes progresos en equipos de cogeneración han permitido una más eficiente utilización del gas generado y los continuos avances en las técnicas de fermentación aseguran un sostenido desarrollo en este campo. Es importante tener en cuenta que la incorporación de esta tecnología obliga a un estricto control en cuanto a tipo de productos que se vierten en los sistemas cloacales urbanos. En caso de ser vertidos aquí los desechos industriales estos deben ser tratados previamente para no crear graves problemas de funcionamiento en los reactores anaeróbicos.

#### **4.12 Plantas de tratamiento de desechos industriales**

Estos reactores anaeróbicos son de enormes dimensiones (más de 1.000  $\text{m}^3$  de capacidad), trabajan a temperaturas mesofílicas (20 °C a 40 °C), o termofílicas (más de 40 °C), poseen sofisticados sistemas de control y están generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales; calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.

En los últimos años han tenido una importante evolución siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales.

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante, en este caso la tecnología desarrollada ha buscado realizar digestores de fácil uso, mínimo costo y mantenimiento, aunque sus rendimientos son bajos, sus objetivos son dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores especialmente de zonas marginales y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía.

El vertedero es una práctica muy difundida en el mundo para eliminar las enormes cantidades de desperdicios generados en las grandes ciudades.

Hoy en día existen modernas instalaciones con técnicas de extracción de y purificación del gas metano generado.

Este gas al no ser captado y tratado genera graves problemas, entre los cuales figura el ambiental, por muerte de la vegetación que se encuentra en las adyacentes, contaminación de aguas, presencia de gases tóxicos, malos olores que molestan a los residentes y la acumulación de gases provocando mezclas explosivas.

En el vertedero se realiza un tratamiento anaeróbico diferente a los sistemas biodigestores que estaremos mencionando, en muchos casos debido a los grandes volúmenes manejados; se hacen excavaciones las cuales serán rellenadas generalmente con residuos urbanos, en su mayoría sólidos, y de los cuales no se obtendrá ningún efluente tratado, solo quedará la porción de sólidos que no se pudo degradar y el lixiviado.

Actualmente referente en instalaciones de captación y valorización de biogás de vertedero, donde ha realizado desde los años 80 multitud de trabajos tanto en proyectos de plantas de este tipo, como obras parciales y proyectos llaves en mano. Sus plantas abarcan desde pequeñas instalaciones para quemar caudales residuales de vertederos hasta completas plantas para vertederos de gran tamaño.

Es de destacar que ha desarrollado su propia tecnología, de la que es totalmente propietaria, desde los programas de control y supervisión hasta la antorchas de alta temperatura. También tiene una amplia experiencia en estudios de campo, así como en contratos de mantenimiento y gestión de instalaciones de valorización energética a partir de biogás.

Los combustibles gaseosos empleados en la actualidad son los siguientes:

- **Gas de hulla:** Los procesos de gasificación de hulla más importantes están destinados sobre todo a la producción del gas denominado "de tipo gasoducto", cuyas propiedades son más o menos equivalentes a las del gas

natural. El gas procedente de la hulla, además de cumplir las especificaciones de bombeo y calentado, debe satisfacer límites estrictos en cuanto al contenido de monóxido de carbono, azufre, gases inertes y agua. Para cumplir estas normas, la mayoría de los procesos de gasificación de hulla culminan con operaciones de limpieza y metanación del gas. En la actualidad se utilizan diversos métodos de hidrogasificación en los que el hidrógeno reacciona directamente con carbón para formar metano; estos procesos evitan el paso intermedio consistente en producir gas de síntesis, hidrógeno y monóxido de carbono antes de producir metano. Otros métodos son el proceso de aceptores de dióxido de carbono, que emplea dolomita, un material calizo, y el proceso de sal fundida. Otros gases fabricados en el pasado a partir de carbón y coque, como el gas del alumbrado o el gas de horno de coque, apenas tienen importancia hoy día.

- **Gas de alto horno:** producido por la interacción de caliza, mineral de hierro y carbono en los altos hornos, tiene un cierto poder calorífico debido a su contenido en monóxido de carbono, pero contiene un 60% de nitrógeno. Durante el funcionamiento de los hornos se producen cantidades enormes de este gas; la mayoría se emplea para calentar el chorro de aire para el horno y hacer funcionar los compresores que impulsan dicho chorro. El poder calorífico del gas de alto horno es un 16% del correspondiente al gas de horno de coque.

