



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS
MUNICIPALES EN LA SOCIEDAD MODERNA

TRABAJO MONOGRAFICO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUÍMICA
MARIA LUISA VICTORIA BLANCAS HERRERA

MÉXICO D. F.

2013





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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: EDUARDO ROJO Y DE REGIL

VOCAL: Profesor: REYNALDO SANDOVAL GONZÁLEZ

SECRETARIO: Profesor: ALEJANDRO LEON IÑIGUEZ HERNANDEZ

1er. SUPLENTE: Profesor: HUGO NORBERTO CICERI SILVENSES

2do. SUPLENTE: Profesor: ALEJANDRO ZANELLI TREJO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: CIUDAD UNIVERSITARIA

ASESOR DEL TEMA: DR. REYNALDO SANDOVAL GONZÁLEZ

(nombre y firma)

SUSTENTANTE(S): MARÍA LUISA VICTORIA BLANCAS HERRERA

(nombre y firma)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
OBJETIVOS	i
INTRODUCCION	ii
CAPÍTULO I	
GENERACIÓN DE RESIDUOS	1
C A P Í T U L O II	
COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	7
C A P Í T U L O III	
REUTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS	14
C A P Í T U L O IV	
FABRICACIÓN DE COMPOSTAS	23
CAPÍTULO V	
RELLENOS SANITARIOS	39
CAPÍTULO VI	
INCINERACIÓN	52
CAPÍTULO VII	
PIRÓLISIS	66
CAPÍTULO VIII	
GASIFICACIÓN	73
CAPÍTULO IX	
GASIFICACIÓN POR PLASMA	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
GLOSARIO	98
BIBLIOGRAFIA	100

OBJETIVOS

1.-Revisar cada uno de los pasos sobre el procesamiento de los residuos sólidos municipales en la sociedad moderna en México.

2.-Abordar la situación actual de la generación de estos residuos, composición y el procesamiento mediante un desarrollo sustentable

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad a nivel mundial nos encontramos inmersos en una situación que a través de los años ha ido cobrando cada vez más importancia dado el impacto ecológico y sanitario de los residuos ya sean sólidos, líquidos o/y gases que se producen a nivel mundial, siendo los residuos sólidos los de mayor trascendencia, los cuales crecen aceleradamente debido al aumento de la población y a los avances tecnológicos orientados a satisfacer nuevos hábitos de consumo, muchas veces innecesarios. Es importante mencionar que los países desarrollados y los subdesarrollados son los que presentan mayor problemática, todo en relación directa con las diferentes actividades productivas que desarrollan.

La producción de los residuos sólidos de la población responde a varios parámetros; nivel socio económico, tamaño de la población y época del año. En la actualidad se estima una producción de residuos sólidos en el medio urbano internacional, de los más representativos encontramos; España con una producción media por habitante de 1.2Kg/día, en países nórdicos alcanzan tasas de 1.5 a 2.5 Kg/día, Estados Unidos alcanza los 2 Kg/día y las grandes ciudades cerca de 3 Kg/día, América del Sur está entre 0.4 y 0.8 Kg/día, mientras que en México la producción media es de 1kg/día.

Es impresionante la dimensión acrecentada de la generación de residuos, un ejemplo representativo de ello es Argentina donde los residuos sólidos se han incrementado de 6 mil toneladas a 54 mil toneladas diarias del 2004 al 2010. Esto ha dado como resultado que en algunos países se esté empezando a construir plantas tratamiento de residuos sólidos con tecnología de punta, sobre todo en países desarrollados como lo son Estados Unidos, Corea y China.

La cantidad y tipo de desechos que se generan depende, del grado de desarrollo industrial y de servicios que tiene el país o región, asimismo las pautas de consumo de la sociedad, de acuerdo a la procedencia de éstos y sus características, se clasifican como residuos sólidos municipales a los que provienen de casas habitación, servicios públicos, demoliciones, construcciones. Establecimientos comerciales y servicios, así como los residuos industriales que no se deriven de un proceso y los llamados residuos peligrosos.

Los residuos sólidos tienen varios efectos negativos sobre el ambiente. Cuando son vertidos en los cuerpos de agua alteran la estructura física del hábitat e impactan la calidad del agua, el agua subterránea de los acuíferos puede contaminarse por infiltración de lixiviados derivados de los residuos que contienen materiales tóxicos. Los residuos también afectan la calidad del aire, pues generan malos olores, producción de humos, gases, partículas en suspensión. Por otro lado favorecen la presencia de fauna nociva, si lo

asociamos a los tiraderos pueden provocar la trasmisión de varias enfermedades gastrointestinales, dermatopatías, neumopatías y otras.

Uno de los retos que se enfrentan hoy en México es la disposición y manejo adecuado de los residuos sólidos municipales e industriales, ya que no existe una infraestructura sólida que satisfaga la demanda. Por lo que se está trabajando en ello ya que existen cinco razones fundamentales por las cuales debe hacerse:

- 1.-Provocan la proliferación de enfermedades y la contaminación de agua y aire.
- 2.-El tratado de libre comercio y los acuerdos ambientales han fijado la atención hacia las necesidades ambientales de México.
- 3.- La cantidad de los residuos en la República ha crecido.
- 4.-Actualmente existen muy pocas instalaciones de rellenos sanitarios que puedan recibir, tratar y eliminar los residuos sólidos generados.
- 5.- No hay inversión para el tratamiento de residuos sólidos comparado con las necesidades de México.

Estos puntos nos permiten darnos cuenta de que una problemática importante es la cuestión monetaria, En nuestro país la inversión pública para el medio ambiente es de 2.5 millones de dólares. Sin embargo no hay presupuesto para este fin. Existen posibilidades para inversión privada en la eliminación de los residuos sólidos lo cual en últimos días se ha visto como una de las alternativas más viables.

Existen diferentes métodos para tratar los residuos sólidos, de los más representativos encontramos: Reciclaje que consiste en volverlos a usar para lo mismo que fueron fabricados o bien para otra función distinta; La composta que es el producto que se obtiene al descomponerse los desechos orgánicos; El relleno sanitario método que consiste en depositar los residuos sólidos, los cuales se esparcen y se compactan reduciéndolos al menor volumen, para que ocupen una menor área y al final del día se cubren con tierra y se compactan; La incineración es uno de los procesos térmicos que se aplica en tratamiento de los residuos sólidos urbanos para disminuir y aprovechar la energía que contienen, una de las desventajas que se presentan son las emisiones atmosféricas de las dioxinas, furanos, escorias y cenizas formadas; Pirólisis es otro método para tratar los residuos sólidos que consiste en la descomposición química de la materia orgánica y todo tipo de materiales excepto metales y vidrio; La gasificación es un proceso de conversión de residuos sólidos en un gas combustible y reductor por medio de una reacción con unos agentes gasificantes aire, oxígeno y agua; La gasificación por plasma es la transformación de los materiales que contienen carbono una atmósfera pobre de oxígeno usando una fuente de calor para producir un gas combustible llamado syngas.

Son diferentes métodos y técnicas que se utilizan para el adecuado manejo de los residuos, cuyos beneficios principales son la conservación y en algunos casos la recuperación de los recursos naturales.

Haciendo un estudio comparativo con las ciudades más representativas del mundo en cuanto a la producción y el manejo de los residuos sólidos, como lo es Hong Kong principal país productor de residuos del continente asiático y del mundo, en segundo lugar dentro del continente asiático encontramos a China ambos generan cantidades considerables de residuos, pero Hong Kong tiene un manejo más apropiado de ellos, inclusive exporta los materiales resultantes a otros países para reutilizarlos. En el continente Europeo desde hace cuatro años, la tendencia a la estabilización de la producción de residuos urbanos se ha generalizado en la mayoría de sus países con algunas excepciones como es el caso de España, donde todavía existe una tendencia al crecimiento de la producción residual. En Estados Unidos de América, específicamente en la Cd. De los Ángeles en el año 2011, se generaron 8 739 009 toneladas de desechos, logrando el reciclaje en un 70%, en Nueva York se produjeron 14 000 000 de toneladas de residuos sólidos durante el mismo año, cuyo principal medio de degradación fue la incineración. Sin embargo para este año han diseñado nuevas estrategias para la reducción de residuos, dándole mayor importancia y trascendencia al reciclaje y el compostaje. En África se ha observado en los últimos años un incremento considerable de la producción de residuos sólidos debido al incremento en la población, los niveles crecientes de consumo de productos, esto ha provocado que los índices de generación de desechos, están rebasando la capacidad de las autoridades locales, para recolectarlos y eliminarlos. Cabe mencionar que en todo África sólo se recolecta y recicla el 2% de los residuos Sólidos Municipales. En Centroamérica el 79% de los residuos generados son depositados en vertederos o tiraderos a cielo abierto. En América latina y el caribe en los años 2002 al 2004, el promedio de disposición final de los RSM, es 22.6 % en rellenos sanitarios clandestinos, el 23.7% en rellenos sanitarios controlados, el 45.3 % en tiraderos a cielo abierto, y el 8.4% son vertidos en ríos y lagunas.

Vivimos en una sociedad consumista, esto genera gran cantidad de residuos y a pesar que la tecnología avanza, no se tiene una cultura ambiental y es difícil solucionar el problema, si no hay inversión pública. Se tiene que fortalecer la infraestructura para el manejo de los mismos, para darle un manejo adecuado que permita un desarrollo sustentable óptimo.

C A P Í T U L O I

GENERACIÓN DE RESIDUOS

Los residuos sólidos municipales son sólo una parte de los residuos generados, por su importancia consumen alrededor de la tercera parte de los recursos invertidos por el sector público para abatir y controlar la contaminación.

Los residuos sólidos pueden tener varios efectos ambientales negativos cuando son vertidos en el agua. Este tipo de residuos afectan la calidad del aire pues generan malos olores, producción de humos, gases y partículas en suspensión.

Por otro lado, la presencia de ratas, cucarachas e insectos asociados a los tiraderos provocan transmisión de enfermedades.

El aumento en volumen de residuos sólidos generados conlleva a grandes problemas de recolección y agotamiento de la vida útil de los rellenos sanitarios. Se incrementó en los últimos años 57%, alcanzando de 37.6 millones de toneladas por año.

Los residuos sólidos se clasifican en: peligrosos, municipales e industriales de manejo especial, como se muestra en la fig. 1.1.

La mayoría de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) son generados por las actividades rutinarias de la vida cotidiana en contraste con actividades especiales o inusuales.

En México, los Residuos Sólidos Municipales (RSM) los define el Instituto Nacional de Ecología (INE) como: "Los RSM o basura, son todos aquellos residuos que surgen de las actividades humanas y animales, normalmente son sólidos y se desechan como inútiles o no queridos, éstos provienen de las actividades que se desarrollan en casas habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de su proceso y no estén considerados como peligrosos".

Para entender su generación es importante considerar su ubicación geográfica y el uso del suelo. Así se puede definir una clasificación base de los orígenes que puede llegar a ser variable según el autor; en Doméstico, Comercial, Institucional, Construcción, Servicios municipales, Zonas de tratamiento, Industrial y Agrícola.

TIPOS DE RESIDUOS Y GENERADORES	
Clasificación de residuos	Tipos de generadores
<p>RESIDUOS PELIGROSOS: Son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o agentes biológico-infecciosos) que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados al ser transferidos a otro sitio.</p>	<p>MICROGENERADORES: Producen hasta 400 kilogramos de residuos peligrosos.</p>
<p>RESIDUOS MUNICIPALES: Son aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.</p>	<p>GENERADORES PEQUEÑOS: Producen de 0.4 a menos de 10 toneladas.</p> <p>GRANDES GENERADORES: Producen 10 o más toneladas anuales.</p>
<p>RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL: Son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.</p>	

Fuente: DOF Ley General de Prevención y Gestión Integral de los Residuos en México.

Fig. 1.1 “Tipos de residuos y generadores”

A su vez, existen diversas clases de desechos, cada uno con características propias que ayudan a entender mejor su composición y origen:

1. Residuos de alimentos.- Son residuos de comida de tipo vegetal o animal que resultan de la preparación, manejo y cocinado de alimentos. Su característica principal es su rápida descomposición que genera mal olor y contribuye a la transmisión de enfermedades vía moscas o ratas.

2. Residuos Municipales.- Consiste en sólidos variados que provienen de zonas comerciales e industriales. Están conformados por dos tipos de materiales: combustibles (papel, cartón, textiles y madera.) y no combustibles (vidrio, latas y metales, entre otros).

3. Cascajo.- Su origen proviene de la demolición o remodelación de casas o edificios. Entre los materiales se encuentran: piedras, concreto, varillas y restos de plomería, entre otros.

4. Residuos no específicos.- Son desechos que provienen de la limpieza de calles, carreteras y zonas abiertas al público. Son muy variados y por lo mismo difíciles de controlar, no se conoce su naturaleza ni localización.

5. Residuos de plantas de tratamientos.- Son los lodos generados al separar los contaminantes del agua en plantas de tratamiento. Son residuos capaces de ser empleados para mejorar el suelo y cubrir las celdas en los rellenos.

6. Residuos agropecuarios.- Incluyen tanto los residuos de la producción de vegetales y fruta como los de la cría de ganado.

7. Residuos Peligrosos.- Son los desechos que pueden causar daño al medio ambiente mediante reacciones químicas o biológicas. También son una amenaza para la salud humana y de cualquier ser vivo. Se originan generalmente en procesos industriales.

8. Residuos no domiciliarios.- Son aquellos que no se generan dentro de las casas habitación diariamente pero se consideran como municipales, entre ellos se encuentran: desechos de jardinería, envases de locales comerciales, residuos de bares y restaurantes, residuos de hoteles, clínicas y escuelas y animales muertos, entre otros.

9. Residuos industriales.- Son desechos que no tienen uso dentro de la industria y que, por su no peligrosidad, son desechados junto con los residuos municipales.

10. Residuos especiales.- Son aquellos que por sus características requieren de manejo especial, tal como los residuos de hospitales.

La generación de residuos se inicia cuando un consumidor decide que un producto ya le resulta no deseable o inservible. Este momento varía con el criterio de cada individuo y

de sus costumbres. Asimismo, la generación de residuos sólidos se encuentra sumamente ligada con el grado de desarrollo de una localidad, la densidad de población y el ingreso económico. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el mayor número de desechos en kilogramos por habitante al día es mayor en una localidad urbana, seguida por metropolitana, después semiurbano y por último los desechos de una localidad rural. Situación que se refleja de la siguiente manera en nuestro país de acuerdo a las estadísticas de la SEMARNAT.

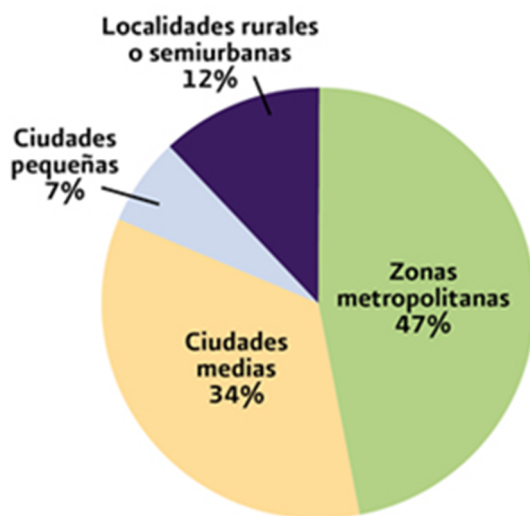


Fig. 1.2 "Generación de RSU por tipo de localidad 2009

Fuente: SEDESOL. Dirección General de Equipamiento Infraestructura en Zonas Urbanas Marginadas. México.2009.

Por tanto al incrementarse la población se genera mayor cantidad de residuos municipales por habitante. En México ha aumentado la generación de residuos de manera lineal (Fig. 1.3) con el gasto en consumo final privado y el producto interno bruto, siendo uno de los más altos de América Latina y cerca del promedio de los países europeos.

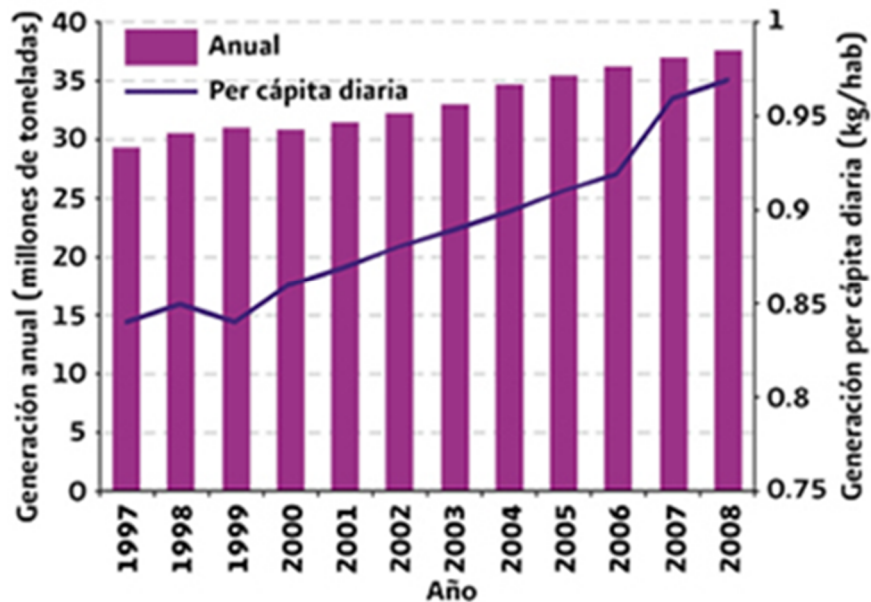


Fig. 1.3 Generación de RSU en México, 1997-2008

Fuente: Sedesol. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México. 2009

El volumen estimado de generación nacional de RSU creció, entre 1997 y 2008, alrededor de 28%, pasando de 29.3 a 37.6 millones de toneladas. La generación per cápita diaria creció en el mismo periodo de 840 a 970 gramos. En 2008, las entidades que generaron mayor volumen de RSU fueron México (16.4% del total nacional para ese año), Distrito Federal (12.6%) y Jalisco (7.2%). En contraste, Colima, Baja California Sur, Campeche, Nayarit, Tlaxcala, Zacatecas y Aguascalientes contribuyeron en conjunto con 5.1% a la generación de RSU. Si se considera la generación por tipo de localidad, las zonas metropolitanas fueron las mayores generadoras. Paralelamente al crecimiento en la generación, la composición de los residuos también ha cambiado: mientras que en la década de los años cincuenta el porcentaje de residuos orgánicos oscilaba entre 65 y 70%, para 2008 se había reducido al 52%.

La generación de residuos varía con el tipo de localidad, se ve influenciada por los factores culturales, niveles de ingreso, dinámicas de movimiento hacia los centros urbanos. En la zona metropolitana se genera aproximadamente 47% del total.

Actualmente, la SEMARNAT lleva a cabo estudios cuyo objetivo es el establecimiento de metodologías que permitan la validación y una transparencia para definir indicadores de generación de residuos en México. Para los RSU, y según datos reportados por la SEDESOL, en 2004 la generación de este tipo de residuos en todo el país fue de 94,800 toneladas diarias, equivalentes a 34.6 millones de toneladas anuales. En cuanto a la

generación por estados, municipios o localidades, la información disponible es muy dispersa y desequilibrada, ya que se basa en proyectos individuales y encuestas.

La SEDESOL llevó al cabo un levantamiento de cédulas de encuesta con visitas personalizadas o con información de trabajos y proyectos realizados en 47 localidades. Según los datos así obtenidos, la tasa de generación per cápita más baja, corresponde a zonas semirurales o rurales, mientras que la mayor corresponde a las grandes ciudades y zonas metropolitanas.

Por otro lado, se dispone de la información que se obtuvo de las encuestas realizadas por la Cruzada por un México Limpio durante el 2005, en colaboración con el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). Sin embargo, por las pocas respuestas obtenidas estos datos también son dispersos y por ser referidos a municipios y no necesariamente a localidades, son difícilmente comparables con las encuestas de la SEDESOL para una validación.

De acuerdo con los informes históricos de la SEDESOL, la generación y composición de los residuos sólidos urbanos ha variado significativamente durante las últimas décadas, derivado del propio desarrollo así como del incremento poblacional y los cambios en los patrones de urbanización.

En estas circunstancias, resulta de interés conocer las proyecciones de generación al año 2020, las cuales se presentan a continuación.

PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN PER CÁPITA Y TOTAL
DE RSU 2004-2020

Año	Número de habitantes (miles)	Generación Kg/hab/día	Toneladas diarias	Toneladas anuales (miles)
2004	105,350	0.90 ²	94,800 ²	34,600 ²
2005	106,452	0.91	96,900	35,370
2010	111,614	0.96	107,100	39,100
2015	116,345	1.01	117,500	42,890
2020	120,639	1.06	128,000	46,700

Fig. 1.4 Proyección de la generación de per cápita y total de RSU 2004- 2020

Fuente: Proyecciones de Población, 2000-2050. CONAPO, México 2003.2.Secretaría de Desarrollo Social,2004.

C A P Í T U L O II

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La composición de los residuos sólidos urbanos es muy variada debido fundamentalmente a los diferentes factores relacionados con la actividad humana. En sentido general, la composición de los residuos sólidos urbanos puede estar determinada por:

- Las características de la población que los genera: por ejemplo, difieren grandemente según las particularidades poblacionales de las distintas áreas en las que se generan, como son la urbana, la rural, la turística, la industrial y otras.
- La época del año en que se generan: En tal sentido, la influencia de las variaciones del clima en la agricultura, los cambios de actividad en períodos vacacionales, entre otros, inciden en la composición de los residuos.
- El nivel cultural y económico de la población que los genera: Lo anterior está muy relacionado con las características de los productos del primer grupo. Las características de los productos dependen de los hábitos de consumo y generación de residuos de los habitantes de las determinadas zonas.
- La situación geográfica influye en la composición de los residuos ya que dependiendo de esta se determinan los materiales de construcción que se utilizan con mayor frecuencia dependiendo de la región (por ejemplo, madera frente a acero), contenido de ceniza (a menudo de calefacción doméstica), la cantidad de basura de la calle (puede ser hasta un 10% de los residuos de una ciudad en lugares secos).
- Las diferentes fuentes de energía que se utilizan; Esto es especialmente cierto en países de ingresos bajos o regiones donde la energía para la cocina, la calefacción y la iluminación no puede venir de los sistemas de calefacción de distrito o la red de electricidad. Por ejemplo, se observaron en China dos secciones de la población, la primera utiliza carbón y la otra utiliza gas natural para calefacción. Se observó una clara diferencia en la composición de los residuos generándose mayor cantidad de residuos inorgánicos cuando se utiliza carbón (47%), a diferencia de cuando el gas natural para la calefacción del hogar (10%).
- El clima también puede influir en la generación de residuos en una ciudad, país o región. Por ejemplo, en Ulán Bator, Mongolia, la ceniza constituye el 60% de los Residuos que se generan en el invierno, pero sólo el 20% durante el verano (PNUMA / GRID-Arendal

2004). La precipitación es también importante en la composición de los residuos, al influir en el contenido de humedad.

La composición de los residuos depende en gran medida de los niveles y patrones de consumo, así como de las prácticas de manejo y la minimización de residuos. En general, existe una correlación entre la composición de los residuos sólidos generados y las condiciones económicas de los países; aquellos con menores ingresos generan menos residuos y sus componentes son más reciclables. Países de bajos ingresos tienen la más alta proporción de desechos orgánicos. En contraparte el papel, los plásticos y otros materiales inorgánicos constituyen la mayor proporción de los residuos generados en países ingresos altos. Por región, según la EPA (Environmental Protection Agency) tiene la mayor proporción de los residuos orgánicos con un 62%, mientras que los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) tienen menos del 27%, aunque la cantidad total de residuos orgánicos es aún mayor en los países de la OCDE.

En México, poco más de la mitad de los residuos son de naturaleza orgánica (residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares), correspondiendo el 49% restante a residuos inorgánicos como el papel y cartón (15%), vidrio (6%), plástico (6%), textil (2%), metal (3%) y otros tipos de basura (17%). De 1995 al año 2004 no se observaron, en México cambios importantes en la proporción de residuos orgánicos e inorgánicos

La caracterización de los residuos es la clave para su manejo y disposición responsables. Al cuantificar las concentraciones de elementos potencialmente dañinos se pueden tomar decisiones acerca de su reutilización, reciclaje, tratamientos y/o eliminación. Esto es importante al decidir sobre la elección del sistema de tratamiento. La composición de los residuos sólidos urbanos es enormemente variable y en ella influyen una serie de factores muy diversos. Sin embargo es indispensable tomar en cuenta las características físicas, químicas y biológicas que determinan su clasificación, la forma en que habrá que tratarlos, basándose en necesidades de equipo, sistemas, programas y planes para contemplar una manera en que resulten útiles a la comunidad.

La composición física de los residuos sólidos resulta importante para la selección de equipo, instalaciones y asesoramiento para la viabilidad de la recuperación de energía, recursos y la planeación de vertederos.

Existen tres principales transformaciones físicas que pueden producirse en la operación de sistemas de residuos sólidos. El primero es la separación de componentes, que es el término que se utiliza para describir el proceso de separación, ya sea por medios manuales o mecánicos de los componentes identificables de los RSM. Se utiliza para la transformación de residuos heterogéneos en un número de componentes más o menos homogéneos. Esta separación resulta necesaria para los fines posteriores que se aplican a los RSM, como la reutilización o reciclaje de los mismos, separación de contaminantes y de residuos peligrosos.

El segundo es la reducción mecánica de volumen, que es el término que se aplica para describir el proceso mediante el cual se reduce el volumen inicial ocupado por un residuo, normalmente mediante la aplicación de una fuerza o presión.

El tercer método es conocido como la reducción de tamaño mecánica, es decir, el proceso de transformación utilizado para reducir el tamaño de los materiales residuales. El propósito es obtener un producto final reducido en tamaño en comparación con su forma original. Cabe señalar que la reducción de tamaño no necesariamente implica la reducción de volumen.

Las características químicas y biológicas son útiles para determinar el tipo de tratamiento que deberán tener los residuos sólidos y así reducir su volumen o recuperar productos de conversión. Es necesario conocer su composición para entender su forma de combustión, densidad, contenido energético y humedad. Biológicamente, la composición de los residuos sólidos indica la presencia de sustancias tóxicas de los mismos residuos o de aquellas que se obtienen de la tierra.

La mayoría del material tóxico encontrado en residuos sólidos es de tres tipos: Metales tóxicos, Materia orgánica tóxica y Asbestos.

Se consideran no peligrosos siempre y cuando estos residuos sean encontrados a nivel de vivienda y en pocas cantidades. De lo contrario son considerados ya parte de los residuos sólidos peligrosos. Además las transformaciones biológicas de los RSM se pueden utilizar para reducir el volumen y el peso del material, para producir composta y metano.

Los residuos sólidos urbanos están compuestos básicamente por material biodegradable y materiales inertes que provienen de los hogares, comercios y servicios en general, de la limpieza de la vía pública, de la industria de la construcción, así como de algunas actividades industriales, con base a lo anterior, se puede apreciar en la fig. 2.1, que la cantidad y composición de los que los residuos sólidos son modificados de manera sustancial. La generación de los residuos sólidos se han incremento y sus características se transformaron de materiales orgánicos, a elementos cuya descomposición es lenta y requiere de procesos físicos, biológicos o químicos complementarios para efectuarse, En la misma figura se aprecia una variación regional en la composición de los residuos, la cual refleja los patrones de consumo diferentes, asociados al nivel socioeconómico de cada región.

Subproducto	Frontera norte	Norte	Centro	Sur	D.F.
Cartón	3.973	4.366	1.831	4.844	5.360
Residuos finos	1.369	2.225	3.512	8.075	1.210
Hueso	0.504	0.644	0.269	0.250	0.080
Hule	0.278	0.200	0.087	0.350	0.200
Lata	2.926	1.409	1.700	2.966	1.580
Material ferroso	1.183	1.476	0.286	0.399	1.390
Material no ferroso	0.226	0.652	0.937	1.698	0.060
Papel	12.128	10.555	13.684	8.853	14.580
Pañal desechable	6.552	8.308	6.008	5.723	3.370
Plástico película	4.787	5.120	1.656	1.723	6.240
Plástico rígido	2.897	3.152	1.948	1.228	4.330
Residuos alimenticios	26.972	21.271	38.538	16.344	34.660
Residuos de jardinera	16.091	19.762	7.113	26.975	5.120
Trapo	1.965	2.406	0.807	2.157	0.640
Vidrio de color	2.059	0.934	4.248	0.599	4.000
Vidrio transparente	4.590	5.254	5.051	3.715	6.770

Fig. 2.1 Composición de residuos por zona geográfica y por subproductos(valores en %).

Fuente: Federalismo y Desarrollo, no 62, Banobras.

La composición porcentual de los residuos sólidos del distrito federal la podemos apreciar en la siguiente tabla.

No.	Subproducto	Promedio (%)	No.	Subproducto	Promedio (%)
1	Algodón	0.30	27	Papel Bond	2.09
2	Cartón liso	3.09	28	Periódico	1.68
3	Cartón conugado	2.77	29	Revista	0.63
4	Otros cartones	0.50	30	Papel higiénico	6.72
5	Envase de cartón tetrapak	1.51	31	Pañal desechable, toallas femeninas	2.83
6	Cuero	0.33	32	PET (Polietilen -tereftalato)	2.80
7	Residuo Fino	2.68	33	HDPE-PEAD (Polietileno de alta densidad)	2.92
8	Residuo grueso	1.71	34	PVC (Policloruro de vinilo)	0.15
9	Fibra dura vegetal	0.50	35	LDPE-PEBD (Polietileno de baja densidad)	5.44
10	Fibra sintética	0.49	36	PP(Polipropileno)	0.92
11	Hueso	0.70	37	PS(Poliestireno)	0.98
12	Llantas de automóvil	0.48	38	Alimenticios	34.87
13	Llantas de camioneta	0.06	39	Residuos de jardinería	9.18
14	Llantas de camión	0.37	40	Trapo	2.94
15	Otros hules	0.17	41	Vidrio Transparente	1.74
16	Lata aluminio	0.27	42	Vidrio de color	0.74
17	Lata metálica	1.46	43	Tenis	0.20
18	Losa y cerámica	0.53	44	Zapatos	0.44
19	Madera	1.95	45	Bajo alfombra, Borra	0.00
20	Material construcción	1.75	46	Cera parafina	0.00
21	Material ferroso	0.37	47	Chácharas	0.00
22	Aluminio	0.07	48	Muebles	0.00
23	Bronce	0.03	49	Fibra de vidrio	0.43
24	Cobre	0.02	50	Colchón	0.00
25	Pilas eléctricas	0.07	51	Electrónicos	0.11
26	Acero inoxidable	0.02		Total	100.00

Fig. 2.2 Composición porcentual de los residuos sólidos del Distrito Federal

Fuente: Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal 2009.

A nivel internacional se tienen ciertos indicadores que permiten tener un panorama más amplio, de los principales subproductos que se generan a nivel mundial, donde el principal productor de papel y cartón es Estados Unidos de América con un 40%, seguido por Francia con un 35%, Colombia 22% y México con el 14% a pesar de ser producido en grandes cantidades comparado con los anteriores es el que menos produce de los 4 que se comparan. En cuanto al plástico y los metales el principal productor es EUA, seguido de Francia y México, en última instancia Colombia. A nivel textil tenemos que Francia ocupa el primer lugar, seguido de Colombia, México y EUA, su producción es mínima, casi nula. Francia es el principal productor de Vidrio, seguido por EUA y México, y Colombia sólo con una producción mínima.

INDICADORES PROMEDIO DE LA CARACTERIZACIÓN DE RSU A NIVEL INTERNACIONAL

<i>Subproducto</i>	<i>E.U.A.</i>	<i>Francia</i>	<i>México</i>	<i>Colombia</i>
Papel y cartón	40%	35%	14%	22%
Plástico	8%	7%	6%	5%
Metales	9%	5%	3%	1%
Textiles	-	5%	1%	4%
Vidrio	7%	12%	7%	2%
Residuos alimenticios	18%	21%	32%	56%
Residuos de jardinería	7%	-	10%	10%
Otros	11%	15%	27%	-

Fig. 2.3 Indicadores promedio de la caracterización de Residuos sólidos a nivel internacional.

Fuente: Instituto de Ecología 2007, última actualización 27/08/2009.

En cuanto a los Residuos alimenticios Colombia es el que más produce este tipo de residuos, seguido de México, Francia y EUA, la producción es francamente reducida respecto a los primeros. Los residuos de jardinería se producen en igualdad de porcentaje en México y Colombia, seguido de EUA, en Francia la producción tiene la tendencia a ser nula. México genera mayor cantidad de residuos derivados de otras actividades que no se pueden englobar en los subgrupos anteriores, seguido de Francia y EUA.

De acuerdo a lo que pudimos apreciar en los renglones anteriores se reafirma la teoría de la correlación que existe entre la composición de los residuos sólidos generados y las

condiciones económicas de los países; aquellos con menores ingresos generan menos residuos y sus componentes son más reciclables. En contraparte el papel, los plásticos y otros materiales inorgánicos constituyen la mayor proporción de los residuos generados en países ingresos más altos.

C A P Í T U L O I I I

REUTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

Hay dos métodos básicos para manejar las montañas de desperdicios sólidos que se producen en la minería, industrias de proceso, de manufactura y el uso de recursos: de eliminación de desechos y de prevención de desechos.

El primero es un procedimiento de derroche, o de mucha basura, en el que los restos sólidos se dejan donde se producen y se entierran o se queman. Es un método de salida que se basa en usar el sistema económico para impulsar la producción de desechos, y a continuación tratar de manejarlos de modo que se reduzca el daño al ambiente. La quema o el enterramiento de recursos desechados, en vez de no producirlos o de reciclarlos y reutilizarlos, impulsa a continuar produciendo más desechos, sacarlos de una parte del ambiente y colocarlos en otra. El terreno accesible para rellenos sanitarios eventualmente se acabará. Los incineradores, incluso los mejor diseñados, emiten sustancias tóxicas a la atmósfera y dejan un residuo tóxico que se filtra a los suministros subterráneos de agua.

El segundo método, prevención de desechos, para manejar los desechos sólidos es uno de no derroche, o de poca basura, que se basa en un reciclado y re-uso mucho mayores, y en la reducción de los desperdicios. Es un método de entrada que considera a los desechos sólidos como materiales sólidos que se deben reciclar, reusar, o no producir. Con este método, el sistema económico sirve para desalentar la producción de desechos.

El reciclaje de materiales recuperables de los residuos sólidos municipales es una alternativa de solución y reaprovechamiento, que cada vez tiene mayor aceptación en el mundo por sus ventajas económicas, sociales, ambientales y sanitarias sobre métodos convencionales más costosos, tales como la pirolisis, el relleno sanitario o la incineración. Sin embargo en México la falta de una política y una cultura de prevención en la generación de residuos sólidos urbanos, ha provocado que la sociedad enfrente el problema de contaminación generalizado.

La tecnología para reciclar residuos urbanos ha evolucionado, no así las prácticas para incentivar a la recuperación económicamente viable. A pesar de ser atractivo en términos de mercado y economía, la mayor cantidad de residuos generados en el país se descomponen a cielo abierto. Si tomamos en cuenta que en menos de 40 años, la generación de residuos sólidos por persona se multiplica nueve veces y que también cambió la proporción en tipo de desperdicio de materiales orgánicos a inorgánicos. Nos

habla de la dimensión mayúscula de la problemática y de la necesidad de realizar acciones de manera inmediata.

El reciclaje se puede definir como la acción de devolver al ciclo de consumo los materiales que ya fueron desechados, y que son aptos para elaborar otros productos. Dentro del enfoque de aprovechamiento conservacionista y energético, se pueden clasificar las diversas formas de aprovechamiento de residuos de acuerdo con la mayor o menor recuperación de cada proceso adoptado. Así, se tienen: Índice Máximo de Recuperación que propiamente, se refiere a reuso o reutilización. Se incluyen los materiales que pueden ser reutilizados sin proceso industrializado, a no ser, lavado y esterilizado. Se citan como ejemplo las botellas de refresco o de cerveza en buen estado. En este caso no hay pérdida de ningún insumo energético aplicado en las diversas etapas de la fabricación de aquel producto y además la energía gastada para utilizarlos nuevamente es mínima. El Índice Medio de Recuperación en esta categoría se encuentra el reciclaje; es decir la recuperación de ciertos materiales que necesitan de un proceso industrial que los transforme nuevamente en materia prima reutilizable. Como ejemplo, el papel, vidrio, plásticos y metales; La Recuperación Biológica este es el caso de la descomposición aeróbica con la producción de composta o abono orgánico estabilizada, que constituye una fuente energética importante para los cultivos agrícolas, a la vez que se puede obtener un combustible gaseoso durante el proceso (metano). Sin embargo, considerando que la generación de residuos sólidos ha rebasado la capacidad administrativa y de manejo de los sistemas de limpia pública, es necesaria una gestión integral de los mismos, cuyo objetivo es el proteger la salud humana y el ambiente. Como segundos objetivos se encuentran: limitar costos de recolección y disposición final, reducir la utilización recursos naturales

La industria del reciclaje en México sigue siendo, en la practica un terreno en el que se mueven organizaciones llamadas "pepenadores" dirigidas por unas cuantas personas las cuentas son opacas, la regulación gubernamental es mínima, la tecnología escasa y la planeación muy limitada.

Se estima que de 10% a 20% de los residuos sólidos son actualmente reciclados en México. La eficiencia de la separación de la basura que llevan a cabo los pepenadores se estima en 6% y puede incrementarse hasta el doble con la instalación de bandas transportadoras en los sitios de tratamiento y confinamiento de los residuos sólidos municipales en el país. Otro punto importante es el aprovechamiento de llantas que se utilizan como material combustible en los hornos de las cementeras del valle de México.

Hay dos tipos de reciclado. El más deseado es el primario, o de ciclo cerrado, en el que un producto, se recicla para producir nuevos productos del mismo tipo. El segundo tipo de

reciclado se llama secundario, o de ciclo abierto, y se tiene cuando materiales de desecho se transforman en diversos productos para los que se deben encontrar usos. Esto no reduce el empleo de recursos tanto como el primer tipo de reciclado. Por ejemplo, el reciclado primario reduce el empleo de materiales vírgenes para determinado producto entre 20% y 90%, mientras que la reducción con reciclado secundario es de 0% a 25%.

De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social la generación nacional de basura alcanza 84 200 toneladas diarias. Sin embargo 83% no es recolectado, es decir 69 886 toneladas, la diferencia queda dispersa en tiraderos clandestinos, barrancas y otros. Del total generado, solo 49%, es decir, 41 258 toneladas son depositadas en los sitios controlados y el resto se dispone a cielo abierto. De acuerdo con las cifras antes mencionadas la idea de reciclar desechos sólidos en México debería ser un gran negocio.

En su origen, el papel y el cartón provienen de los árboles que han sido talados, los cuales, mediante procesos mecánicos y químicos, se convierten primero en pulpa de celulosa y después en papel y cartón. Durante todo este proceso se consume energía eléctrica, agua, productos químicos y se genera una importante cantidad de contaminantes. Diariamente se desecha una gran cantidad y variedad de artículos y envases de papel y cartón en los hogares, oficinas y escuelas. Buena parte de este papel es reciclado y reincorporado al ciclo productivo para la elaboración de papel periódico, cartón corrugado, papel bond y otros más. Para producir una tonelada de papel se requiere: 1845 Kg. de madera, 108 Kg. de cal, 180 Kg. de sulfato de sodio, 38 Kg. de carbonato de sodio anhídrido, 100 000 litros de agua y 30 millones de BTU de energía. Esto implica liberar contaminantes al aire, agua y generar desechos. La cantidad de recursos que se ahorran al reciclar una tonelada de papel es de aproximadamente 17 árboles o 2 metros cúbicos de espacio en un relleno sanitario, además de que se reduce la cantidad de agua y energía utilizada, así como los desechos contaminantes.

El Vidrio; Para la manufactura del vidrio se utilizan: arenas silíceas, sosa calcinada y piedra caliza. Su fabricación también puede llevarse a cabo a partir de material de desecho. Para su elaboración se requieren elevadas cantidades de energía y se produce de colores y transparente. El vidrio es uno de los materiales de mayor uso para envasar diversos productos, es impermeable e inodoro, y puede ser reutilizado muchas veces (en promedio de 20 a 25 veces) antes de romperse o ser descartado y es 100% reciclable. El uso de vidrio reciclado reduce en un 79% el uso de materiales vírgenes, se ahorra energía y en un 50% el consumo de agua, un 14% las emisiones de gases contaminantes y la vida útil de los rellenos sanitarios se incrementa significativamente. El principal problema asociado a su reciclaje, es la contaminación de la pedacería con materiales extraños (tapones, etiquetas, piedra loza, entre otros).

Los Plásticos; Las resinas poliméricas que dan origen a los plásticos provienen de productos derivados del petróleo o del gas natural, los cuales son fuente de energía. El caso de los plásticos es particular, ya que es un material que se ha tornado un problema debido a su difícil degradación y a que se acumula en grandes cantidades. Sus ventajas al sustituir el vidrio, al metal y al papel lo han diseminado en sitios muy remotos y su bajo costo ha motivado la generación de un volumen muy grande de desechos. La sociedad actual gira en torno al plástico. En las casas se genera 60% del total (bolsas de basura, empaques, botellas, envases, entre otros.), los comercios contribuyen con 10%, las industrias generan otro 10% y la industria transformadora con 15% y el restante 5% se genera cuando se extrae la materia prima. En México se están reutilizando envases de PET (polietileno tereftalato) de 1.5 y 2 litros por parte de las empresas refresqueras. Su reciclaje va en aumento, aunque plantea algunos problemas para separarlos de acuerdo a las resinas con las cuales fueron elaborados. Existen más de 50 tipos diferentes de plásticos, que se dividen en dos grandes rubros: los termoplásticos (ver tabla) y los termofijos. Los termoplásticos son materiales que se funden y pueden moldearse muchas veces. Generalmente, se identifican por el número que aparece dentro del logotipo de reciclaje. Los plásticos termofijos son materiales que una vez moldeados difícilmente se pueden fundir para volver a utilizarse. Ejemplos de estos son: apagadores de luz, pegamentos, colchones de hule espuma y rellenos de muebles.