- **Gas natural:** extraído de yacimientos subterráneos de gas, y objeto principal de este trabajo.

- **Gas licuado de petróleo:** (GLP), mezcla de gases licuados, sobre todo propano o butano. El GLP se obtiene a partir de gas natural o petróleo. De esta clase nos ocuparemos en brevemente más adelante.

### Componentes del Biogas

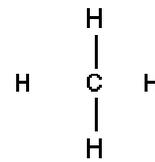
Los siguientes, son los componentes principales del biogas, estos varían según el relleno sanitario:

Componente	%	Componente	%
Metano	95,0812	i-pentano	0,0152
Etano	2,1384	Benceno	0,0050
Propano	0,2886	Ciclohexano	0,0050
n-butano	0,0842	Nitrógeno	1,9396
i-butano	0,0326	CO <sub>2</sub>	0,3854
n-pentano	0,0124	Otros	0,0124

Las propiedades del biogas según la composición indicada en el cuadro anterior, son las siguientes:

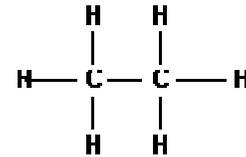
Densidad:	0,753 kg/m <sup>3</sup>	Poder calorífico:	9,032 kcal/m <sup>3</sup>
Cp (presión constante):	8,57 cal/mol.°C	Cv (volumen constante):	6,56 cal/mol.°C

**1. Metano:** Llamado gas de los pantanos, hidrocarburo de fórmula CH<sub>4</sub>, el primer miembro de la serie de los alcanos. Es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. Se encuentra en el gas natural, como en el gas grisú de las minas de carbón, en los procesos de las refinerías de petróleo, y como producto de la descomposición de la materia en los pantanos. Es uno de los principales componentes de la atmósfera de los planetas Saturno, Urano y Neptuno.



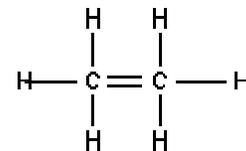
Fórmula desarrollada

**2. Etano :** Gas incoloro e inflamable, hidrocarburo de fórmula C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, el segundo miembro de la serie de los alcanos.



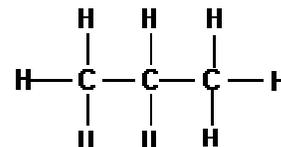
Fórmula desarrollada

**3. Eteno o Etileno:** El eteno es un hidrocarburo de fórmula C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, el miembro más simple de la clase de compuestos orgánicos llamados alquenos. Es un gas incoloro, con un olor ligeramente dulce, arde con una llama brillante, es ligeramente soluble en agua.



Fórmula desarrollada

**4. Propano :** El tercer hidrocarburo de la serie de los alcanos, de fórmula C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>. Gas incoloro e inodoro. Se encuentra en el petróleo en crudo, en el gas natural y como producto derivado del refinado del petróleo. El propano no reacciona vigorosamente a temperatura ambiente, pero, a temperaturas más altas, arde en contacto con el aire.

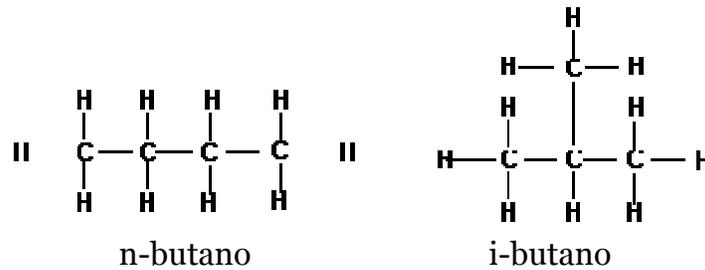


Fórmula desarrollada

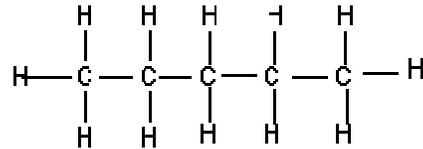
**5. Butano :** Cualquiera de los dos hidrocarburos saturados o alcanos, de fórmula química C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, en ambos compuestos, los átomos de carbono se encuentran unidos formando una cadena abierta. En el n-butano

(normal), la cadena es continua y sin ramificaciones, mientras que en el i-butano (iso), o metilpropano, uno de los átomos de carbono forma una ramificación lateral. Esta diferencia de estructura es la causa de las distintas propiedades que presentan. El n-butano y el i-butano están presentes en el gas natural, en el petróleo y en los gases de las refinerías. Poseen una baja reactividad química a temperatura normal, pero arden con facilidad al quemarse en el aire o con oxígeno.

Fórmula desarrollada:

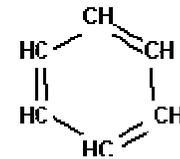


**6. Pentano:** Quinto miembro de los alcanos, de fórmula química  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ , se presenta con dos configuraciones el n-pentano y el i-pentano.



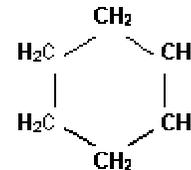
Fórmula desarrollada

**7. Benceno :** Líquido incoloro de olor característico y sabor a quemado, de fórmula  $\text{C}_6\text{H}_6$ , en estado puro arde con una llama humeante debido a su alto contenido de carbono. Sus vapores son explosivos, y el líquido es violentamente inflamable.



Fórmula desarrollada

**8. Ciclohexano :** Líquido volátil e incoloro con olor penetrante, de fórmula  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ , que acompaña al gas natural.



Fórmula desarrollada

Propiedades principales de los componentes del biogas (15 °C y 1 atmósfera)

Combustible	P.F. °C	P.E. °C	P.M. kg	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Poder Calorífico kcal/m <sup>3</sup>	Calor de Combustión kcal/kg
Metano	-182,5	-161,5	0,016	0,7175	9024	13187
Etano	-183	-87	0,030	1,3551	15916	12267

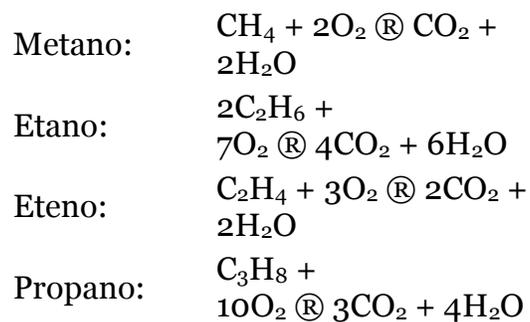
Etileno	-169,4	-103,8	0,028	1,26	-	-
Propano	-189,9	-42,1	0,044	2,0098	22846	11955
n-butano	-138,3	-0,5	0,058	2,7068	30144	11862
i-butano	-145	-10,2	0,058	2,7091	29955	-
n-pentano	-130	36	0,072	3,5066	38149	-
i-pentano	-	-	0,072	3,4354	37630	-
Benceno	5,5	80,1	0,078	890	-	10026
Ciclohexano	6,55	80,74	0,084	-	-	11167

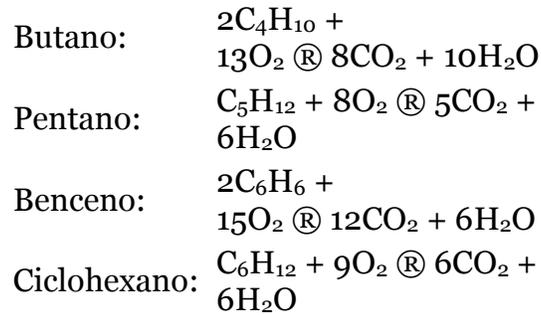
## Combustión

Es el proceso de oxidación rápida de un combustible acompañado de un aumento de calor y frecuentemente de luz. En el caso de los combustibles comunes, el proceso consiste en una combinación química con el oxígeno de la atmósfera que lleva a la formación de dióxido de carbono, monóxido de carbono y agua, junto con otros productos como dióxido de azufre, que proceden de los componentes menores del combustible.

A los combustibles gaseosos como el biogas, el gas refinado o los gases manufacturados, se les añade aire antes de la combustión para proporcionarles una cantidad suficiente de oxígeno. La mezcla de aire y combustible surge del quemador a una velocidad mayor que la de la propagación de la llama, evitando así el retroceso de ésta al quemador, pero permitiendo el mantenimiento de la llama en éste. Estos combustibles, en ausencia de aire, arden con llamas relativamente frías y humeantes. Cuando el gas natural arde en el aire alcanza temperaturas que superan los 1.930 °C.