Los metales son materiales no renovables, los cuales deben ser extraídos de la corteza terrestre. Los principales metales que se utilizan para la elaboración de envases, son el hierro y el aluminio. Cabe aclarar que para extraer estos materiales se requiere de considerables cantidades de energía y se produce contaminación al agua, aire y suelo. Los metales son 100% reciclables pero no pueden ser reutilizados. Una vez que son eliminados se recolectan y son enviados a la fundición para ser convertidos en lingotes. Una buena parte de estos lingotes se transforma en láminas y se vuelven a convertir en otros productos.

Para la Confederación Patronal de la República Mexicana (COPARMEX) por muchos años el tema de la basura ha sido olvidado por las autoridades, no sólo por la falta de visión, sino por los intereses que se mueven en torno a la recolección y reciclaje de residuos. Por ejemplo, el reciclaje se hace a través de una pepena donde se valoran los residuos, luego entra a una cadena de comercialización, al margen del mercado formal pero genera riqueza. En tales circunstancias el reciclaje de residuos se vuelve impenetrable para otros empresarios de la industria. Otro obstáculo para reciclar tiene que ver con que la composición de los residuos sólidos no es homogénea en el país. Sino que obedece a la distribución de hábitos de consumo y poder de adquisición de la población, mientras que en el sur percibe gran contenido de residuos orgánicos (jardinería). En el Distrito Federal

se produce más cartón y plástico, en la zona centro se generan más pañales y subproductos alimentarios que en otras regiones.

La clasificación de los residuos sólidos urbanos se hace cada vez más necesaria en México ya que el incremento de la población y la urbanización acelerada del país, han ocasionado un flujo de basura incontrolable en los municipios que provoca costos sociales y económicos crecientes asociados a su reducción manejo y disposición final.

La basura es depositada al aire libre y quemada sin control ocasionando daños al medio ambiente, por otra parte la demanda creciente de los residuos naturales renovables está obligando a que estos sean utilizados de manera racional y sostenida para evitar su agotamiento. Existen varios residuos sólidos y numerosos subproductos que pueden nuevamente ser reutilizados como materia prima. El retiro de materiales reutilizados o reciclables del flujo de la basura disminuye el volumen y la cantidad de los desperdicios que son enviados a la disposición final, lo que resulta un beneficio. Por ello cada vez se requiere que la minimización de reuso y el reciclaje sean actividades estratégicas para la eliminación de la basura.

A pesar de que la minimización o reducción de los residuos sólidos es una política necesaria para el manejo sustentable de los desechos municipales y se ha venido estableciendo en países industrializados del mundo como una estrategia prioritaria, en los países en vías de desarrollo y en particular en México aún no se ha implementado de manera enérgica.

Para evitar la saturación del relleno sanitario y los costos asociados a su operación, la Dirección de Ecología Municipal ha trazado una estrategia que en lo fundamental se basa en reducir el volumen de basura que ingresa al depósito final por medio de la separación y el reciclaje.

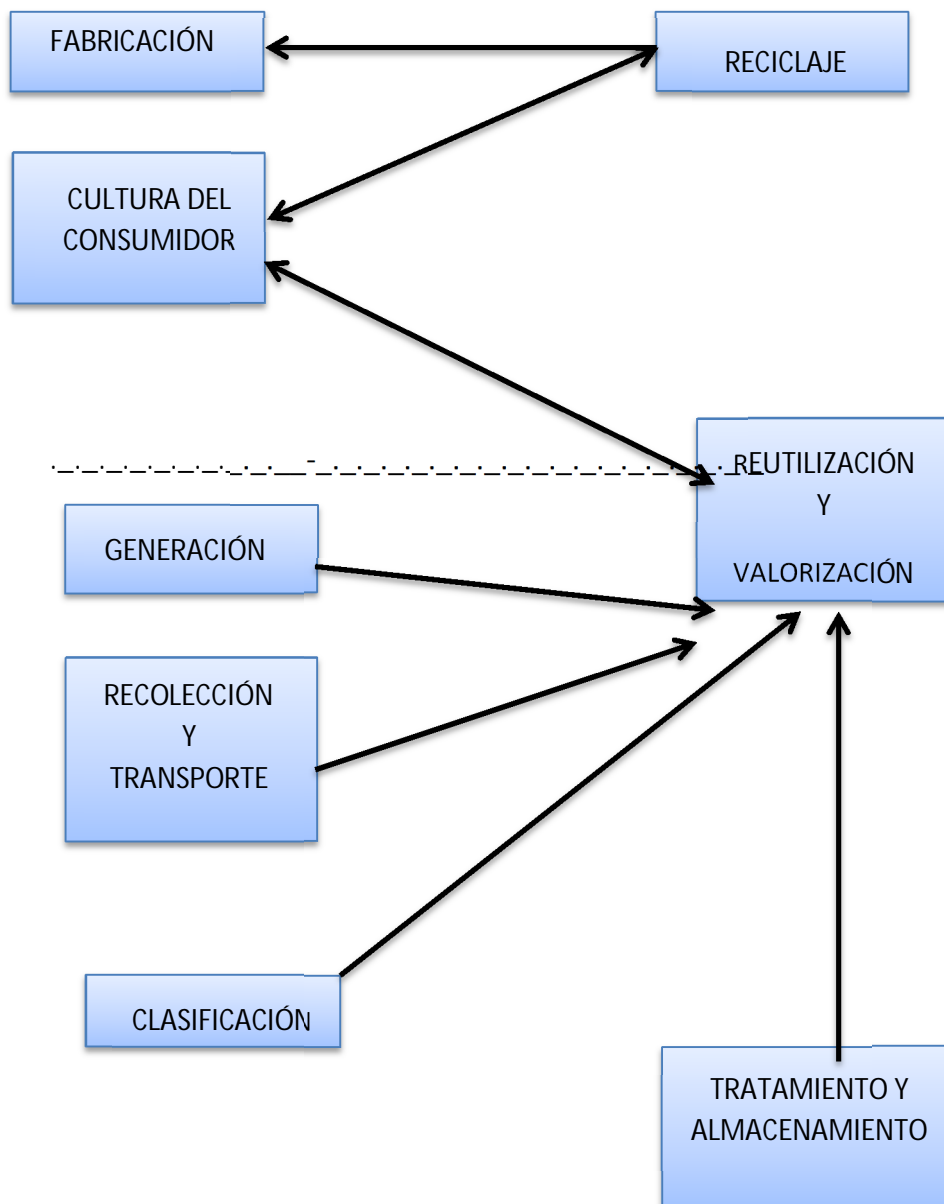


Fig. 3.1 *Ciclo de vida de nueve fases de los residuos sólidos urbanos desde el punto de vista social.*

Fuente: Guía para la Gestión Integral de Residuos Sólidos en la Habana.

Para ello se ha establecido un reglamento que contiene como puntos principales:

1. La obligación de separar la basura en tres tipos: sanitaria, orgánica e inorgánica. La definición de la responsabilidad de los prestadores del servicio de recolección y la obligación de contratar el servicio de recolección.

2. Regulaciones en la prestación del servicio de recolección, asignando días establecidos para cada tipo de basura.

3. La aplicación de multas por incumplimiento del reglamento y por depositar basura en la vía pública y sitios inapropiados.

Para reducir los volúmenes de basura se pueden realizar las siguientes acciones que se agrupan en tres fases:

Fase 1:

- Cuantificación de volúmenes iniciales de basura generados y los costos asociados a su eliminación.
- Identificación de las personas involucradas con el manejo de la basura en la institución.
- Realización de reuniones con el personal administrativo, de intendencia y jardinería para explicarles el objetivo y las acciones de programa de reducción de basura de la institución.
- Identificación de los procesos empleados para eliminar la basura antes de iniciar el programa, así como de los cambios que implicaba el programa.
- Ubicación de botes para separar la basura.
- Designación de un responsable ejecutivo del programa, de un coordinador administrativo y uno académico.
- Difusión del programa por medio de la página web institucional y la red electrónica interna.

Fase 2:

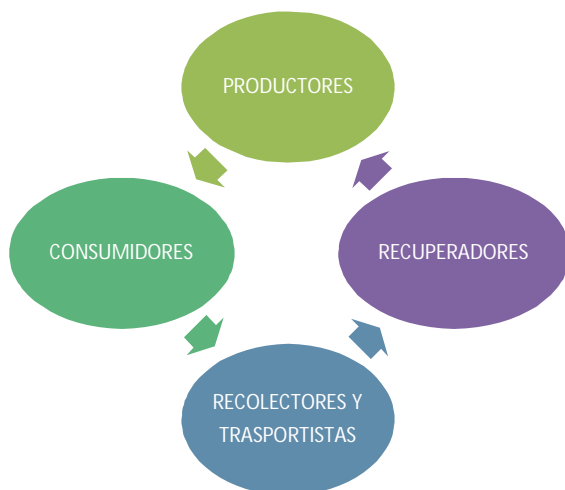
- Entrenamiento en técnicas de reciclado, principalmente de orgánicos, por medio de talleres para todos los integrantes de la institución.
- Acondicionamiento del área para el composteo de orgánicos y de la bodega de cartón, periódicos y papel de oficina; compra de contenedores para los subproductos: envases de plástico (PET), vidrio y hojalata.
- Compra de molino para orgánicos e instalación eléctrica para el mismo en el área de composteo y acondicionamiento general de áreas de depósito de reciclables.
- Separación de productos reciclables y reciclado de orgánicos.

Fase 3:

- Eliminación de residuos que no era posible reciclar y evaluación de sus cantidades y volúmenes.
- Venta de los subproductos reciclables.
- Evaluación del programa y corrección de detalles para evitar problemas que surgieron como resultado de la aplicación del mismo.
- Difusión de los resultados por la red interna y mediante conferencias en otras escuelas, en el marco de las actividades del municipio.

En conclusión el mundo actual y los sistemas económicos suelen premiar a quienes producen desechos, en vez de estimular a quienes tratan de usar los recursos con mayor eficiencia. Esto crea un campo de juego no equitativo, que favorece la producción de desechos en vez de la reducción de los mismos.

Según relevamientos de la Fundación Internacional para el Desafío Económico Global (Michell, 2007), la Unión Europea es la región con mayor conciencia sobre los impactos de la acumulación de desechos y con los mejores mecanismos para hacer frente al problema. Países como Austria y los nórdicos reciclan más del 60% de los residuos municipales, logrando casi un 90% en Bélgica. En el caso británico, la tasa de reciclaje era del 27% pero se ha duplicado en los últimos años. Estos países determinan la importancia de la interacción y coordinación de los principales actores en el ciclo de vida de los residuos sólidos que permiten un adecuado manejo y disposición final de los residuos sólidos municipales.



Fuente: Guía para la Gestión Integral de Residuos Sólidos en la Habana.

Fig. 3.2 Principales actores en el ciclo de vida de los residuo.

Como se puede apreciar en la Fig.3.3 a nivel internacional, los países como: Japón, Alemania y EUA participan con mayor intensidad en las actividades de reciclaje mientras que países como Suecia y Francia lo hacen en una proporción mucho menor.

PAIS	RECICLAJE (%)
E.U.A.	12
Japón	46
Alemania	15
Francia	2
Suecia	3
México	10

Fig. 3.3 “Tendencia internacional del reciclaje como disposición final de los RSU”

Fuente: Secretaria de Desarrollo Social 2008.

C A P Í T U L O I V

FABRICACIÓN DE COMPOSTAS

El composteo es una opción para utilizar los restos de vegetales, frutas y basura de jardín como abono orgánico; sin embargo, cuando no se remueven los desechos se favorece la fermentación anaeróbica.

La composta es un abono orgánico que se forma por la degradación microbiana de materiales acomodados en capas y sometidos a un proceso de descomposición; los microbios que llevan la descomposición o mineralización de los materiales ocurren de manera natural en el ambiente; el método para producir este tipo de abono económico y fácil de implementar.

Importancia de la Composta

- Mejora la calidad y el crecimiento de las plantas.
- Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Es fuente importante de nutrimentos para las plantas.
- Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo y la capacidad de intercambio de cationes en el mismo.
- Es una fuente de alimento para los microorganismos.
- Amortigua los cambios de p H en el suelo.
- Disminuye los cambios bruscos de temperatura.
- Las plantas pueden absorber más nitrógeno como consecuencia de la relación C/N en el suelo.
- Logra descomposición parcial o casi completa de algunos residuos agro tóxicos.

Materiales para el compostaje

Una composta necesita de desechos orgánicos que por su origen se clasifican en:

Desechos Vegetales: hojas secas, chapón, desperdicio de podas, lirio acuático, vegetación que se acumula a la orilla de los ríos, desperdicios de frutas de los mercados de abastos, desperdicios de cocina de las casas y desperdicios de cosechas. Los desechos vegetales se recomienda que sean el ingrediente principal de la composta, (de 50 a 70% en volumen), pero mientras más variedad de materiales vegetales, mejor la diversidad y asimilabilidad de los nutrientes. Que los podemos subdividir según su procedencia en; Domésticos son los materiales residuales de la preparación de la comida y desechos de origen animal;

Jardín Son los restos de los cultivos de las huertas, flores muertas, tallos, pastos y hojarasca.

Desechos forestales o vegetales de árboles: Comprende los restos de los árboles, hojas y ramas caídas. Viruta, aserrín, cartón, corteza de árboles que se obtienen en los aserraderos, etc. Estos desechos contienen grandes cantidades de celulosa y lignina; Por tener una relación carbono/nitrógeno demasiado alta (hasta 200/1), es recomendable sólo en pequeñas cantidades, máximo un 10% del volumen y debe complementarse con materiales que contengan una relación carbono/nitrógeno muy baja como desechos de cultivos de leguminosas, harina de sangre, harina de pescado o gallinaza.

Subproductos agrícolas. Son aquellos residuos de la cosecha de todo tipo de cultivos, así como cascarillas y salvado obtenidos de la trilla o molienda.

Desechos de ganado. Entre ellos están los estiércoles, orina y deyecciones de todo tipo de animales. Vacas, borregos, chivos, gallinas, conejos y otros. De preferencia no utilizar defecaciones humanas, requiere de un tratamiento térmico especial para asegurarse la inocuidad de la composta y contienen sal en exceso.

También es necesaria la utilización de tierra aunque nunca en más de un 10% del volumen total de la composta, ésta permite la formación del complejo humus-arcilla. Se puede utilizar también, cenizas volcánicas, también conocida como arena de construcción, nuevamente no más de un 10%, así como cenizas de cultivos, por ejemplo de cachaza de caña.

Desechos urbanos y agroindustriales. Se constituyen de la fracción biodegradable de la basura como el cartón, el papel, residuos finos finos de comida y fibras naturales y los residuos procedentes de la industrialización de productos como hortalizas, cacao, café, arroz, maíz, trigo, sorgo, maderas y semillas.

En las zonas pesqueras, también es recomendable el uso de desechos de pescado y huesos de pescados, así como huesos de animales de rastro, los cuales deben pasar de preferencia por un proceso de quemado en fogata. Estos huesos, aportarán una gran cantidad de calcio y fósforo. Otro componente probable, es la sangre seca de cualquier

animal como un aporte importante de nitrógeno. Otros ingredientes que pueden contribuir a enriquecer la composta son la roca fosfórica, la cal, carbón y melaza. Un componente adicional que acelera el proceso de composteo, es el uso de inoculante o esporas de los hongos que trabajan en el proceso de descomposición. Una vez que se ha elaborado una composta, puede utilizarse un poco de la misma composta para inocular una nueva composta. Y por último, un componente indispensable, el agua, sin la cual no podrían vivir todos los seres vivos que existen en la composta. Lo que no se debe utilizar es vidrio, plástico, piedras, carne, metales, químicos y malezas con semillas.

MATERIAL	RELACION C/N
Desechos del ganado	
Orina	0.8
Estiércol almacenado	15.20
Estiércol de bovino	20.25
Estiércol de caballo	25
Desechos de cosecha	
Semillas de oleaginosas	3.15
Residuos de leguminosas	15
Alfalfa verde	15
Desechos de caña de azúcar	15.20
Rastrojo de maíz	40.80
Paja de avena	50,150
Paja de Trigo	130.150
Desechos Vegetales	
Follaje de pino	5
Residuos frescos de jardín	12
Abonos verdes	10.15
Algas	19
Residuos frescos del huerto	30
Hojas secas	50.80
Desechos Agroindustriales	
Pulpa de café seco	3
Harina de pescado	4.5
Harina de hueso	8
Desechos de cervecería	15
Bagazo de caña	200
Aserrín	200.500

Fig.4.1 Relación C/N de los principales materiales utilizados para composta.

Fuente: SAGARPA

Características esenciales en la fabricación de la composta:

La materia orgánica de la composta debe estar constituida por una buena relación de sólidos, agua y gases que permitan el constante intercambio de sustancias.

El tamaño de partícula debe ser de 1.3 a 5 cm si se trata de papel y residuos vegetales o de casina; menor de 1.3 cm si es madera; se busca con esto el intercambio de sustancias eficientes. Un tamaño de partícula supone mayor superficie de contacto y por lo tanto, fermentaciones rápidas y homogéneas, sin embargo, si el tamaño es pequeño puede compactarse impidiendo la aireación adecuada.

Temperatura. La actividad microbiana produce un incremento en temperatura debido a las oxidaciones biológicas, en esta fase ocurre la descomposición más rápida de la materia orgánica entre los 50 a 60 grados, esta puede alcanzar hasta 76 grados.

Durante los primeros días, la temperatura se eleva a 60 o 70 grados centígrados y posteriormente se estabiliza entre 40 y 60 grados centígrados, si la temperatura se eleva y se prolongan a más de 65°C las bacterias pueden morir produce pérdida de nitrógeno. En las primeras 2 semanas de composteo, se da un alza en la temperatura, que de no ser controlada puede alcanzar hasta unos 90°C, quemando los materiales de la composta y reducirlos a cenizas. Este incremento en la temperatura, es producto de la altísima actividad microbiana que se da en la composta al quemar la energía de los azúcares en el proceso de respiración de los microorganismos. En esta etapa se presenta una población de microorganismos conocidos como termófilos, éstos pueden sobrevivir a altas temperaturas y su función es descomponer materia orgánica y romper lo más posible las cadenas de azúcares, aminoácidos y minerales para alimentarse. Es en esta etapa también donde se da el primer cambio de población de microorganismos, eliminándose entre otros, todos aquellos que se encuentran presentes en los abonos y frutos y plantas enfermas, es decir los patógenos de humanos y plantas que son eliminados con temperaturas de 50 a 55°C por periodos de menos de 1 hora. Aunado al alza de temperatura se da un incremento de la cantidad de bióxido de carbono, ya que este gas se desprende por la respiración de los microorganismos que se encuentran presentes en la composta. Los niveles de bióxido de carbono no deben rebasar el 16% del aire presente en la composta, ya que por ser un gas venenoso, éste afecta la vida de los microorganismos aeróbicos (que necesitan del aire), dañando su población.

La humedad es un requisito indispensable en la composta, sin agua, no hay vida. La falta de agua impide la realización de la composta, pero en exceso también daña, ya que evita la presencia del vital oxígeno, dando paso a la fermentación de los materiales, realizada por microorganismos anaeróbicos (que viven en ausencia de aire). El porcentaje de

humedad recomendado para un composteo es entre 50 y 60% de humedad, para efectos prácticos, al tomar en un puño la composta y apretarla, deberán escurrir unas pocas gotas de agua entre los dedos.

Otro aspecto importante de la composta es la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) la cual representa la cantidad de azúcares en relación con la cantidad de proteína presente en las compostas y es fundamental para el desarrollo de los microorganismos. La relación C/N debe ser de 30 a 40 partes de carbono por 1 de Nitrógeno. Normalmente se toma el abono como base para realizar la composta, ya que la relación C/N de éste se encuentra precisamente entre 30 y 40 partes de Carbono por 1 de Nitrógeno.

Aireación. El oxígeno se requiere para el metabolismo aeróbico, Por ello se requiere incrementar la aeración, por medio de volteos periódicos, con esto se suministra el oxígeno y se disipa el calor producido dentro de la pila. Para realizar los volteos se consideran dos factores la humedad y la temperatura.

Oxígeno. El consumo de oxígeno es directamente proporcional a la actividad microbiana; existe una relación directamente proporcional entre el oxígeno consumido y la temperatura; si existe un exceso de humedad, hay descenso en la temperatura y producción de olores desagradables.

Si no hay la suficiente humedad disminuye la actividad microbiana, dando origen a una fermentación anaeróbica y disminuye la temperatura.

Procedimiento para la construcción de una composta

Ubicación de la composta. Se recomienda que se ubique en un lugar protegido del sol y del viento, por ejemplo bajo la sombra de un árbol cerca de donde de una toma de agua, se ubique paralela a la dirección del viento.