Las reacciones de combustión de los gases que nos interesan son las siguientes:



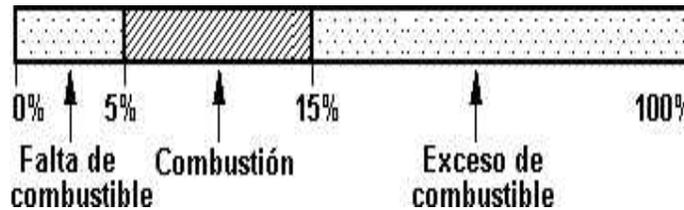


### Limites de inflamabilidad

El biogas es susceptible de reaccionar con aire u oxígeno produciendo llama y gran cantidad de calor, el gas como combustible y el aire como comburente. La inflamación del gas depende de los límites de inflamabilidad, la temperatura de autoignición y la mínima energía para su inflamación.

Por ejemplo, una mezcla de gas y aire puede producir llama únicamente cuando la mezcla contiene una proporción de gas suficiente.

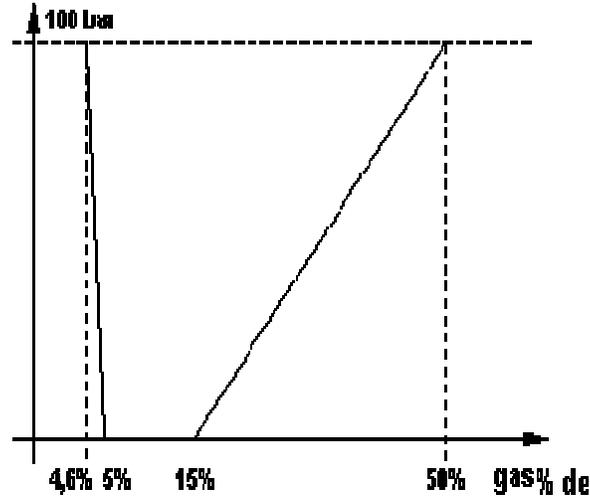
Para el biogas, el (L.I.I.) límite inferior de inflamabilidad (5%) es aquel hasta el cual la mezcla es pobre en combustible. Superado el (L.S.I.) límite superior de inflamabilidad (15%) la mezcla pasa a tener un exceso de combustible. Entre ambos límites se encuentra toda la mezcla inflamable cuando además coincide una energía de activación.



Si a presión atmosférica la temperatura aumenta el LII se reduce, en cambio el L.S.I. aumenta. Si a temperatura constante varía la presión, tenemos:

Presión	1,013 bar	7 bar	14 bar	21 bar	100 bar
L.I.I.	5%	4,98%	4,93%	4,9%	4,6%
L.I.S.	15%	18%	24%	32%	50%

## Índice de octano



Los combustibles líquidos y gaseosos se clasifican en base a una escala conocida como índice de octano. El fundamento de esta escala es la propiedad de algunos combustibles a producir golpeteo en las máquinas de combustión interna.

Para clasificar un combustible se necesita una máquina normalizadora. Al heptano ( $C_7H_{18}$ ) se le asigna arbitrariamente un índice de octano de cero y al 2,2,4-trimetilpentano de 100. La máquina normalizadora se pone a funcionar con el combustible que se prueba, así como con varias mezclas de los patrones. Cuando una de las mezclas de los dos combustibles de referencia causa el mismo efecto que el combustible de prueba, el ensayo concluye. El índice de octano del combustible de prueba es el correspondiente al porcentaje del 2,2,4-trimetilpentano de la mezcla con heptano.

# **CONCLUSIONES**

Creo que hoy en día es más que difícil imaginar nuestra vida sin electricidad. Sólo basta con ver lo que ocurre cuando hay un corte del suministro eléctrico: en los hospitales, en la vía pública, la iluminación de espacios públicos, sistemas de alarmas, luz en nuestros hogares etc. Todas estas demandas de electricidad han hecho que se genere cada vez más energía eléctrica utilizando el petróleo como primera fuente, lo que está provocando un gran deterioro ambiental, que afecta seriamente al planeta entero.

Con los nuevos avances tecnológicos se espera que la contaminación se reduzca drásticamente, salvando poco a poco a nuestro planeta, como se ha visto hoy en día con el cambio climático que cada vez está más deteriorado

Actualmente vivimos en un mundo donde la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías y alternativas energéticas, se han vuelto cada vez más importantes debido a que algunos de los procesos con los que hoy en día se genera la energía eléctrica contaminan nuestro planeta, y es de suma importancia que el desarrollo de la energía eléctrica se siga dando.

Es importante que consideremos el uso de nuevas tecnologías para el desarrollo de sistemas de generación de energía eléctrica, ya que de esta forma ayudamos a la preservación de nuestro medio ambiente ya que las nuevas tecnologías pretenden generar energía eléctrica sin provocar ningún tipo de contaminante.

Cada municipio tiene un tiradero encargado de recolectar los desechos de los habitantes y sería muy ambiguo intentar revelar información de todos los tiraderos en un solo proyecto. Por esa razón, me limitare a hablar solo del Bordo de Xochiaca de la Ciudad de Nezahualcóyotl.

Pero qué se hace con la basura al llegar al tiradero, como está compuesta la administración directiva del sitio, así como que consecuencias trajo la construcción de Ciudad Jardín (construcción que se hizo en terreno del basurero).

Como en todo trabajo, el tiradero está compuesto por una administración y un grupo de personas que trabajan para que los habitantes del municipio tengan un servicio de retiro de desechos adecuado. Los 1.140.528 habitantes de Nezahualcóyotl depositan a diario su basura en los carros recolectores, pero ¿y luego qué sucede?, en el Bordo de

Xochiaca no cuenta con geomembranas que eviten la contaminación, tampoco tienen pozos para el drenaje del biogás, además que no saben por qué salida optar si el relleno llega a su límite, y lo que queda es alargar la vida del sitio por medio de la separación de la basura. La meta de este tiradero es tener un relleno sanitario y un tiradero controlado, es decir que no se dejen pasar residuos tóxicos o contagiosos de hospitales. Además de impulsar una campaña para concientizar a la ciudadanía acerca de la separación de basura.

Entre sus planes futuros que tiene la administración del tiradero se encuentra el cubrir con un tepetate la basura para disminuir la contaminación, también poner pozos para que haya un drenaje activo y chimeneas (la idea es quemar la basura y usar los gases, como gas butano, o para producir electricidad). Con esto no crear un relleno sanitario, ya que al sepultar la basura, el terreno queda devaluado.

Se busca crear una zona industrial, que conste de fábricas de reciclaje, como la planta de separación de residuos que ya lleva un 80% de su construcción y se espera que esta pueda operar en los próximos cuatro meses. Esta planta tendrá líneas transportadoras, para que la basura corra sobre ellas y así sea más fácil separarla. Con esta planta se planea dar alrededor de 740 empleos a pepenadores, ya que ellos saben cómo separar la basura.

Tienen otros proyectos, que es el de construir una trituradora para material de construcción para su reúso; y la instalación de fábricas para reciclar lo que se va quedando, para agregarles aditivos a la creación de tabiques con esa materia inerte; esas fábricas (países como Holanda, Noruega y Alemania podrían ayudar a impulsar el proyecto) podrían ser construidas en lo que es el territorio de 30 hectáreas conocido como Neza III.

La atmósfera es densa y el aire pesado, cuesta trabajo respirar entre las más de 12 mil toneladas diarias de basura que poco a poco conforman montañas de productos consumidos por la sociedad de la zona metropolitana, de la Ciudad de México y el oriente del Edomex.

Una señora busca y rebusca entre plásticos, zapatos, bolsas y alimentos adornados por moscas y larvas mientras varios perros se pelean por un hueso; una carreta llena de unos 100 kilos de desechos de Ciudad Neza es dirigida por una madre y su hijo cuando golpean con un látigo a la mula malcomida que dejó en su pasado bucólico por calles pavimentadas llenas de mierda y basura.

Decenas de aves de rapiña observan desde los cielos los camiones y tráilers que siguen llegando sin parar mientras los pepenadores, esos recicladores humanos a quien se degrada y discrimina siguen

tratando de sobrevivir y redimir la ignorancia, ineptitud y ceguera con la que se trata a los residuos sólidos en este país, tanto por las autoridades como por los mexicanos en general.