Formas de construcción. Las compostas se pueden construir sobre la superficie del suelo, en pequeños hoyos excavados en el terreno, y pequeños depósitos contruidos de cemento, plástico acero inoxidable y alambre.



Fig. 4.2 Formas para la construcción de compostas

Composta sobre los la superficie del suelo

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Trace en un terreno un rectángulo de 2 ó 3 m de ancho y por lo menos 10 m de la longitud.
2. Limpie de malezas el terreno y afloje con un bieldo o pala a una profundidad de 20cm.
3. El tamaño de la pila de composta estará en función de la cantidad de material con que cuente el productor; es muy importante que la pila tenga una sección trapezoidal; las dimensiones que se recomiendan son: de 10m de largo, 2 m de la base mayor, 1.5 m de base menor y una altura de 1.5.
4. Sobre la rejilla de madera coloque una capa de rastrojo o paja de 30cm de altura a todos lo largo de la cama.
5. Posteriormente agregue una capa de 15 cm de altura de rastrojos de maíz o frijol, malezas, residuos de hortalizas, ramas, desechos de comida, bagazos, aserrín, viruta, pulpa de café, según lo materiales disponibles.



Fig. 4.3 Proceso de elaboración de una composta sobre la superficie del suelo.

6. Coloque enseguida una capa de 5 ó 10 cm de altura de estiércol lo más desmenuzado posible.

Cada una de las capas se humedece muy bien y se continua poniendo capas alternas sin repetir la primer capa de material grueso, hasta que lo composta tenga 1.5 m de altura.

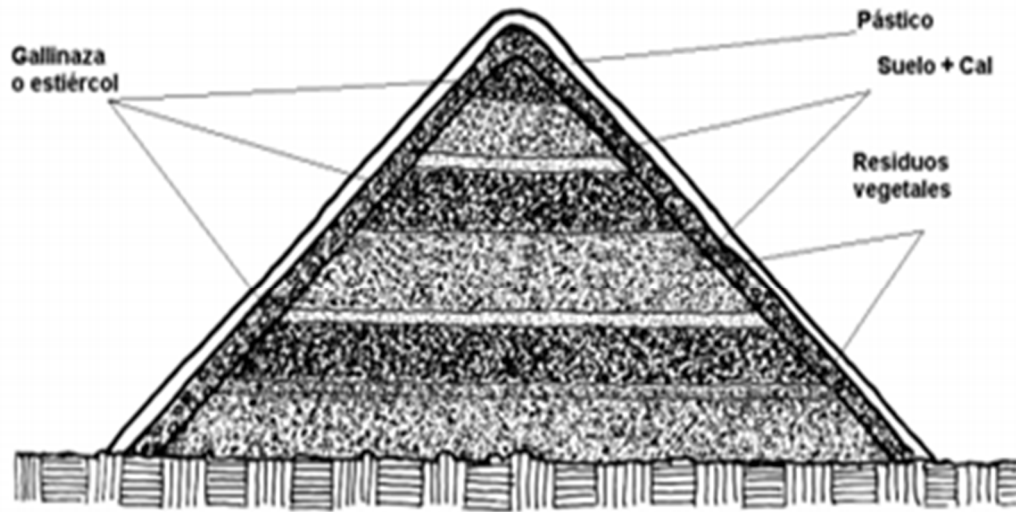


Fig. 4.4 Capas que constituye una composta.

Composta en fosas

Para las compostas se pueden construir hoyos de 2 a 3 metros de largo por 1.5 metros de profundidad y de ancho. Los pasos son los siguientes:

1. Haga una fosa donde exista ligera pendiente y cerca de donde se encuentran los desechos que se van a utilizar.
2. Coloque postes cada 50cm; estos además de ayudar a la aeración, sirven para marcar las capas.
3. Coloque marcas sobre los postes; la primera marca a 15cm a partir del fondo de la fosa, las demás a 10cm.
4. Coloque la primera capa (15cm) de los residuos por procesar. Aplique una capa de estiércol de cualquier animal, que contenga un alto porcentaje de nutrientes.
5. Alterne las capas de residuos y estiércol.

6. Agregue tierra hasta completar los últimos 10cm y después humedezca (Fig. 2.5).



Fig. 4.5 Composta en fosas

Cuidados de la composta

- 1.-Hay que evitar que la composta se seque, u ocurran excesos de humedad, si está seca, la descomposición es lenta y esto genera hormigas, ácaros y otros animales, si es caso contrario genera malos olores y la producción de hongos.
- 2.-Se debe cuidar que la temperatura no rebase los 50-60 °C; si esto ocurre conviene voltear la composta.
- 3.-Al voltear la composta se favorece la penetración de aire.
- 4.-Se recomienda realizar el primer volteo a las dos semanas de haber preparado la composta, los siguientes volteos se harán semanales.



Fig. 4.6 Aeración de la composta

Recomendaciones importantes

- 1.-Si al tercer día de haber preparado la composta no se detecta un aumento de temperatura, se debe voltear y agregarle más agua, material verde o estiércol.
- 2.-Es importante que en el sitio de composteo se tenga aproximadamente la misma cantidad de material verde y material seco.
- 3.-Es recomendable adicionar tierra a la composta, esto ayuda a descomposición.



Fig. 4.7 Agregar tierra

4.- Si la composta no se usa en el momento en que esté lista, se almacena en costales.

Factores importantes en elaboración de una composta.

Económicos (materia prima)

- **Costo** de los materiales
- Disponibilidad y durabilidad
- Reproducción de materia prima
- Apariencia

Químicos (materiales en proceso)

- PH (grado de acidez o alcalinidad)
- Capacidad de intercambio catiónico
- Contenido de nutrimentos
- Contenido de sales salubres

Físicos (composta terminada)

- Granometría
- Densidad
- Aireación
- Capacidad de retención de agua
- Porosidad

La utilización de la composta, es recomendable para alimentar cualquier tipo de cultivo, llámese hortalizas, frutales, macetas de casa, jardines y cereales. Es muy importante que se utilice en cantidades de 20 a 30 toneladas por hectárea, las cuales substituyen perfectamente un programa de fertilización con químicos. Para su buen funcionamiento es necesario que la raíz de la composta esté en contacto con las raíces, por lo que un buen momento para aplicarla es al trasplante, o bien enterrarla en el área de raíces. No hay que olvidar que mientras más composta, mejor y que una composta bien realizada no quema la planta, y su efecto en el suelo va más allá de 2 temporadas, por lo que no es desperdiciar si se usa en exceso. También cabe recordar que un buen programa de nutrición, debe combinar el uso de composta, lombricomposta, caldos minerales, tes de composta, biofertilizantes fermentados, bocashi y otro tipo de compostas. Una buena composta, producirá plantas fuertes y sanas, y es casi una garantía de buena cosecha. Los

seres vivos, somos lo que comemos. La composta es una fuente natural y rica de nutrientes para la planta. Los micronutrientes en la composta se encuentran quelados y así se evita la lixiviación y la toxicidad de los mismos. Ya en el suelo, mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo, su estructura y cohesión, mejora la retención del agua y al mismo tiempo la oxigenación del suelo. Es aún una fuente de energía para los microorganismos del suelo compuestos de carbono.

Estimula el desarrollo radicular y la actividad de los macro y microorganismos del suelo, que a su vez viven en simbiosis con la planta y que actúan de forma positiva para proveer a la planta de minerales de difícil absorción, como en el caso de las micorrizas, de protección de las enfermedades de la raíz, como es el caso del *Trichoderma*, de fijación de nitrógeno, el caso de *Rizobium* y *Azotobacter*, otras más liberan sustancias que convierten asimilable el fósforo, etc.

En México las primeras plantas de compostaje se construyeron a finales de la década de 1960 a principios de 1970. Estas plantas generaron grandes expectativas; los objetivos eran similares a los de hoy: recuperar materias primas para las industrias de prolongar la vida útil de los sitios disposición final, mejorar la calidad de vida. Para lograr los objetivos, los gobiernos municipales o estatales invirtieron bastante capital, por diversas razones, se han cerrado aproximadamente una tercera parte de las instaladas en México. Tales como las plantas de Toluca, En Guadalajara, Monterrey y San Juan de Aragón y las plantas de Acapulco y Villahermosa se construyeron pero nunca operaron, también fracasaron Oaxaca y Morelia. En la actualidad siguen operando como: Bordo Poniente, Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza, Universidad Nacional, Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana, Jilotepec, Querétaro y Jalapa.

Factores de fracaso en plantas municipales de compostaje en México.

FACTORES POLÍTICOS

La falta de prioridad dada por la autoridad municipal porque percibe otros problemas urbanos como más urgentes

La falta de continuidad de los proyectos en la administración municipal

La falta de iniciativa por parte de la autoridad municipal

La falta de involucramiento del sindicato o los trabajadores de limpieza

La falta de veracidad o de verificación de la información que proporcionan los distribuidores de ciertas tecnologías

La suerte de los centros de compostaje depende de las decisiones de las autoridades y de los años electorales

La corrupción que puede existir en torno a la construcción y operación de una planta de gran escala

Las limitantes legales relacionadas con la comercialización de la composta por parte de los municipios.

FACTORES ECONÓMICOS

La percepción de que es más costoso producir composta que disponer de la basura orgánica en un relleno sanitario

La percepción de amenaza por parte de quienes actualmente se benefician económicamente del manejo de los residuos

La incorrecta percepción de que la composta debe competir con los fertilizantes

Los costos de operación pueden ser relativamente altos para plantas de compostaje pequeñas

No se cobra el ingreso de la basura en los sitios de disposición final

La composta no es rentable para muchos agricultores, el costo del transporte es elevado, la calidad y los tiempos de entrega no son confiables

La falta de subsidio para operar las plantas de compostaje

Problemas de flujo de dinero relacionados con contrataciones y concesiones privadas para el manejo de los centros de compostaje.

FACTORES SOCIALES

Falta de cultura del manejo de la composta, existe un desconocimiento de los usos y beneficios de la composta

Las plantas de compostaje en México son poco conocidas

La composta ha sido estigmatizada y tiene una mala reputación a raíz de sus malos antecedentes, hoy en día los posibles compradores desconfían del producto

Falta de apoyo o rechazo de los centros de compostaje por parte de la sociedad civil, vecinos inconformes por olores y ruido.

FACTORES DE PLANEACIÓN Y ADMINISTRATIVOS

La producción de la composta es mayor que la demanda en varios municipios, falta un mayor aprovechamiento del producto

No existe un mercado desarrollado para la composta

La comercialización de la composta no se considera como parte integral del proyecto de planeación y manejo de las PC

Falta estructurar a largo plazo el manejo de una planta de compostaje de gran escala

Estudios de factibilidad mal realizados, falta una mayor transparencia y claridad en los costos de producción de la composta

La inadecuada ubicación de algunas plantas de compostaje, su lejanía con respecto al sitio de disposición final, al origen de los residuos o al mercado de consumo

La falta de espacio dentro de las plantas de compostaje

Faltan vehículos y recursos para garantizar el acopio, ineficiencia en el acopio del material en los mercados y en el sector industrial

La falta de un programa incentivos para los pepenadores causa una baja eficiencia en la separación de los residuos

La falta de cooperación de los recolectores quienes no entregan el producto orgánico a las plantas o la separan inadecuadamente

La falta de comunicación y coordinación entre los recolectores y los trabajadores de las PdC

La burocracia en los ayuntamientos y municipios causa atrasos en la operación de las PdC

Poca motivación de los recolectores para capacitar a la población y recolectar la basura

separada

La producción de la composta no está bien distribuida en los municipios o ciudades: hay zonas con plantas poco productivas por falta de insumos y otras áreas sin plantas de compostaje.

FACTORES TÉCNICOS

No se realizan pruebas preliminares del proceso antes de la instalación de la planta, los cambios al proceso se efectúan conforme se presentan los problemas en la planta

La vulnerabilidad de las plantas de compostaje ante la alta probabilidad de incendio en los basureros

Falta de adecuada separación del material en el servicio de acopio y transferencia, la limpieza de residuos mal separados en la planta toma mucho tiempo y esfuerzo

Falta de capacitación del personal en las plantas de composta

Fallas mecánicas que causan atrasos en la producción de composta

Introducción de tecnologías extranjeras incompatibles o que no se han probado localmente, el diseño y el funcionamiento de la maquinaria no se adapta a las características del residuo mexicano

Compra de maquinaria muy especializada cuyas refacciones resultan difíciles de conseguir localmente

La falta de equipamiento y maquinaria adecuada para operar las plantas de compostaje causa atrasos considerables en la producción de la composta

La pobre estimación del volumen de residuos a recibir, sus características y composición, por estaciones del año

Problemas de abastecimiento de agua en las plantas de compostaje

Pobre control de calidad de la composta y producción de composta de baja calidad

Falta de control de calidad de las pilas de composta y las dificultades en el proceso de volteo

Diseños inadecuados de la maquinaria (contenedores, bandas transportadoras y grúas excavadoras)

Los sistemas automatizados de control de la maquinaria no han dado buenos resultados

Existe una constante fuente de problemas de mantenimiento creando altos costos, los martillos de los molinos se desgastan rápidamente debido a que son muy abrasivos los residuos mexicanos

Alta intensidad de ruido

Baja productividad de los trabajadores.

Fuente: Manual de Compostaje INE-SEMARNAT

Factores de éxito en plantas municipales de compostaje en México.

FACTORES POLÍTICOS

Las autoridades municipales reconocen que las plantas de composta ofrecen beneficios ambientales, sociales y políticos

Los actores políticos reconocen el valor de la composta como una solución viable para reducir el volumen de los RSU en los municipios e incrementar la restauración del suelo

La población es consciente de los beneficios de hacer y de usar composta

Se logra asegurar la continuidad de operación de los programas de separación de orgánicos y la operación de la planta, de una administración municipal a la siguiente

La autoridad ofrece garantías a los diferentes actores que producen y consumen la composta.

FACTORES ECONÓMICOS

Existe un sistema de cobro para recolectar y procesar los RSU

Se reutiliza la composta en terrenos del municipio o institución educativa

Se produce una composta de calidad que es factible vender

Existe demanda para composta en la zona (ya sea en áreas urbanas o rurales)

FACTORES ADMINISTRATIVOS Y DE PLANEACIÓN

Existe seriedad en el acopio y se garantiza la puntualidad del material de entrada

Están previstos recursos para el mantenimiento y reemplazo del equipo y maquinaria

Existe suficiente espacio en la planta para almacenar la composta producida mientras se distribuye

Existe colaboración y buena voluntad del personal de recolección de los residuos

Existe una recolección separada de los residuos

Hay acceso al agua, ubicación de la planta cerca de una fuente de agua

La operación y la administración de una PdC es igual a la de una pequeña o mediana empresa privada.

FACTORES TÉCNICOS

El personal que opera la planta de composta está capacitado y motivado

La planta cuenta con laboratorio para monitorear el proceso de producción

Se preselecciona el material en la planta

La producción de la composta es continua, sin interrupciones

PdC Existe un efectivo proceso de separación y un buen control de la calidad de los residuos que entran a la planta

FACTORES SOCIALES

Existe conciencia de la sinergia que representa lo que es un "residuo" para un ciudadano y un "fertilizante" para un agricultor

La sensibilización y buena disposición de la población para separar los residuos en los domicilios

La población y los tomadores de decisiones ven resultados concretos. Una planta bien operada, un programa de separación bien llevado, la disponibilidad y el uso de composta de buena calidad

Se conjugan esfuerzos personales con esfuerzos individuales, y se cuenta con el apoyo de la población civil.

Fuente: Manual de Compostaje INE-SEMARNAT

Para efectos de comparación en los Estados Unidos de América hay solo 15 plantas de compostaje que utilizan desechos sólidos municipales, 250 que utilizan lodos del tratamiento de aguas negras y 3000 que usan desechos de jardín (chapoda y limpia de terrenos). Estas cifras no incluyen compostaje en el sector agrícola o a nivel casero. A principios de la década de los 60, había en Europa 37 plantas, Dicho número aumentó considerablemente durante dicha década, y a principios de los 70 se llegó a 230 plantas, destacando el Estado Francés y el Estado Español, instalándose en este último sobre todo plantas de compost en el Levante Y Andalucía. Sin embargo, a partir de mediados de los setenta la evolución se estancó y se cerraron numerosas plantas. Una de las causas de este estancamiento fue la deficiente calidad del compost producido (no se hacía separación previa en origen de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos) y el poco interés de los agricultores en utilizarlos instalándose en este último sobre todo plantas de compost en el Levante Y Andalucía. Sin embargo, a partir de mediados de los setenta la evolución se estancó y se cerraron numerosas plantas. Una de las causas de este estancamiento fue la deficiente calidad del compost producido (no se hacía separación previa en origen de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos) y el poco interés de los agricultores en utilizarlos En la actualidad, según el Ministerio de Medio Ambiente, las plantas de compost existentes en España son 24, que tratan 1.770.061 Tm y el compost producido es de 365.239 Toneladas/año, con lo cual el rendimiento compost/RSU es de 21,98%. La calidad del producto es variable, pero puede afirmarse que su tendencia es a mejorar por la implantación de modernas instalaciones de refinado y por la mejora de las condiciones de fermentación. Como podemos observar no solo México ha tenido rezago en este sector, es una situación generalizada, y varios países del mundo intentan hacer uso de los recursos tecnológicos para crear plantas de compostaje de alta calidad, que sean realmente productivas; Francia es el país con mayor porcentaje de disposición final de residuos en compostas, seguido de Suecia y España .

País o región	Cómpost
Estados Unidos	<1
Japón	2
Alemania	3
Francia	9
Suiza	-
Suecia	5
España	5
América Latina	<1

Fig. 4.8 Tendencias mundiales y % de disposición final de residuos en compostas

Fuente: Organización Panamericana de la Salud, Diagnóstica de la situación del manejo RSM en América Latina y el Caribe

CAPÍTULO V

RELLENOS SANITARIOS

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

El relleno sanitario hace algunos años se construía en hondonadas, canteras, minas abandonadas, barrancas que estaban alejadas de la zona habitacional por lo menos a un kilómetro y medio. Consistía en un depósito construido sobre una base impermeable, ya sea por compactación por aplicación de arcilla, cal y bentonita o materiales sintéticos.

El relleno sanitario es el método de disposición final de la basura, más conocido y popular, por ser eficiente, barato y de menores costos que hay. Aunque se tiene que contar con grandes áreas de terrenos alejados de la ciudad debido a los fuertes olores y problemas de gases que se generan por el entierro de la basura. Para operar un relleno sanitario se debe de contar con cierta documentación y seguir una serie de normas que regulan las disposiciones generales de infraestructura y funcionamiento del mismo.

Con el objeto de asegurar la protección ambiental del sitio y de la vida útil del relleno, los principales factores abióticos a estudiar y analizar son: el suelo, el agua y el aire, como consecuencia de las afecciones que en la construcción y operación del relleno, por el movimiento de tierra, la conformación de una nueva topografía y la acumulación de los residuos producirán: gases y lixiviados. Es decir, se exige expresamente la realización de los siguientes estudios y análisis:

Previo a la selección del sitio:

Estudio geológico.- “Deberá determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo, se debe

incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información debe ser de cortes litológicos de pozos perforados en la zona, e informes realizados por alguna institución particular u oficial”.

Los estudios geológicos determinan la forma del interior de las capas terrestres, la materia que la compone, su mecanismo de formación, los cambios o alteraciones que ésta ha experimentado desde su origen, la región seleccionada, y la textura y estructura que tiene en el actual estado del sitio, además de la relación de las rocas que la componen.

Estudios hidrogeológicos.- Evidencias y uso de aguas subterráneas; Identificación del tipo de acuífero; Análisis del sistema de flujo. Los estudios hidrogeológicos determinan la existencia de las aguas subterráneas en lo relacionado con su origen y formación, su circulación, sus condicionamientos geológicos (formas del yacimiento, difusión, régimen y reservas), su interacción con los suelos, rocas y humedales; su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas) y su captación.

En el Sitio, previo a la construcción y operación de un sitio de disposición final:

Estudio topográfico.- Se debe realizar un estudio topográfico incluyendo planimetría y altimetría a detalle del sitio seleccionado para el sitio de disposición final. Los estudios topográficos, determinan el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie del terreno, sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales, a través de un conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie tanto plana como con relieves, para determinar y representar la altura; también llamada "cota", de cada uno de los puntos, respecto de un plano de referencia (planos de curvas de nivel y perfiles). Con base en éstos se editan y redactan las cartas topográficas utilizando símbolos convencionales y estándares previamente normados para la representación de los objetos naturales y antrópicos.

Estudio Geotécnico.- Se deberá realizar para obtener los elementos de diseño necesarios y garantizar la protección del suelo, subsuelo, agua superficial y subterránea. La estabilidad de las obras civiles y del sitio de disposición final a construirse, incluyendo al menos las siguientes pruebas: Exploración, muestreo y Estudios en laboratorio (con sus especificaciones particulares).