No obstante, estos recursos se encuentran lejos de los grandes consumos y presentan complicaciones técnicas al momento del tratamiento de la materia, esto se traducen en mayores costos a la hora de invertir en su explotación. Sin embargo el recurso del biogas representa una atractiva solución económica, ecológica y técnica, que ayudaría a la eliminación del grave problema de la basura, que hasta la fecha no se ha invertido en México algún sistema para atacar este problema. Se prefieren tener los tiraderos cerrados y mantenerlos así que, invertirle a la generación de energía eléctrica utilizando esta materia prima.

El resumen sobre el desarrollo histórico de la explotación de la energía producida por el biogas proporciona una visión general de los problemas que se han presentado a lo largo de los años y que han sido resueltos con el tiempo, la experiencia y la nueva tecnología. De esta misma manera se ofrecen antecedentes que intentan explicar el constante incremento de interés que el recurso del biogas ha adquiridos en los últimos 15 años. Se observa una clara tendencia a desarrollar la explotación de los recursos renovables, por un lado por el agotamiento de los combustibles fósiles y por el otro, la preocupación por la alteración climática que esta sufriendo el planeta por el denominado efecto invernadero.

La energía eléctrica ha sido y seguirá siendo de suma importancia para el avance tecnológico de la humanidad. Algún día el ser humano despertara de una larga pesadilla y recordara su propio pasado energético, rodeado del mundo que destruyo; no comprenderá la locura de los que se embarcaron en agotar en menos de 250 años, unos recursos fósiles que habían tardado 600 millones de años en formarse. Pero todavía no hemos despertado todavía continuamos en el sueño.

## **GLOSARIO**

<b>Aprovechamiento</b>	Proceso mediante el cual , a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales o económicos.
<b>Biogás</b>	Mezcla de gases, producto del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica o biodegradable de los RSU, cuyo componente principal es el metano.
<b>Botadero</b>	Sitio de acumulación de residuos sólidos que no cumple con las disposiciones vigentes o crea riesgos para la salud y seguridad humana o para el ambiente en general.
<b>Centros de gran generación</b>	Lugares en los cuales se genera diariamente una gran cantidad de residuos sólidos, que por sus características, deben almacenarse en forma segura, higiénica y sanitaria.
<b>Combustible</b>	Materiales que pueden ser incinerados a una temperatura específica, en presencia de aire para liberar energía calorífica.
<b>Combustión</b>	Combinación química de oxígeno con una sustancia (OXIDACIÓN), produciéndose calor y normalmente luz.
<b>Compost</b>	Material estable que resulta de la descomposición de la materia orgánica en procesos de compostaje.
<b>Compostaje</b>	Proceso mediante el cual la materia orgánica contenida en los RSU se convierte a una forma más estable, reduciendo su volumen y creando un material apto para cultivos y recuperación de suelos.
<b>Contaminante</b>	Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos o formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera agua, suelo, flora o fauna, o cualquier elemento ambiental, altere o modifique su composición natural y degrade su calidad.
<b>Cultura de la no basura</b>	Es el conjunto de costumbres y valores de una comunidad que tienden a la reducción de las cantidades de residuos

	generados por cada uno de sus habitantes y por la comunidad en general, así como al aprovechamiento de los residuos potencialmente reutilizables.
<b>Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</b>	Resultado de la combinación del óxido nítrico con oxígeno en la atmósfera. Es el mayor componente del smog fotoquímico.
<b>Dioxinas</b>	Miembros de la familia de los compuestos orgánicos conocidos como policlorodibenzodioxinas (PCDD). Una molécula de la familia PCDD está formada por una estructura de triple anillo en la que dos anillos del benceno están interconectados por un par de átomos de oxígeno.
<b>Lixiviado</b>	Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los RSU bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	Gas venenoso, inodoro, incoloro, producido de la combustión incompleta de un combustible fósil.
<b>Nivel freático</b>	Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno.
<b>Permeabilidad</b>	Propiedad que tiene los cuerpos de permitir el paso de un fluido a través de él.
<b>Presentación</b>	Actividad del usuario de empacar y envasar todo tipo de residuos sólidos para su almacenamiento y entrega a la entidad prestadora del servicio de aseo para aprovechamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final.
<b>Recuperación</b>	Acción que permite retirar y recuperar de los RSU aquellos materiales que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento, para convertirlos en materia prima útil en la fabricación de nuevos productos.
<b>Relleno sanitario</b>	Lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería. Confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final.