Anteriormente, a la geotécnica se le identificaba como la mecánica de suelos, actualmente se han adicionado temas de la ingeniería y otros para ampliar el término.

Previo a la construcción de alguna obra de ingeniería, se deben conocer las características del terreno seleccionado y definir el tipo de obra y sus dimensiones, para conocer que las

cargas generadas por las cimentaciones, excavaciones y rellenos, o las cargas soportadas por estructuras de contención, no produzcan situaciones de inestabilidad o movimientos excesivos de las propias estructuras o del terreno, que haga peligrar la obra estructural, o funcionalmente.

Para evitar riesgos constructivos se debe considerar el volumen, localización y tipo de materiales a excavar, además de la maquinaria a emplear; ubicación y características de los materiales de préstamo; así como la profundidad del nivel freático y riesgos por infiltraciones, arrastres y erosiones internas.

Estos estudios se utilizan para determinar las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales. Con éstos se investigan el suelo y las rocas por debajo de las superficies para diseñar las cimentaciones para las estructuras. También se evalúan los riesgos provocados por actividades antropogénicas y de fenómenos naturales, tales como deslizamientos y hundimientos, flujos de lodo, caídas de piedra.

Para el reconocimiento geotécnico del terreno pueden utilizarse desde la básica inspección visual, (muy utilizada en la caracterización de macizos rocosos), hasta técnicas de campo o laboratorio más o menos complejas.

Evaluación geológica.- Se deberá precisar la litología de los materiales, así como la geometría, distribución y presencia de fracturas y fallas geológicas en el sitio.”; “Se deberán determinar las características estratigráficas del sitio. Dentro de la evaluación geológica, se debe definir la geometría de las rocas y la posición en que aparecen en la superficie; Interpretar y entender la arquitectura de la corteza terrestre y su relación espacial, determinando las deformaciones que presenta y la geometría superficial de las estructuras rocosas. Para el caso es importante observar la estratigrafía, es decir la interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas, y la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal; cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas.

Evaluación Hidrogeológica.- Se deben determinar los parámetros hidráulicos, dirección del flujo subterráneo, características físicas, químicas y biológicas del agua. Se deben determinar las unidades hidrogeológicas que componen el subsuelo, así como las características que las identifican (espesor y permeabilidad). Actualmente los estudios hidrogeológicos son de especial interés no sólo para la provisión de agua a la población sino también para entender el ciclo vital de ciertos elementos químicos, Además de evaluar el ciclo de las sustancias contaminantes, su movilidad, dispersión y la manera en que afectan al medio ambiente, por lo que resulta básica para los sistemas ambientales complejos. El abordaje de las cuestiones hidrogeológicas abarcan: la evaluación de las condiciones climáticas de una región, su régimen pluviométrico, la composición química

del agua, las características de las rocas como permeabilidad, porosidad, fisuración, su composición química, los rasgos geológicos y geotectónicos, es así que esta evaluación debe considerar las relaciones entre la geología y las aguas subterráneas, los procesos que rigen los movimientos de las aguas subterráneas en el interior de las rocas y de los sedimentos y de la química de las aguas subterráneas.

Estudios de generación y composición.- Generación y composición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; Generación de biogás y Generación de Lixiviados.

La utilidad de conocer sobre la generación y la composición de los residuos sólidos y de manejo especial, sirve para una serie de fines, entre los que se pueden destacar los estudios de factibilidad de reciclaje, factibilidad de tratamiento, investigación, identificación de residuos, estudio de políticas de gestión de manejo y por ende la generación de biogás y lixiviados que se generen en el relleno sanitario. La cantidad y calidad de los residuos sólidos puede variar en forma significativa a través del año, así como de los hábitos y disponibilidad de consumo, dependiendo de la región y localidad de que se trate, por lo que es necesario identificar el número de habitantes de la población a servir. En la identificación de la generación de biogás y lixiviados, se deberán considerar las características de los residuos como son: humedad (para conocer los procesos a la que puede ser sometida), densidad (depende de su constitución y humedad, debiendo distinguir los diferentes valores en las distintas etapas de manejo) y poder calorífico (es la cantidad de energía que puede liberar un material).

Los estudios que se indican, previos al diseño y construcción de un relleno sanitario se centran en las mismas áreas con los alcances que se indica:

1) Ordenación territorial:

- a. Distancia a núcleos de población
- b. Distancia a núcleos de generación de residuos
- c. Zonas naturales protegidas
- d. Otras instalaciones de interés: aeropuertos
- e. Comunicaciones, infraestructuras y accesos
- f. Usos del suelo

2) Topografía:

- a. Pendientes
- b. Planimetría
- c. Altimetría

3) Geología

- a. Estratigrafía
- b. Profundidad del suelo
- c. Tipo de suelo y roca madre
- d. Geometría, distribución y localización de fallas geológicas

4) Hidrogeología

- a. Nivel freático y fluctuaciones
- b. Masas de agua, acuíferos
- c. Análisis de cuencas y cauces fluviales
- d. Flujos y corrientes subterráneas
- e. Extracción de agua subterránea o captación de superficiales
- f. Permeabilidad del suelo

5) Geotecnia:

- a. Materiales
- b. Permeabilidad
- c. Estabilidad del terreno y posibilidad de asentamientos

6) Climatología

- a. Inundabilidad de la zona
- b. Precipitación Pluvial
- c. Vientos Dominantes

7) Rasgos socioeconómicos

- a. Centros de población
- b. Ruta de Acceso

En algunos casos se llega a indicar estudios de la calidad del suelo y parámetros físico - químicos como capacidad de intercambio catiónico, contenido de humedad, porosidad, resistencia al corte, granulometría, curva de compactación.

La realización de estudios previos a la construcción de rellenos sanitarios, permiten la evaluación del sitio seleccionado y evitan el problema de la contaminación producida actualmente en los sitios no controlados (tiraderos a cielo abierto) y el impacto negativo producido al aire (por emisiones de bióxido de carbono y metano), suelo y cuerpos de agua (superficiales y subterráneos por la presencia de metales pesados tales como Hg, Pb, As, Cd, Cr, Ni y Cu, que son potencialmente tóxicos al medio ambiente y que constituyen

un peligro para los habitantes de la región) debido a las alteraciones provocadas por los lixiviados que escurren o se infiltran, modificando la calidad de los suelos y los recursos hídricos.

En México, son pocos los estudios sobre lixiviados provenientes de tiraderos municipales, por lo general no existe control de lixiviados y biogases, además de que la permeabilidad de las rocas donde se localizan muchos de ellos, son de alta porosidad y permeabilidad. Es de considerarse que en algunos tiraderos se utilizan arenas de diversos tipos como cubierta de los residuos en su caso generalmente no se utiliza material alguno para la cubierta o se realiza mucho tiempo después del indicado, lo que genera un impacto mayor al medio ambiente.

Los principales criterios de calidad ambiental relacionada con disposición de residuos son:

- Escape incontrolado de gases que puedan migrar fuera del sitio del relleno, produciendo malos olores y condiciones potencialmente peligrosas.
- Impacto de la emisión de gases de efecto invernadero.
- Generación incontrolada de lixiviados, produciendo contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- Reproducción de vectores sanitarios por inadecuada operación del relleno, con riesgo a la salud.
- Riesgo sanitario y ambiental por escape de gases y lixiviado, después del cierre del relleno.
- Riesgos y amenazas provocados por inestabilidad del relleno.
- Con esto se pretende describir tanto los aspectos técnicos como los ambientales para un desarrollo adecuado de un relleno sanitario, con aplicación especial a municipios medianos y pequeños.

Tipos de relleno sanitario

Relleno sanitario mecanizado: es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Este tipo es un proyecto de ingeniería bastante complejo que va más allá de operar con equipo pesado. Esto está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño, la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto, el manejo de las inversiones y gastos de operación y mantenimiento.

Para este tipo de relleno se requiere el uso de un compactador de residuos sólidos y equipo especializado para movimiento de la tierra.

Relleno sanitario semimecanizado: Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos sólidos municipales en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos el tractor adaptado con una hoja topadora o cuchilla y un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno al que podríamos llamar semimecanizado.

Relleno sanitario manual: Es cuando la población genera menos de 15 toneladas al día, además sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir equipo pesado. El termino manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos pueden ser ejecutados con apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.

Métodos de construcción de un relleno sanitario

El método constructivo y la subsecuente operación de un relleno sanitario, está determinado por la topografía del terreno, aunque depende también del suelo y profundidad del nivel freático.

Existen dos maneras básicas de construir:

- Método de trinchera o zanja

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de 2 a 3 metros de profundidad con maquinaria pesada (retroexcavadora), en ocasiones las zanjas han tenido una profundidad de 7 metros, Los sólidos se depositan y se acomodan dentro de la zanja, para luego compactarlos y cubrirlos con tierra.

En temporada de lluvias, no se deben inundar las zanjas, de ahí que se deban construir canales para captar las aguas y desviarlas.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como el tipo de suelo.

- Método de área

En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura se puede depositar directamente sobre el suelo original y debe elevarse algunos metros, previa impermeabilización. Las fosas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno.

Sirve también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno o, en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno; es decir, la basura se descarga en la base del talud, se extiende y apisona contra él y se recubre diariamente con una capa de tierra. Se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 18,4 a 26,5 grados en el talud; es decir, la relación vertical/horizontal de 1:3 a 1:2, respectivamente, y de 1 a 2 grados en la superficie, o sea, de 2 a 3,5%.

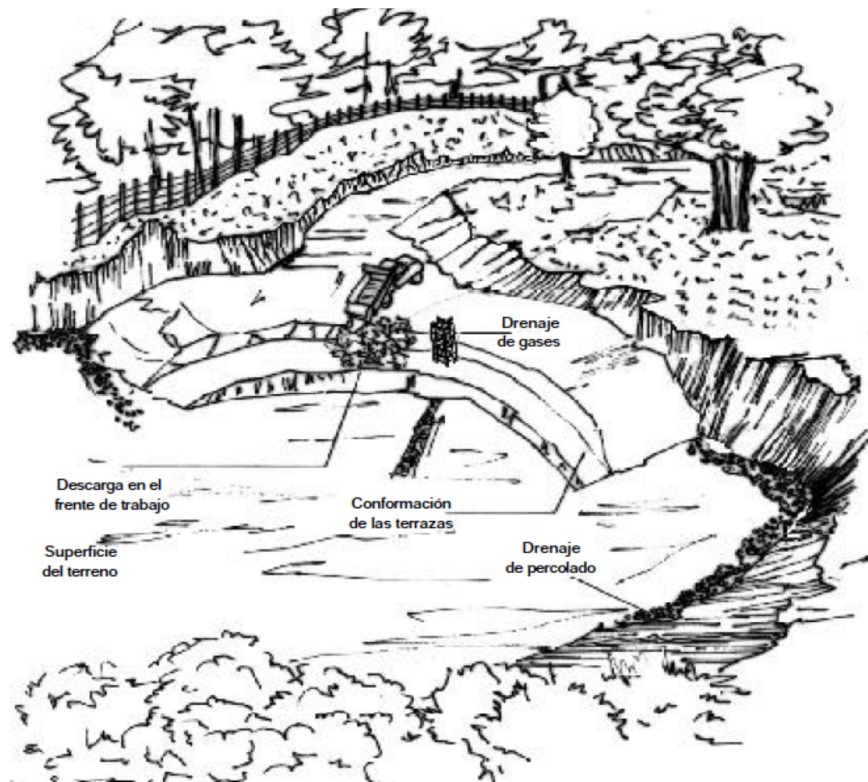


Fig. 5.1 "Método de área para rellenar depresiones"

- Combinación de ambos métodos

Dado que estos dos métodos de construcción de rellenos sanitarios tienen técnicas similares de operación, es posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados.

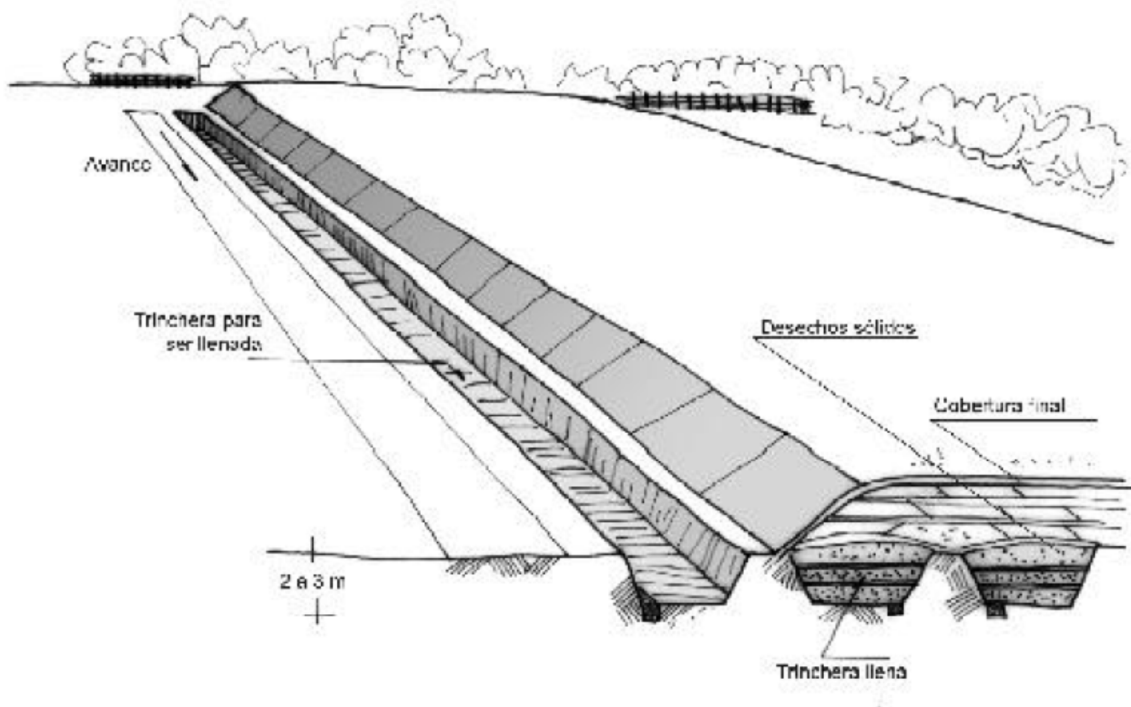


Fig. 5.2 "Combinación de ambos métodos"

Ventajas de un relleno sanitario

- El relleno sanitario es un método completo y definitivo para la eliminación de todo tipo de desechos sólidos.
- Evita los problemas de cenizas y de materiales que no se descomponen.
- Tiene bajos costos de operación y mantenimiento.
- Genera empleo para mano de obra no calificada.
- Puede ubicarse cerca al área urbana, reduciendo los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- Permite utilizar terrenos considerados improductivos, convirtiéndolos luego en parque o campos de juegos.

Desventajas de un relleno sanitario

- De no usarlo adecuadamente como relleno con todas las reglas y normas se podría convertir en un basurero clandestino y contaminante para el aire.
- Se tiene que ubicar lo más lejos posible de la ciudad o de las casas habitaciones para que los malos olores y los gases no afecten a la población.
- Se necesita que se hagan mantenimientos continuos.
- Se tiene que construir buenos asentamientos que permitan controlar las emisiones de gas que se generan.

Las principales obras de infraestructura e instalaciones de un relleno son:

- Camino de acceso
- Camino Principal
- Caminos internos
- Drenes de control y conducción de lixiviados
- Fosa para almacenamiento de lixiviados
- Sistema para el control de agua pluvial
- Impermeabilización del subsuelo con geo membrana
- Construcción de una casetas de control y una de vigilancia
- Instalación de básculas
- Construcción de cobertizo para protección de la maquinaria
- Construcción de oficinas generales y área de estacionamientos
- Colocación de señalamientos viales
- Instalación de una cerca perimetral y cortina arbórea

El relleno debe contar con:

- Una buena compactación de los desechos sólidos, antes y después de cubrirlos con tierra.
- Cubrimiento diario de la basura con una capa de tierra o material similar.
- Controlar con drenajes y otras técnicas los líquidos o percolados y los gases que produce el relleno, para mantener las mejores condiciones de operación y proteger el ambiente.
- Evitar por medio de canales y drenajes que el agua de lluvia ingrese al relleno sanitario.

- Una supervisión constante, tanto de los administradores como de las organizaciones comunales.

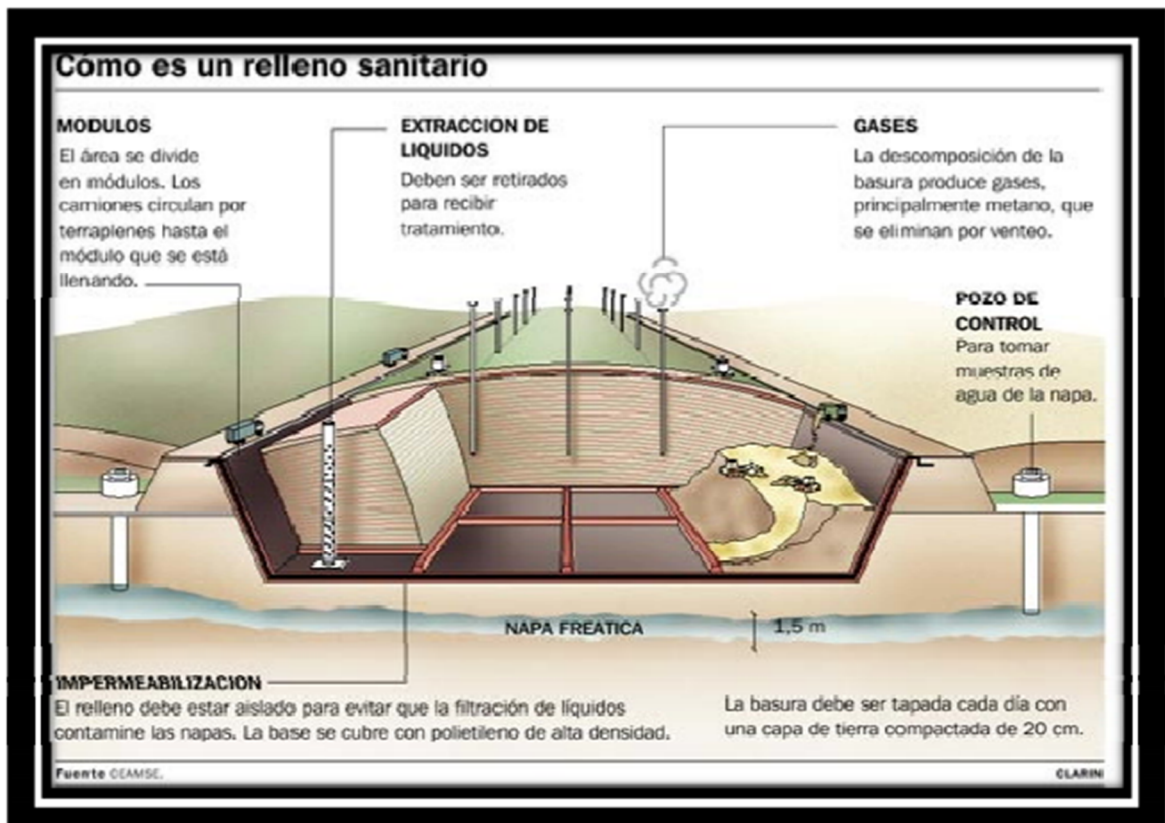


Fig.5.3 Ej. Relleno sanitario

La construcción de rellenos sanitarios en México.

En la zona metropolitana de la ciudad de México en el siglo XX en 1980 se construyó uno de los rellenos sanitarios más grandes y modernos de mundo en el Bordo Poniente ubicado en el Exvaso de Texcoco con una extensión de 420 hectáreas, muy práctico para este fin, sin embargo el jefe de gobierno del D.F. Marcelo Ebrad anunció el cierre el 19 de diciembre de 2011. Al cierre del relleno sanitario del Bordo Poniente, el gobernador del estado de México Eruviel Ávila Villegas autorizó recibir la basura de la Ciudad de México en cuatro rellenos sanitarios ubicados en los municipios de Cuautitlán Izcalli, Ixtapaluca, Tecámac, Xonacatlán, y a establecimientos de particulares.

Durante la administración del Presidente Felipe Calderón Hinojosa, se apoyó la construcción de 146 rellenos sanitarios, que sumados a 88 existentes al inicio de la administración sumaron 234 rellenos sanitarios. La construcción de los 146 rellenos sanitarios se benefició a un poco más de 12 millones de personas en 207 municipios ubicados en 26 estados de la república.

El 39.4% de todos recursos etiquetados para impulsar y fortalecer la gestión de residuos sólidos se destinaron a la construcción de nuevos rellenos sanitarios. Esto equivale a poco más de \$780 millones de pesos. El gobierno federal autorizó 381 millones de pesos a fondo perdido, a través de Fondo Nacional de Infraestructura, para garantizar el esquema de explotación del biogás, a partir del primero de enero del 2012.

En la actualidad en Estados Unidos de América sólo un poco más de mitad de toda la basura es enterrada en rellenos sanitarios, una tercera parte es reciclada y el resto incinerado para producir energía.

En la ciudad de los Ángeles el relleno sanitario recibe 11000 toneladas por día, se estima que para el 2025 llegue a su máxima capacidad, tiene un sistema de colección de metano para producción de electricidad.

En Alemania se diseñan rellenos sanitarios modernos para desalentar biodegradación al remover el oxígeno, luz solar y agua, y el biogás generado por estos corresponde al metano y dióxido de carbono.

A nivel mundial los rellenos representan la tercera parte más grande de emisiones antropogénicas de metano este puede ser aprovechado en la generación de electricidad o como combustible del transporte.

En Estados Unidos de América en la ciudad de los Ángeles encontramos uno de los rellenos Sanitarios más grandes del mundo, en China, España y en América Latina se localizan otros de los más grandes del mundo.

Los países Latinoamericanos, Estados Unidos de América, España y Alemania, tienen los más altos porcentajes en cuanto a disposición de residuos mediante rellenos sanitarios, con un porcentaje menor Francia, Suecia, Japón y Suiza.

País o región	Relleno sanitario (o basurero) %
Estados Unidos	80
Japón	30
Alemania	70
Francia	55
Suiza	20
Suecia	40
España	80
América Latina	98

Fig. 5.4 Tendencias mundiales y % de disposición final de residuos en rellenos sanitarios

Fuente: Organización Panamericana de la Salud, Diagnóstica de la situación del manejo RSM en América Latina y el Caribe.

Las tendencias mundiales del manejo de los residuos sólidos municipales, se pueden apreciar en la tabla los porcentajes de acuerdo a los diferentes métodos de tratamiento, pudiendo observar que en la mayoría de los países europeos la disposición final de los residuos es mediante relleno sanitario, y en menores porcentajes mediante incineración, reciclado, compostaje y otros.

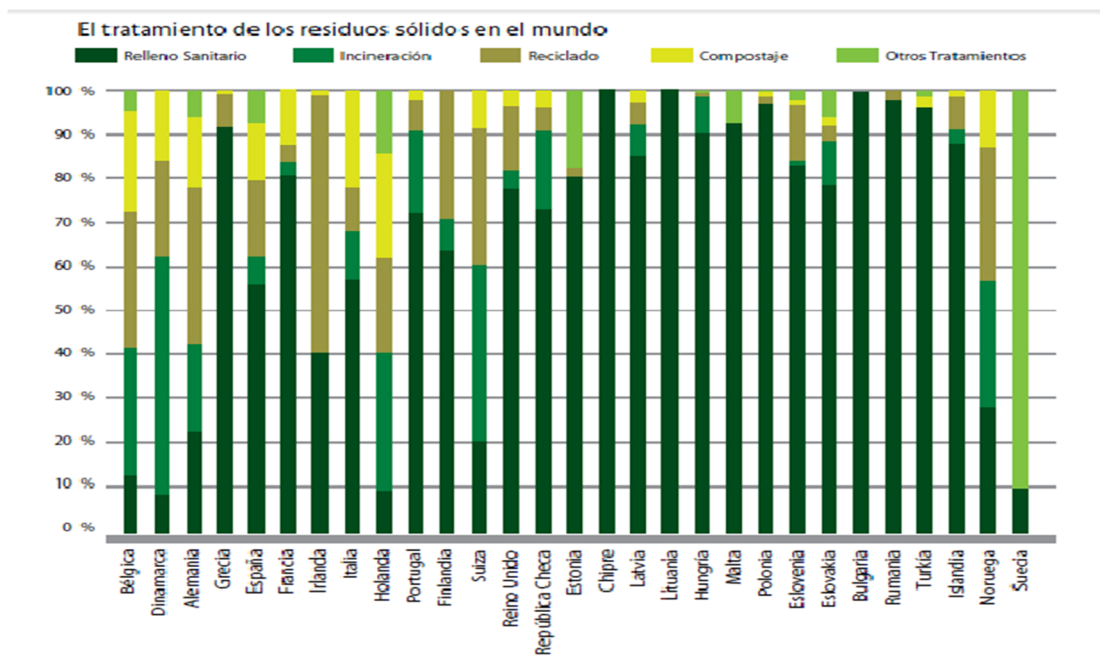


Fig. 5.5 Tendencias mundiales y % de disposición final de residuos

Fuente: Revista, Futuro Sustentable, Número 26/Mayo/Junio 2009.

CAPÍTULO VI

INCINERACIÓN

Durante las últimas décadas, la mayoría de los países industrializados con densidades de población elevadas han empleado la incineración como procedimiento, alternativo al vertedero controlado, para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos. La utilización de esta tecnología permite reducir en gran medida el peso (75%) y el volumen (90%) de los residuos a tratar y, además, obtener energía. Son precisamente el poder calorífico del material a incinerar y el potencial contaminante de las emisiones dos motivos que han hecho evolucionar los sistemas de incineración hacia procedimientos capaces de alcanzar mayores rendimientos en la combustión y mayor eficacia en la eliminación de contaminantes

La incineración se puede entender de manera amplia como cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados, a fin de alcanzar la eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos. En esta definición se incluye la pirólisis, la gasificación y plasma, sólo cuando los subproductos combustibles generados en estos procesos sean sometidos a combustión en un ambiente rico en oxígeno.

A medida que la población y las actividades productivas del país han ido creciendo, la generación de residuos sólidos municipales, hospitalarios e industriales, se ha incrementado de tal manera, que el impacto y el riesgo que ocasiona su manejo, tratamiento y disposición final representan en la actualidad un verdadero problema, en especial para aquellos residuos considerados como peligrosos.

Por lo tanto, es necesario ampliar y diversificar la infraestructura y sistemas orientados a la minimización, reutilización, reciclaje y tratamiento de residuos. Una alternativa tecnológica de disposición es la incineración, la cual permite reducir el volumen y peligrosidad de los mismos.

La incineración de residuos provenientes de cualquier actividad, incluyendo los residuos peligrosos, produce emisiones que provocan la contaminación del ambiente y con ello dañan a los ecosistemas y la salud humana; lo cual demanda la adopción de acciones preventivas tendientes a propiciar condiciones de operación adecuadas y valores límite de

emisión aceptables, en particular en lo que se refiere a las dioxinas y furanos. Las acciones preventivas, de conformidad con la política ecológica, requieren de un enfoque en el que se incluyan los diferentes medios receptores, lo cual implica considerar de manera integral el control de las emisiones al aire y el manejo de las cenizas.

La incineración ha sido objeto de críticas desde el punto de vista medioambiental debido a la formación de sustancias muy tóxicas, dioxinas y furanos, que junto a diferentes metales pesados pueden ser emitidos por estas instalaciones. Las disposiciones y normas legales que limitan las emisiones de las incineradoras son cada vez más estrictas de modo que para conseguir su cumplimiento ha sido necesario desarrollar nuevas tecnologías para el sistema de combustión y para el sistema de depuración de gases.

Actualmente la incineración debe contemplarse como uno de los posibles elementos que configuran los sistemas de gestión integrada de los residuos sólidos. En estos sistemas debe procederse a la reducción de la generación de residuos, a la recuperación de los materiales reciclables y finalmente al tratamiento y eliminación de los residuos inevitables y no reciclables. Es en esta última etapa donde la incineración compite con otros procesos térmicos o biológicos como tratamiento previo al vertido de los residuos no reciclables en el terreno.

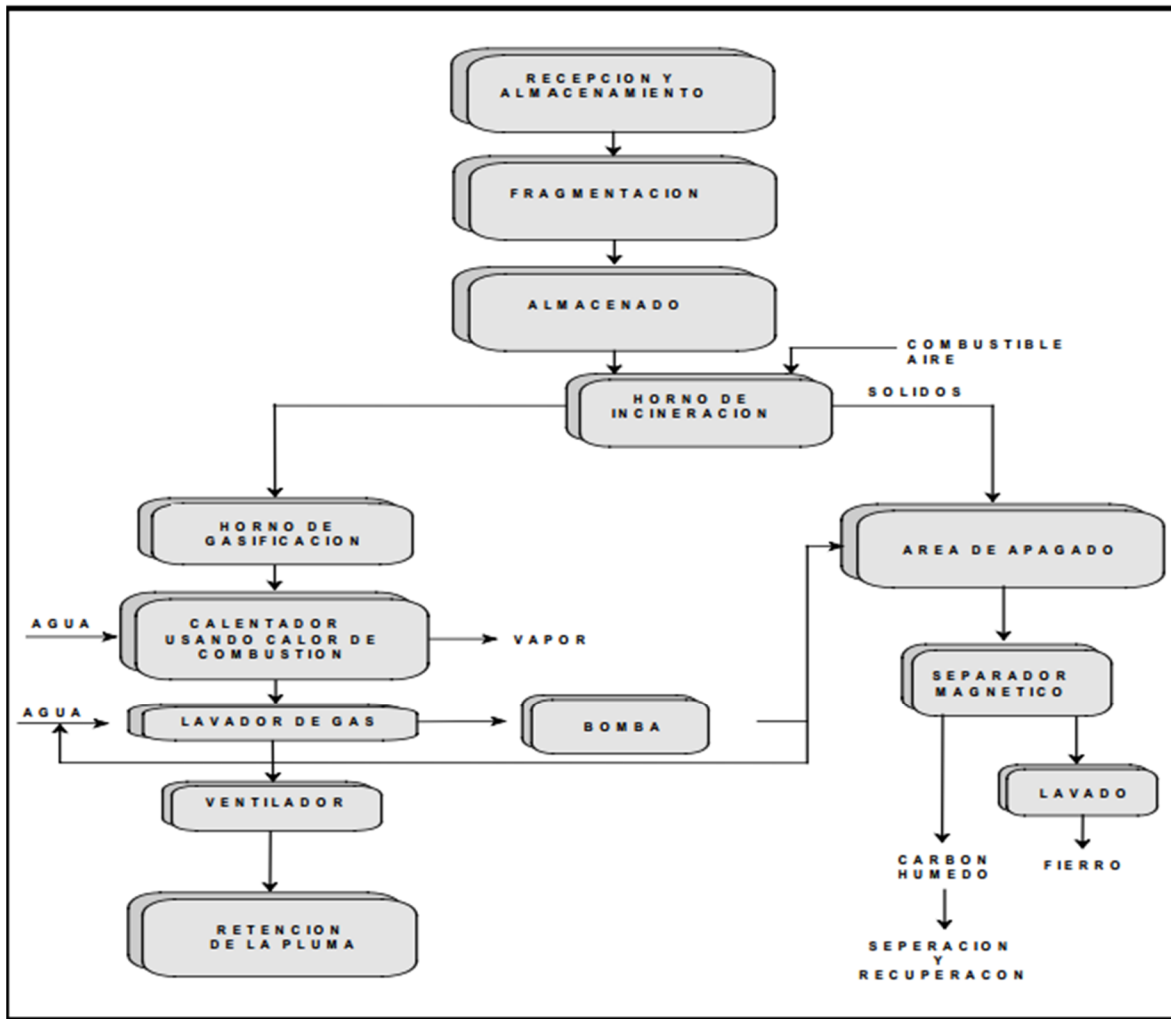


Fig. 6.1 "Proceso general de incineración de residuos sólidos"

La combustión de los residuos sólidos es un proceso complejo en el que, a los diferentes fenómenos de secado, deshidratación y gasificación. Se une la heterogeneidad de la alimentación. En este proceso es indispensable operar con un exceso de aire para asegurar la combustión completa y para evitar que la temperatura sea demasiado elevada ($T > 1100^{\circ}\text{C}$) y pueda ablandar y fundir las cenizas y escorias. La formación de óxidos de nitrógeno también se reduce cuando se controla la temperatura de la cámara. Para que la combustión sea completa es necesario conseguir un buen contacto entre los reactantes, es decir, entre el aire y los sólidos y que el tiempo de permanencia de cada uno de los materiales sea, en las condiciones de temperatura y presión parcial de oxígeno fijadas,

superior al de conversión completa. Existe una gran variedad de hornos para lograr la combustión de los residuos en condiciones adecuadas. Los hornos de parrillas fijas, los de parrillas móviles, con diferentes tipos de parrillas y movimientos, los hornos rotatorios, los lechos fluidizados burbujeantes o los lechos fluidizados re circulantes son ejemplos de equipos empleados en las instalaciones industriales. Los lechos fluidizados ofrecen las condiciones de operación apropiadas para una buena combustión. La agitación del lecho, la inercia térmica y la elevada superficie de contacto entre las partículas permiten alcanzar una aproximación razonable a la isothermicidad del lecho. La mezcla que se logra en los lechos fluidizados mejora la reactividad de los residuos ya que alcanzan rápidamente los valores de la temperatura de operación. Estas cualidades permiten que los lechos fluidizados sean poco sensibles a las variaciones en el poder calorífico, logren una recuperación energética elevada al no requerir un gran exceso de aire, obtengan unas escorias con una fracción de inquemados pequeña (<0,5%), razonablemente "duras", permitan un buen control del proceso y fácil mantenimiento. A pesar de las desventajas que presentan frente a otras alternativas como son su mayor consumo de energía, los mayores costos de inversión o la menor capacidad ofrecen una ventaja fundamental, mejor comportamiento ambiental ya que disminuye la formación de NOX, permite introducir cal o dolomita para retener SO₂ y también desciende el nivel de CO₂.

Para asegurar la destrucción de las moléculas orgánicas complejas, que pueden salir con los gases de combustión, se someten estos gases a un proceso adicional en el cual la temperatura es superior a 850°C durante un tiempo no inferior a 2 segundos y con un contenido de oxígeno superior al 6%. Estos gases se introducen en una caldera de recuperación para producción de vapor con el que pueda obtenerse energía eléctrica por medio de una turbina. En ocasiones se combinan con turbinas de gas para mejorar el rendimiento energético de la planta.

En la actualidad existe una gran variedad de tecnologías y procedimientos para incinerar los RSU, con múltiples variantes; pero en las plantas que prevalecen en la actualidad la tecnología que más se utiliza consiste en lo siguiente: el centro de la planta de incineración es el sistema de combustión, lo que puede dividirse en dos grandes categorías: (a) quemado masivo, o "tal como se reciben" de los camiones recolectores, de residuos no homogéneos, y (b) quemado de residuos pre tratados u homogeneizados.

Los sistemas más utilizados en Estados Unidos de América y Europa son los de quemado masivo con parrilla móvil. Es una tecnología ampliamente probada, que cubre las demandas de funcionamiento para grandes variaciones en composición de residuos y de poder calorífico. Otra alternativa utilizada, pero menos común es la de los hornos rotatorios. El quemado de residuos pre tratados u homogeneizados, requiere de selección manual y/o reducción del tamaño o desmenuzado. Una alternativa para el quemado con

pretratamiento u homogeneizado puede ser el lecho fluidizado, lo cual ha sido menos probado para RSU, ya que tan solo lo ha sido para tipos especiales de residuos industriales (en Japón, por ejemplo).

Las plantas incineradoras suelen proyectarse en módulos idénticos en capacidad, formados por el horno, caldera, tratamiento de gases y tiro forzado (chimenea con ventilador), de manera que el funcionamiento de cualquiera de estos módulos sea siempre posible, independientemente del estado de los demás. Aunque las plantas de generación de energía eléctrica están regidas por las leyes federales, para proteger la salud humana y el ambiente, existe una gran variedad de impactos ambientales asociados a las tecnologías de generación de energía eléctrica.

Comparación de los diferentes tipos de incineración			
	Parrilla móvil	Horno Rotatorio	Lecho fluidizado
Ventajas	No se requiere selección o desmenuzado previo. La tecnología ha sido ampliamente utilizada y probada. Cubre las demandas de funcionamiento técnico. Puede tolerar grandes variaciones en composición y PC de los residuos. Proporciona una eficiencia térmica total de hasta 85%. Cada horno puede construirse con una capacidad de hasta 1,200 tons/día (50 tons/hora).	No se requiere selección o desmenuzado previo. Proporciona una eficiencia térmica completa de hasta 80%. Es capaz de aceptar grandes variaciones en composición y PC de los residuos.	Costos relativamente bajos de capital y mantenimiento, debido a un concepto de diseño simple. Proporciona una eficiencia térmica total de hasta 90%. Apropiado para un amplio rango de combustibles y mezclas de combustibles. Puede manejar residuos sólidos o líquidos, ya sea en combinación o por separado.
Desventajas	Los costos de capital y de mantenimiento son relativamente elevados.	Tecnología menos común para la incineración de RSU. Los costos de capital y de mantenimiento son relativamente altos. La capacidad máxima de cada horno está limitada a aprox. 480 tons/día (20 tons/hr).	En la actualidad no es una tecnología muy común, ni probada para la incineración de RSU. La capacidad se ha limitado a 10 tons/hora, inconveniente para cantidades grandes de RSU. Demanda relativamente estricta de tamaño y composición de los residuos, que generalmente requieren pretratamiento completo.

Fig. 6.2 “Diferentes tipos de incineración”

Fuente: Manual de Energía renovable/ Incineración Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales España.

A continuación podemos observar los diferentes tipos de incineración de acuerdo al tipo de horno empleado para el proceso.

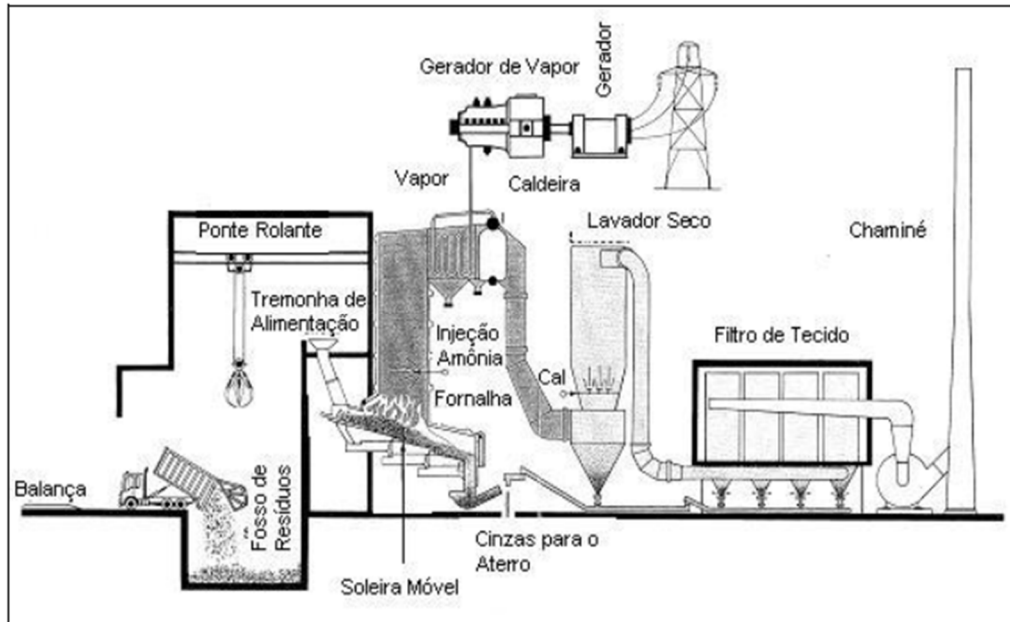


Fig. .6.3 "Sección transversal de incinerador municipal"

Fuente: Manual de Energía renovable/ Incineración Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales España.



Fig. 6.4 "Incinerador de Horno Rotatorio"

Fuente: Manual de Energía renovable/ Incineración Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales España.

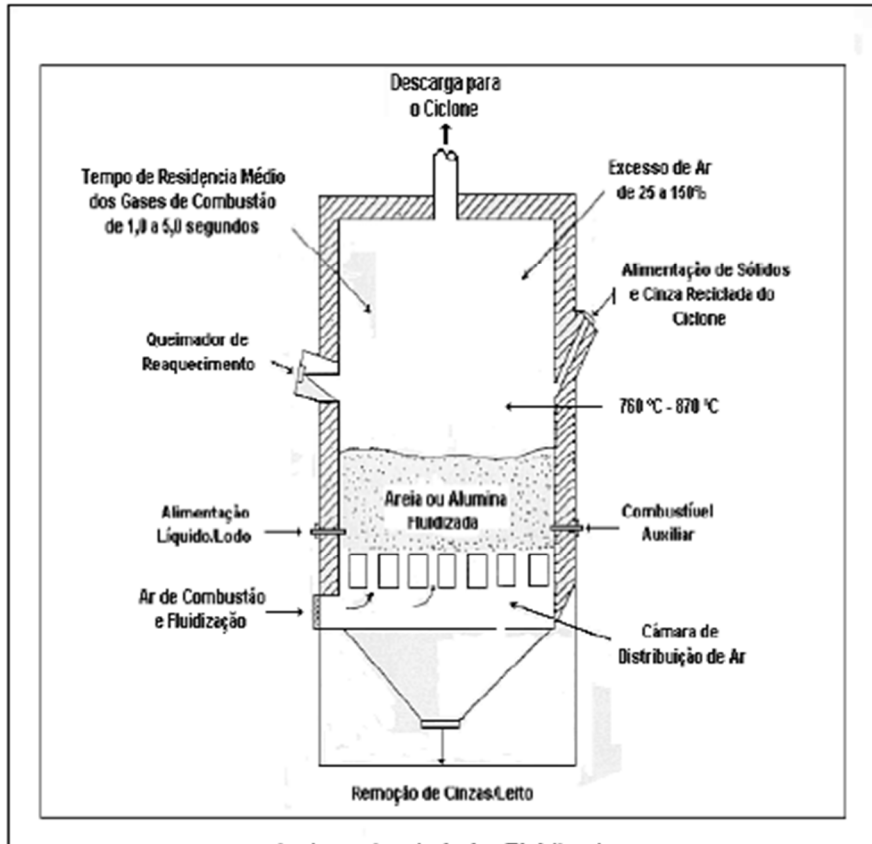


Fig. 6.5 "Incinerador de Lecho Fluidizado"

Fuente: Manual de Energía renovable/ Incineración Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales España.