<b>RSU</b>	Todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o recirculación a través de un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, no se reincorporan al ciclo económico y productivo, requieren de tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición.
<b>Residuo sólido</b>	Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico. Se dividen en aprovechables y no aprovechables.
<b>Residuos peligrosos</b>	Aquellos que por sus características infecciosas, combustibles, inflamables, explosivas, radiactivas, volátiles, corrosivas, reactivas o tóxicas pueden causar daño a la salud humana o al medio ambiente. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.
<b>Residuo sólido combustible</b>	Residuo peligroso que exhibe las características de combustible establecidas en la definición de residuo peligroso.
<b>Residuo sólido comercial</b>	Residuo generado en establecimientos comerciales y mercantiles tales como almacenes, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías y plazas de mercado.
<b>Residuo sólido corrosivo</b>	Residuo peligroso que exhibe las características de corrosivo establecidas en la definición de residuo peligroso.
<b>Residuo sólido domiciliario</b>	Residuo que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento asimilable a éstas.
<b>Residuo sólido especial</b>	Aquellos por su naturaleza, composición, tamaño, volumen y peso, no pueden ser manejados, tratados o dispuestos normalmente, a juicio de la entidad prestadora del servicio de aseo.

**Residuos**

Residuos generados en viviendas, parques, jardines, vía pública, oficinas, mercados, comercios, demoliciones, construcciones, instalaciones, establecimientos de servicios y, en general, todos aquellos generados en actividades urbanas que no requieran técnicas especiales para su control.

## **BIBLIOGRAFIA**

- <http://www.ecopibes.com/problemas/basura/index.html>
- [http://www.iica.int.ni/Estudios\\_PDF/Biodisgestores.pdf](http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Biodisgestores.pdf)
- [www.textoscientificos.com](http://www.textoscientificos.com)
- <http://www.medioambiente.gov.ar>
- <http://www.proteger.org.ar/biogas-combustible/>
- <http://www.planthogar.net/encyclopedia/jump.asp%3Fdoc%3D00000293.htm>
- <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>
- <http://www.expansion.com/2010/01/14/empresas/energia/1263505473.html>
- <http://ceamse.gov.ar/el-biogas-de-rellenos-sanitarios/>
- <http://www.abc.es/20120125/madrid/abcp-biogas-basura-vendera-20120125.html>
- <http://www.yobiogas.com/>
- [http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/sit\\_actual\\_renovables/biogas.htm](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/sit_actual_renovables/biogas.htm)
- <http://materias.fi.uba.ar/6756/Aplicaciones%2520del%2520Biogas%25201C%252007.pdf>
- <http://www.um.es/gtiweb/allmetadata/biogas.htm>
- [http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Plan/Documentos/DocumentoCompleto/9Cap37\\_AreaBiogas.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Plan/Documentos/DocumentoCompleto/9Cap37_AreaBiogas.pdf)
- <http://www.epa.gov/lmop/international/mexicano.html>
- <http://inciclopedia.wikia.com/wiki/Basura>
- [http://www.cotecnica.com/ambiente\\_solido.html](http://www.cotecnica.com/ambiente_solido.html)
- <http://www.liceodigital.com/quimica/desechos.htm>
- [http://www.buscalogratis.com/ecologia\\_transformacion\\_basura.htm](http://www.buscalogratis.com/ecologia_transformacion_basura.htm)
- <http://debarrena.net/normativas-municipales/residuos-solidos>
- [http://www.eraecologica.org/revista\\_18/desechos\\_solidos.htm](http://www.eraecologica.org/revista_18/desechos_solidos.htm)
- <http://elblogverde.com/la-contaminacion/>
- <http://www.ecopibes.com/problemas/contaminacion/index.html>
- <http://www.cienciafacil.com/energiascapitulo1.pdf>
- <http://www.proyectosfindecarrera.com/biogas-para-electricidad.htm>