Las emisiones procedentes de una incineradora deben cumplir los límites que fijan las normas legales por lo que es preciso dotar a la instalación de una serie de técnicas capaces de destruir o retener los diferentes tipos de contaminantes. A medida que van disminuyendo los límites de las emisiones aumenta la complejidad del proceso de depuración. Independientemente de los niveles fijados es preciso disminuir la concentración de un conjunto de contaminantes que se comentan a continuación. Los valores numéricos para cada uno de ellos corresponden a los valores representativos de una incineradora moderna, valores que son inferiores a los establecidos por la legislación.

Productos de la incineración de residuos

La utilización de incineradoras como tratamiento de residuos produce una serie de emisiones gaseosas y de partículas, residuos sólidos (cenizas) y efluentes líquidos nada beneficiosos para el medio ambiente entre ellos tenemos:

- **Óxidos de nitrógeno (NO_x):** Los más importantes son NO y NO₂. Los óxidos de nitrógeno son precursores de la formación de ozono (O₃) y nitratos de peroxiacilo (NPA), oxidantes de las mismas.

- **Metales:** Algunos artículos como plásticos, revistas y pilas, contienen elementos metálicos, estos pueden permanecer en las cenizas o ser emitidos por las incineradoras. En concreto, se ha observado la presencia de Cd, Zn, Sb, Ag, In y Sn en los gases de salida, así como también de Hg en menores concentraciones. La posibilidad de que un compuesto metálico se volatilice o bien forme partículas sólidas dependerá de su naturaleza química. En principio se pueden distinguir tres grupos diferentes de metales: 1- *Grupo 1:* Al, Ba, Be, Ca, Co, Fe, K, Mg, Mn, Si (semimetal), Sr y Ti. Estos elementos poseen elevados puntos de ebullición y, en consecuencia, no se volatilizan en la cámara de combustión de la incineradora. Forman parte de la misma matriz de las cenizas. 2- *Grupo 2:* As, Cd, Cu, Pb, Zn, Sb y Se (los dos últimos son semimetales), los cuales se volatilizan durante la combustión, pero condensan rápidamente cuando los gases de salida se enfrían, por lo que normalmente se encuentran en la superficie de las cenizas. 3- *Grupo 3:* Está formado por el Hg que se volatiliza y no condensa, por lo que este elemento tiene más probabilidad de escapar hacia la atmósfera. La localización de los metales (en la matriz o superficie de las cenizas, o en el efluente gaseoso), depende de su naturaleza química y también de la constitución de los gases de salida. La presencia de óxidos de azufre y de nitrógeno y/o de cloruro de hidrógeno, puede dar lugar a la formación de compuestos volátiles (sulfatos, nitratos o cloruros metálicos), que alteran la volatilidad de los metales. Debido a la posible toxicidad de los efluentes vertidos durante la incineración, el control que se debe realizar ha de ser exhaustivo.

- **Gases ácidos:** La incineración de residuos que contienen flúor y cloro genera gases ácidos, como el fluoruro y el cloruro de hidrógeno. Se encuentran cantidades traza de flúor en muchos productos, mientras que el cloro se localiza en los plásticos, sobre todo en el policloruro de vinilo, y en el poliestireno y el polietileno, que suelen llevar aditivos que contienen cloro.

- **Dioxinas y furanos:** La emisión de compuestos orgánicos de la familia de las dioxinas y furanos (que pueden emitirse en forma gaseosa y/o adsorbidas sobre las partículas), las dioxinas son unos compuestos orgánicos clorados pertenecientes a la familia de las policlorodibenzodioxinas (PCDD). Su molécula está formada por una estructura de triple anillo en la que dos anillos de benceno están unidos por un par de átomos de oxígeno. Un furano es un miembro de la familia de los policlorodibenzofuranos (PCDF), con una estructura química similar, excepto que los dos anillos de benceno están unidos por un solo átomo de oxígeno. La importancia de las familias PCDD y PCDF de compuestos orgánicos radica en que algunos de sus isómeros se encuentran entre las sustancias más tóxicas que existen. Los PCDD y PCDF son emitidos en bajas concentraciones desde los

sistemas de incineración que queman residuos urbanos. Hay algunas evidencias que demuestran que estas sustancias se producen en todos los procesos de combustión. Se han propuesto tres fuentes de dioxinas y furanos en las emisiones procedentes de la incineración de residuos urbanos: 1- *Presencia en los residuos.* 2- *Formación durante la combustión debido a los compuestos aromáticos clorados que actúan de precursores.* 3- *Formación durante la combustión por la presencia de compuestos hidrocarbonados y cloro.* Una de las causas más probables de la generación de dioxinas y furanos en la incineración es la formación a partir de sus precursores orgánicos en las zonas más frías de la post-combustión, por la acción del cloruro de hidrógeno que se genera durante el proceso. Ello favorece la formación de un agente clorante que, en contacto con los compuestos aromáticos presentes, dan lugar a este tipo de compuestos. El rango de temperaturas en el cual se forman las dioxinas en la superficie de las partículas de ceniza es de 250 a 400°C, con un máximo a 300°C. Por esta razón se aconseja que, en las zonas de post-combustión, la temperatura disminuya bruscamente, con el fin de no dar tiempo a la formación de dioxinas.

Para evitar la emisión a la atmósfera de las dioxinas que hayan podido formarse durante la incineración se suele inyectar carbón activado en polvo, que es un buen adsorbente de este tipo de compuestos.

- **PAHs:** Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son compuestos orgánicos análogos al benceno que contienen anillos aromáticos de seis miembros conectados entre ellos mediante la compartición de un par de C adyacentes, lo cual da lugar a anillos fusionados. Se forman al quemar parcialmente materiales que contienen carbono, por tanto son productos de una mala combustión. Estos compuestos son comunes en la atmósfera de las ciudades y su existencia es preocupante porque muchos son cancerígenos como el benzopireno o el benzoantraceno.

A nivel nacional e internacional hay dos aproximaciones al tema que en el caso de la incineración presentan una clara contradicción. Por un lado la situación geopolítica internacional aconseja apostar por la independencia de suministro energético, luego se incentivan por un lado políticas de ahorro energético y por otro lado de generación de energía a partir de recursos que se pueden encontrar en el país –sol, viento, agua, biomasa. Por otro lado la crisis ecológica en forma de agotamiento de recursos y el peligro del cambio climático nos obligan a apostar por fuentes de energías renovables y producidas de la forma más eficiente posible.

La contradicción consiste en querer usar la incineración para generar energía cuando; 1) la eficiencia energética es mucho menor a la de las plantas energéticas de carbón o gas, 2) las emisiones de CO₂ de las plantas incineradoras son más elevadas que las de otras plantas de producción de energía, 3) en la gran mayoría de los casos se ahorra mucha más energía reciclando que la que se puede recuperar con la incineración.

La incineración exige que los residuos tengan un poder calorífico superior a 1200 Kcal/Kg y las plantas incineradoras incluyen los sistemas de recuperación de energía en forma de vapor y electricidad. Este método genera gases contaminantes, por lo que además del costo del sistema, deberá tomarse en cuenta la emisión a la atmósfera.

La eficiencia energética de una incineradora no supera el 20% para la generación sólo de electricidad -50 a 55% para generación de electricidad con ciclo combinado y el 50% para la generación de calor cosa que la sitúa muy por debajo de la eficiencia de una planta de carbón o de gas.

Además de producir cenizas, escorias tóxicas y contaminar las aguas las incineradoras producen hasta dos veces más gases de invernadero por kilowatio-hora para la generación de electricidad que plantas de carbón. Esto es debido una vez más a su baja eficiencia energética cosa que provoca que se necesite quemar proporcionalmente muchos más residuos en peso y volumen para producir una unidad de electricidad. Este hecho es a menudo camuflado por la industria de la incineración gracias a la exclusión del carbón biogénico de las estadísticas de las emisiones. De acuerdo con datos de la propia industria incineradora el carbón biogénico representa un 60% del carbón que se puede encontrar en los residuos. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) menciona explícitamente que cuando se comparen fuentes de energía el carbón biogénico tiene que ser incluido: "las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de la biomasa (papel, comida, restos verdes y madera) son emisiones biogénicas y no deben incluirse en el total de estimación de emisiones. No obstante, si la incineración de residuos se usa para generar energía, las emisiones de CO₂ de origen fósil y biogénico deben tenerse en cuenta." Esto es debido a que todo el CO₂ emitido por una incineradora tendrá el mismo efecto sobre la atmósfera independientemente de su origen. Está demostrado que la forma más eficiente de reducir emisiones es con la prevención, el diseño de productos para que duren y puedan ser reciclados, la reutilización y el reciclaje. La incineración queda lejos de estas opciones

En mayo de 2001, Argentina firmó junto a otros países el Convenio de Estocolmo un acuerdo internacional para eliminar del planeta las cancerígenas dioxinas, compuestos tóxicos que son especialmente emitidos por los incineradores de residuos.

El Convenio de Estocolmo sobre Compuestos Orgánicos Persistentes es un tratado internacional, adoptado en el 2001, que busca proteger la salud humana y el medio ambiente de una clase particular de químicos sintéticos. Este principio se aplica a 12 contaminantes, de los cuales son 8 plaguicidas, 2 son químicos industriales (hexaclorobenceno y PCBs) y dos son producidos como subproductos accidentales (dioxinas y furanos), los tres últimos son en si mismos grupos de químicos. El convenio

incluye provisiones para expandir esta lista de forma tal que puedan incluirse otros químicos, usando el principio preventivo para juzgar su inclusión en la lista.

En México este proceso está regulado por la Norma oficial Mexicana sobre incineración (NOM-098-SEMARNAT-2002) protección ambiental –Incineración de residuos, especificadores de operación y límites, establece que sus disposiciones aplican a los incineradores de todo tipo de residuos, están sujetos al cumplimiento y de obligaciones que se derivan del Convenio de Estocolmo.

Los países que emplean esta tecnología son: Japón Suecia, Suiza, Alemania, Francia y Estados Unidos de América. También hay plantas incineradoras en Italia, España, Canadá y Gran Bretaña. En el caso de América Latina, la incineración se ha orientado principalmente al control de los residuos infecciosos.

En Suecia, Dinamarca y Japón se incineran aproximadamente el 60% de los residuos sólidos municipales y sólo en los dos primeros países recuperan el 100% de energía generada durante el proceso; en Japón en muchas plantas aprovechan el calor generado por la combustión de los residuos sólidos. A excepción de Holanda, Francia e Italia, donde se utiliza alrededor del 50% de la energía liberada, en los otros países con incineradores es muy bajo o nulo el aprovechamiento del calor generado.

- a) Se cuenta con este tipo de tratamiento para los residuos biológicos infecciosos.
- b) No se cuenta con la información
- c) Del total de la basura generada

Tendencia internacional Para el Tratamiento de Residuos Sólidos (%)				
País	Relleno sanitario	Incineración	Compostaje	Reciclaje
E.U.A.	73	14	1	12
Japón	27	25	2	46
Alemania	52	30	3	15
Francia	48	40	10	2
Suecia	40	52	5	3
México (c)	65	(a)	(b)	10

Fig. 6.6 "Tendencia internacional para el tratamiento de residuos sólidos"

Fuente: SEDESOL

Ventajas y desventajas

Este sistema de procesamiento de los residuos presenta una serie de ventajas frente a otras técnicas de tratamiento como son:

1. - Posibilidad de recuperación de energía.
2. - Posibilidad de tratamiento de numerosos tipos de residuos.
3. - Posibilidad de implantarlo cerca de núcleos urbanos.
4. - Es necesaria poca superficie de terreno.
5. - Reduce el volumen de residuos un 80% - 85%.

También presenta una serie de desventajas y son:

1. - No elimina totalmente los residuos, por lo que se necesita un vertedero especial para el depósito de cenizas procedentes de la incineración, parte de las cuales son muy tóxicas.
2. - Se generan gases tóxicos (por ejemplo las dioxinas pueden tener un efecto cancerígeno) que deben ser tratados.
3. - Necesitan un aporte de energía exterior para su funcionamiento.
4. - Baja flexibilidad para adaptarse a variaciones estacionales de la generación de residuos.
5. - La inversión económica y los costos del tratamiento son elevados.(250 millones de euros para una planta de tratamiento de unas 450.000 ton/año²)

6. - Posibilidad de averías, por lo que se necesita un sistema alternativo de tratamiento.
7. - Anula la puesta en marcha de políticas encaminadas a la reducción y reutilización de residuos, por la necesidad de rentabilizar la inversión hecha.

La incineración de residuos está prevista como una opción para el tratamiento de los diferentes tipos de residuos tanto en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LPGIR), como en el Convenio de Estocolmo. En ambos casos dicho tratamiento térmico está sujeto a restricciones tendientes a prevenir o reducir la liberación al ambiente de contaminantes, particularmente de los contaminantes orgánicos persistentes (COP), al identificarse que este tipo de tratamientos constituyen fuentes potenciales importantes de estos últimos. Así mismo, tanto en la Ley como en el Convenio y en las guías elaboradas en su contexto para lograr el objetivo antes citado, se indica que antes de optar por la incineración de los residuos se deben considerar otras alternativas para su minimización, valorización y/o tratamiento ambientalmente adecuado en el cual no se emitan COP.

En las siguiente grafica se observa que el número de plantas en la unión Europea ha sido variable del 2001 al 2006, observado un mayor número de plantas de incineración en el 2004 y en el 2006.

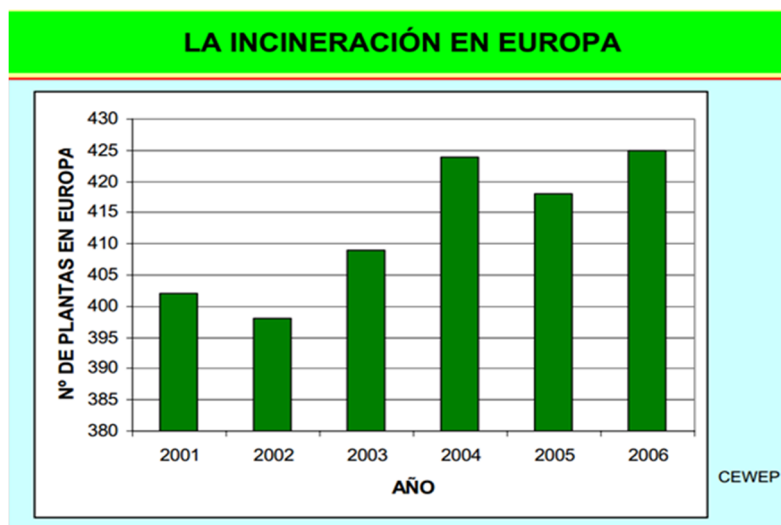


Fig. 6.7 "Plantas incineradoras en Europa durante el 2001-2006"

Fuente: Sistemas de Incineraciones en Europa, Departamento de Ingeniería Química y el Medio ambiente; Universidad Oviedo España.

En Europa en el año 2006; Francia conto con el mayor número de plantas incineradoras rebasando más de 100, seguido de Alemania, seguido por Suecia, Italia, Suiza, Inglaterra, Noruega, Polonia, Hungría pero con menor cantidad de plantas respectivamente. Algunos países que no cuenta con este tipo de tecnología en Europa son Irlanda, Grecia, Rumania, entre otros.

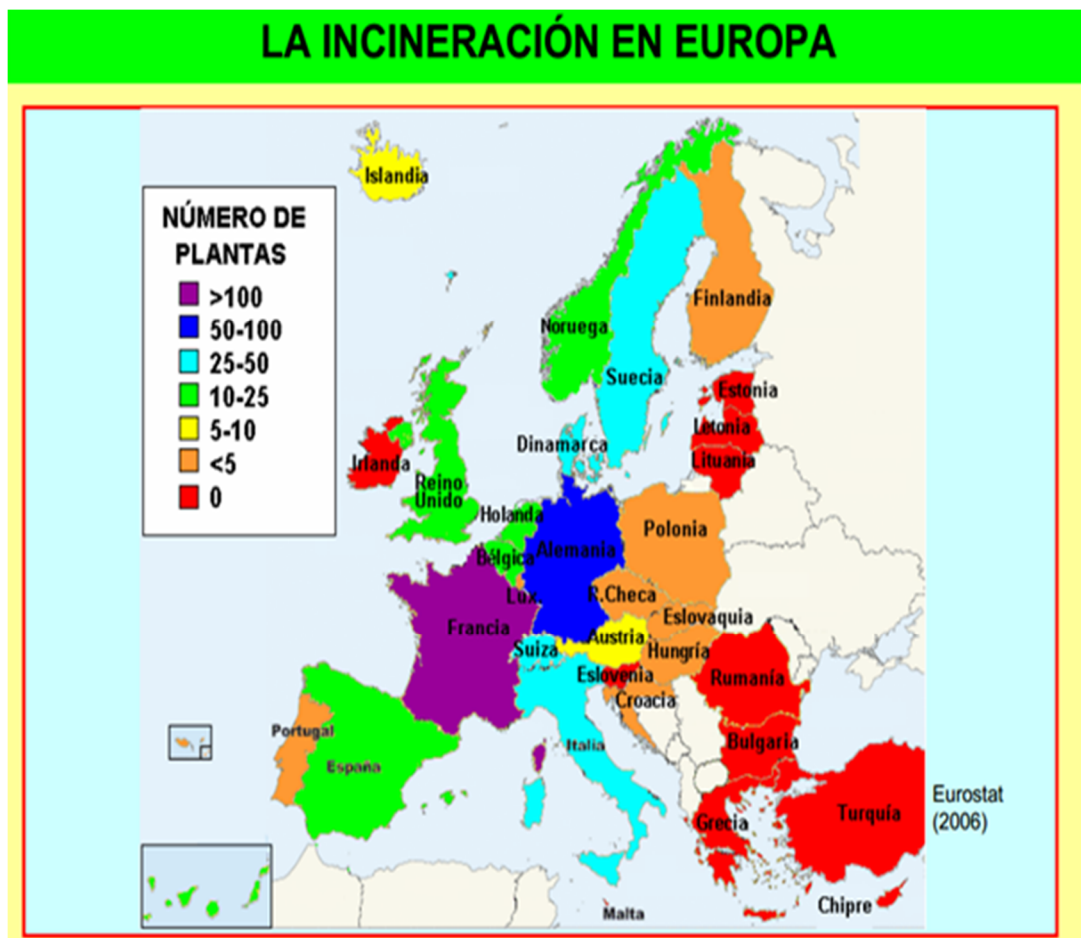


Fig. 6.8 “Distribución geográfica de Plantas incineradoras en Europa durante el 2001-2006”

Fuente: Sistemas de Incineraciones en Europa, Departamento de Ingeniería Química y el Medio ambiente; Universidad Oviedo España.

CAPÍTULO VII

PIRÓLISIS

La pirolisis es un proceso fisicoquímico complejo que desde hace algunos años se ha investigado en los países desarrollados, particularmente en los Estados Unidos de América como una alternativa para reciclar indirectamente los residuos sólidos urbanos.

La pirólisis se define como un proceso fisicoquímico mediante el cual el material orgánico de los residuos sólidos se descompone por la acción del calor (el rango de temperatura empleada oscila entre 150 y 900 °C), en una atmósfera deficiente de oxígeno y se transforma en una mezcla líquida de hidrocarburos, gases combustibles, residuos secos de carbón y agua.

De manera más sencilla podemos definirla como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. La pirolisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión.

Se puede considerar que la pirolisis comienza en torno a los 250 °C, llegando a ser prácticamente completa en torno a los 500°C, aunque esto está en función del tiempo de residencia del residuo en el reactor

TEMPERATURA (RANGO °C)	REACCIÓN QUÍMICA
100-120	Deshidratación
250	Desoxigenación y desulfuración, disociación molecular de agua y dióxido de carbono, comienza la liberación de sulfuro de hidrogeno
340	Ruptura de enlaces en compuestos alifáticos. comienza la liberación de metano y otros compuestos alifáticos Ligeros
380	Fase de carbonización concentración de carbono en los residuos
400	Ruptura de enlaces C -O y C -N
400-600	Descomposición de los materiales bituminosos generación de aceites Y alquitranes
600	Cracking de los materiales bituminosos, generación de hidrocarburos gaseosos de cadena corta e hidrocarburos aromáticos (derivados del benceno)

>600	Dimerización de las olefinas (etileno) a alfa-butileno; reacción de etileno a ciclo hexano ;generación de compuestos aromáticos volátiles.
------	--

Fig. 7.1 PIROLISIS: Reacciones químicas de acuerdo a la temperatura alcanzada.

Fuente: Análisis técnico-económico de la tecnología de gasificación por plasma aplicada a la gestión de residuos sólidos urbanos de Marín Bernal Javier.

Estos procesos buscan la eficiencia energética mediante la generación de compuestos químicos secundarios y calor.

La pirólisis tiene como objetivo la disposición sanitaria y ecológica de los residuos sólidos, disminuyendo su volumen al ser transformados en materiales sólidos, líquidos y gaseosos con potencial de uso como energéticos.

<i>Subproductos obtenidos durante el proceso de pirólisis</i>			
FRACCIÓN	COMPONENTE	FRACCIÓN	COMPONENTE
Líquida	Metanol Fenol Acetona Acetaldehído Ácido Fórmico Metilfurfural Etanol Aceites ligeros Otros	Gaseoso	Hidrógeno Nitrógeno Metano Etano Hidrocarburos Amoniaco Oxígeno Monóxido de carbono Otros
Sólido	Carbón Sales Metales Cenizas		

Fig. 7.2 “Subproductos obtenidos durante el proceso de pirólisis”

Fuente: SEDESOL.

Los productos primarios formados son los siguientes (en diferentes proporciones según el proceso empleado):

- Gases: Compuestos principalmente de CO, CO₂, CH₄, C₂H₆ y pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros.
- Líquidos: Compuesto por una gran mezcla de distintos productos como pueden ser: cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos, y otras fracciones más pesadas.
- Sólidos: El producto sólido de la pirólisis es un residuo carbonoso (char) que puede ser utilizado como combustible o para la producción de carbón activo.

Existen diferentes tipos de Pirólisis en función de las condiciones físicas en las que se realice. Así como factores como la rapidez de calentamiento, el tiempo de residencia y la presión, tienen una influencia muy grande en la distribución de productos que se obtienen.

PIRÓLISIS CONVENCIONAL		PIRÓLISIS A ALTAS TEMPERATURAS
Producción de gas combustible	Sistema Landgard	Sistema de Torrax
	Sistema Austin	
Producción de líquido combustible	Sistema de la Compañía de Desarrollo e Investigación de Garret, EUA	Sistema de la Corporación de Investigación y Desarrollo Urbano, EUA

Fig. 7.3 "Tipos de pirólisis"

Fuente: SEDESOL.

Los tipos de procesos de pirólisis:

- Procesos de baja temperatura (<550°C)
- Producción de aceites y alquitranes.
- Procesos a temperaturas media (550 – 800 °C)
- Producción de metano e hidrocarburos superiores
- Producción de alta temperatura (>800 °C)
- Producción de gas a bajo poder calorífico

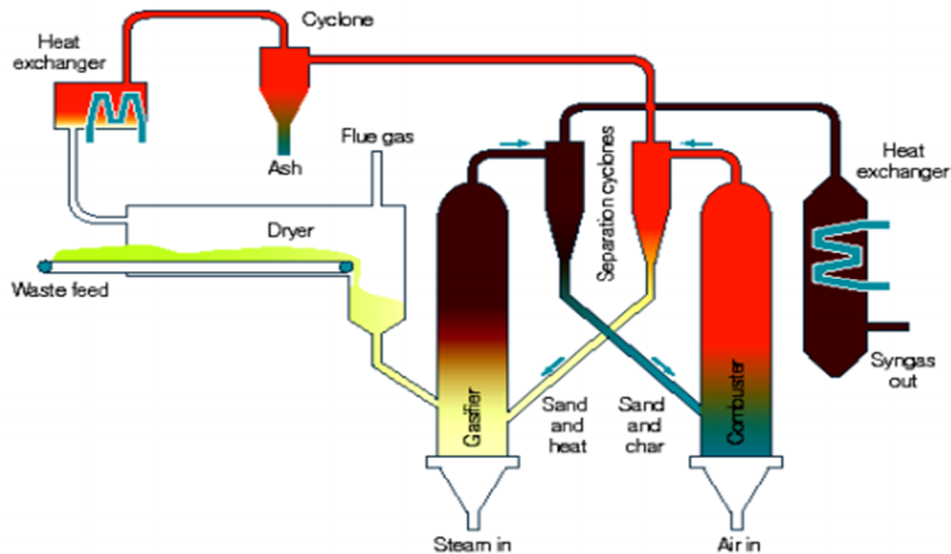


Fig. 7.4 "Proceso de pirólisis + combustión del char"

Fuente: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jaimefa/jaimecuevas/clase8.pdf

La complicación de los procesos de pirólisis está originada por la necesidad de producir un calentamiento indirecto y por la condensación de alquitranes.

Los parámetros que influyen en la composición y rendimiento de los productos químicos resultantes de un proceso de pirólisis son muy diversos. Entre ellos destacan:

- a) La composición de la materia a pirolizar
- b) La temperatura
- c) La humedad
- d) La rapidez de calentamiento
- e) El tiempo de residencia
- f) El tamaño de partícula
- g) La cantidad de muestra

La aplicación de la pirólisis para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos se originó en los Estados Unidos de América donde ha sido estudiado a nivel laboratorio y evalúa en escala piloto y además en este país existen plantas de pirólisis pequeñas que dan tratamiento a residuos tóxicos o peligrosos, generalmente industriales.

Ventajas

- Es una de las tecnologías que permite transformar a muchos procesos industriales lineales en cíclicos.
- No genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre, los que se producen en la incineración, sino que generan formas residuales de sustancias como nitrógeno gaseoso y azufre sólido.
- Se maneja todo tipo de materiales con alto valor calorífico, inclusive mezclas de residuos domésticos e industriales peligrosos.
- Los residuos se pueden transformar en algunos casos, en materia prima del proceso.
- Los residuos se transforma en una fuente de energía que en una pequeña proporción mantiene el sistema y el resto se puede utilizar en otras tecnologías complementarias.
- Permite tratar los lodos de las plantas de tratamiento y suelos contaminados con hidrocarburos u otros compuestos orgánicos y así ser transformados en ladrillos útiles para el hombre.
- Los plásticos, aceites, disolventes orgánicos, compuestos orgánicos clorados, hidrocarburos materiales contaminados con estos productos, se convierten en hidrocarburos limpios ligeros limpios y carbón.

Desventajas

- Este proceso aparentemente no presenta ninguna desventaja técnica ya que se trata de un sistema cerrado, que por lo tanto no genera emisiones a la atmósfera y en el que básicamente todos los subproductos obtenidos pueden ser reutilizados, ya sea como combustibles o materias primas para diferentes procesos industriales. Sin embargo la inversión requerida para la instalación de una planta de pirólisis es alta, aunque este gasto pueden recuperarse por la utilización de los subproductos, particularmente como combustibles en la generación de vapor y /o electricidad.

La aplicación de la pirólisis en el tratamiento de los residuos urbanos es un proceso relativamente nuevo que tiene que tiene grandes ventajas con relación a otros: no producen contaminantes y puede ser un proceso económico redituable.

Ikerlan tiene en su centro tecnológico del País Vasco, una planta piloto de 20 kg/h donde experimentan con diferentes materias primas evaluando la mejor valorización de los

diferentes productos que se obtienen. Trabajan con una tecnología llamada "lecho surtidor", desarrollada en la Universidad del País Vasco La Universidad de Zaragoza, la Universidad Politécnica y Cartif también están trabajando con pirólisis rápida en España

Los residuos de biomasa (forestales, agrícolas, ganaderos y residuos sólidos urbanos.) pueden valorizarse, reduciendo su acumulación en vertederos y proporcionando una materia prima para la generación de combustibles y/o productos químicos. Ello es posible gracias a la tecnología de pirólisis rápida que está emergiendo en el mercado como posible vía para la producción de biocombustibles a partir de biomasa. Los productos básicos que se obtienen en este proceso son bioaceite y biochar, que pueden ser a su vez materia prima de futuras biorrefinerías o bien emplearse directamente como combustibles y fuente de productos químicos de alto valor agregado. Se está empleado lo que llaman la tecnología de la pirólisis rápida: La pirólisis consiste en la descomposición o craqueo térmico de la materia orgánica en ausencia de oxígeno a unos 450-500°C. Las condiciones para que sea rápida es que el calentamiento y la evacuación de los productos generados en el reactor sean en menos de 2 s, produciéndose principalmente vapores que a temperatura ambiente tienen forma líquida. En condiciones de proceso adecuadas el rendimiento puede ser de hasta 70-75% en masa para el aceite de pirólisis, también llamado bioaceite.

El resto consiste en la matriz sólida de la biomasa llamada biochar (15%) y en gases no condensables de poder calorífico medio/bajo (15%). Estos últimos se suelen utilizar para aportar el calor necesario para la reacción.

Las materias primas a tratar son diversas: residuos forestales, agrícolas, ganaderos o incluso residuos urbanos y lodos de depuradora. Las temperaturas relativamente bajas (450-500°C) del proceso implican que la mayoría de metales o cenizas queden retenidos en la estructura sólida, es decir, en el biochar. De esta forma el bioaceite es un líquido casi libre de metales y, además, si se añadiese el biochar a la tierra como enmienda agrícola se cerraría el ciclo de vida de dichos minerales.

En la industria de la bioenergía, la biomasa es una fuente muy dispersa, lo que limita su uso a gran escala. La pirolisis permite densificar la energía contenida en la biomasa, obteniendo un líquido que resuelve problemas logísticos haciendo el transporte, almacenamiento y manejo menos costoso. El bioaceite es una mezcla de hidrocarburos oxigenados, con un valor energético inferior a los combustibles comunes de origen fósil. Sin embargo, se ha ensayado satisfactoriamente en calderas, en motores diésel de baja/media velocidad y en motores Stirling.

Además, su potencial como fuente de productos químicos de alto valor agregado (saborizantes, fertilizantes de liberación lenta y resinas) puede incrementar la rentabilidad económica del proceso.

La pirólisis ha sido desarrollada y utilizada principalmente en los países desarrollados de Europa y América. El tratamiento de los desechos sólidos urbanos se ha usado en escala comercial, aún se encuentra en etapa de desarrollo tecnológico.

Por lo anterior, se considera que en nuestro país no es todavía factible la aplicación de este proceso para el tratamiento de los desechos sólidos municipales, aunque en un futuro es una tecnología de gran potencial para el manejo "limpio" no contaminante redituable de los residuos sólidos municipales.

Organización	País	Tecnología	kg/h	Estatus
Castle Capitala	Canadá	Tubo de ablación	2000	cerrada
Dynamotive	Canadá	Lecho fluidizado	1500	diseño
Interchem	USA	Vórtice de ablación	1360	Abandonada en 1994
Red Arrow/Ensyn	USA	Lecho circulante	1250	operacional
Red Arrow/Ensyn	USA	Lecho circulante	1000	operacional
ENEL/Ensyn	Italia	Lecho circulante	625	operacional
Alten	Italia	Lecho fluidizado agitado	500	Abandonada en 1992
BTG/Kara	Países bajos	Cono rotatorio	200	diseño
Union Fenosa/Waterloo	España	Lecho fluidizado	200	operacional
Egemin	Bélgica	Lecho arrastrado	200	Abandonada en 1992
Red Arrow/Ensyn	Canadá	Lecho transportado	125	operacional
Ensyn	Canadá	Lecho circulante	100	operacional
Pasquali/ENEL	Italia	Lecho circulante	50	cerrada
GTRI	USA	Lecho arrastrado	50	Abandonada en 1990
BBC	Canadá	Tubo de ablación	50	cerrada
Bio-Alternativeb	Suiza	Lecho fijo	50	Abandonada en 1993
BTG	Países Bajos	Cono rotatorio	50	operacional
University of Hamburg	Alemania	Lecho fluidizado	50	operacional
University of Laval	Canadá	Lecho móvil al vacío	50	operacional
University of Shenyang	China	Cono rotatorio	50	cerrada
WWTCb	Canadá	Rotatorio	42	operacional
Ensyn	Canadá	Lecho circulante	40	operacional

Fig. 7.5 "Plantas de pirólisis a nivel mundial (1998)"

Fuente: La pirólisis tratamiento y valorización energético de residuos , Javier Castells, Enric Velo García , ediciones García Santos.

CAPÍTULO VIII

GASIFICACIÓN

La gasificación de los residuos es una tecnología de proceso diseñada para obtener un gas de síntesis, es decir un producto que puede ser empleado para producir combustibles, productos químicos o energía. Puede definirse como optimizado porque una sustancia sólida o líquida con alto contenido de carbono es transformada en una mezcla de combustible mediante una oxidación parcial con la aplicación de calor.

A diferencia de la incineración, la gasificación se realiza mediante la reducción o transformación de residuos sólidos en ausencia de oxígeno y la temperatura más alta, evitando las emisiones de dióxido de carbono

En el caso de la gasificación de biomasa si se emplea aire como agente gasificante, se obtiene un gas de bajo poder calorífico aprovechable con fines energéticos. Empleando oxígeno se obtiene un gas de menor poder calorífico pero de mayor calidad que se puede emplear como combustible en la síntesis de metanol, mientras que aplicamos vapor de agua se obtienen un gas rico en hidrógeno y monóxido de carbono apto para la síntesis de gasolinas, metanol y otros productos. Por último, en el caso de emplear hidrógeno, se obtiene un gas con alto porcentaje de metano que puede llegar a sustituir al gas natural.

La gasificación no es una tecnología desarrollada recientemente, sino que ha sido un recurso habitual en periodos de carencia o escasez de combustibles ligeros, ya que permite convertir sólidos (carbón, biomasa) en gases que pueden ser empleados en motores de combustión interna, calderas y turbinas. Por otro lado, la gasificación como concepto de proceso puede aplicarse para sintetizar combustibles líquidos de alta calidad (proceso Fischer-Tropsch).

El rendimiento del proceso de gasificación varía dependiendo de la tecnología, el combustible y agente gasificante que, en el rango de 70 – 80%. El resto de la energía introducida en el combustible se convierte en reacciones endotérmicas, en las pérdidas de calor de los reactores, en el enfriamiento del gas, necesario para su secado, filtración y en el lavado.

Gasificación de residuos orgánicos,

a) Gas de síntesis; b) Fertilizantes; c) Oxigenantes

Tecnología ampliamente probada y en uso, en plantas procesadoras de múltiples materias primas, básicamente residuos orgánicos de bajo valor comercial o con alto contenido de contaminantes. (Lubricantes gastados, desechos médicos y residuos de mercados).

El proceso de gasificación, se lleva a cabo a presiones de 10 a 20 atmósferas y temperaturas mayores de 1100 °C, produciéndose gas de síntesis, que ya purificado, es rico en hidrógeno, ideal para las siguientes aplicaciones:

- a) Purificación de aceites minerales y vegetales,
- b) Energético limpio (combustión casi libre de bióxido de carbono)
- c) En reacción con nitrógeno, se obtiene amoníaco y éste, con bióxido de carbono, permite producir urea.
- d) En reacciones catalíticas, es útil en la producción de oxigenantes, como: Metanol (también base de petroquímicos múltiples) y Etanol, en sustitución del producido vía productos agrícolas.

El proceso de la gasificación ocurre por una serie de etapas o procesos que a su vez involucran diversas reacciones químicas cuya importancia depende de las condiciones de operación y del agente gasificante utilizado.

Los principales subprocesos que pueden identificarse son:

- a) Secado
- b) La pirólisis
- c) La oxidación
- d) La reducción

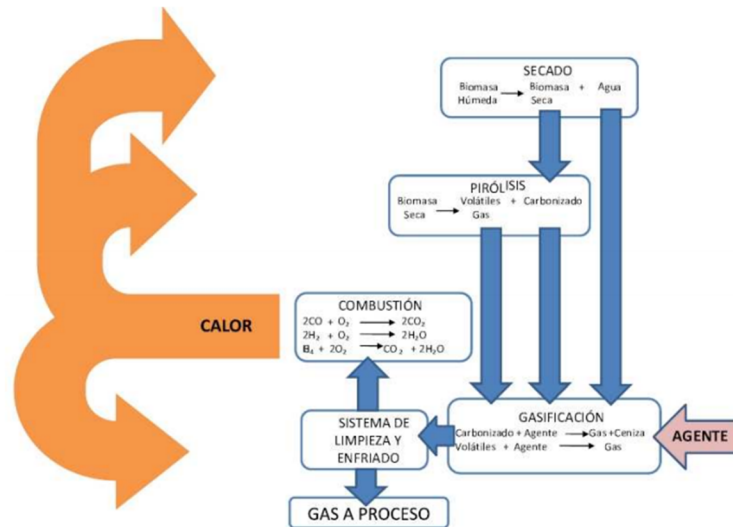


Fig. 8.1 "Esquema de funcionamiento del proceso"

Fuente: Análisis técnico-económico de la tecnología de gasificación por plasma aplicada a la gestión de residuos sólidos urbanos de Marín Bernal Javier.

Existen una serie de factores que influyen en el proceso de gasificación, pudiendo distinguirse entre los que se refieren al modo de operación, al sólido gasificado, y los que son inherentes al diseño del gasificador y de equipos auxiliares.

Factores de operación

- Temperatura
- Presión
- Relación agente gasificante /residuo

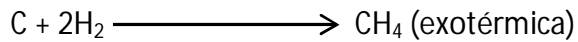
Factores dependientes del residuo gasificado

- Análisis elemental
- Análisis inmediato
- Poder calorífico
- Tamaño y características de partícula
- Humedad

La gasificación consiste en la conversión del residuo en un gas combustible y reductor por medio de la adición de gases reactivos generalmente, vapor de agua, oxígeno o aire. Es la continuación del proceso de pirólisis a temperaturas por encima de los 600°C

transformando el residuo carbonoso en productos gaseosos, en condiciones subestequiométricas de oxígeno.

Las reacciones principales del proceso de gasificación son:



(con aire: gas producto o gas de síntesis)

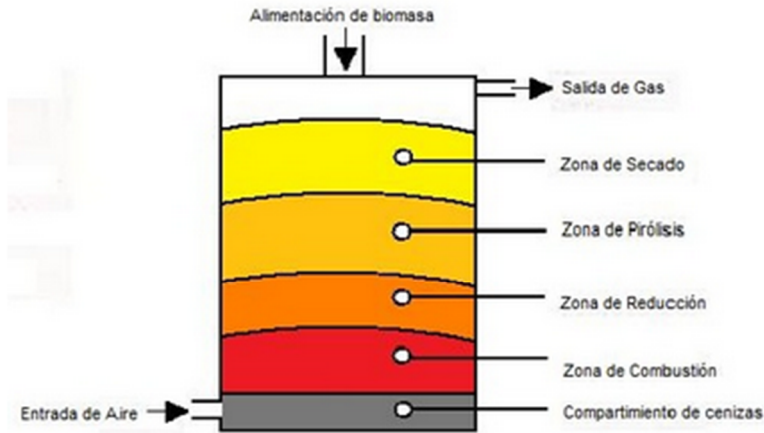
Principales de tipos de gasificadores

Existen muy variadas configuraciones de reactores para llevar a cabo procesos de gasificación, dado, que aunque existen unos modelos básicos, la imaginación de los diseñadores ha llevado a nuevos modelos, y asociaciones, buscando siempre la mejora de la calidad del gas.

Los diversos tipos de gasificadores son:

1. El gasificador de contra corriente de cama fija (“updraft”)

Consiste en una cama fija de combustible rico en carbono (biomasa o carbón) a través del cual el “agente gasificante” (como el vapor o aire) fluye en una configuración contraria al flujo del combustible. La ceniza es removida como polvo o como escoria, por la parte inferior del gasificador. En la zona superior se produce el secado que es un proceso endotérmico con consumo de unas 600 Kcal/Kg de agua evaporada. La segunda zona en sentido descendente define la eliminación de agua de constitución, etapa de naturaleza exotérmica que elevaría por sí sola la temperatura del sólido a 450 °C. Más abajo se considera que se entra en la zona de gasificación que consiste en dos franjas en las que en la parte superior de la zona de gasificación a 600 °C, se produce la reducción de gases como CO₂, H₂O para formar CO y H₂, consumiendo energía térmica y enfriando los gases ascendentes.

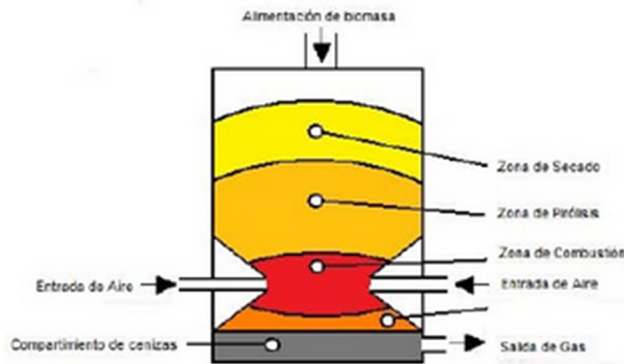


Diferentes zonas de reacción para un gasificador de tipo updraft

Fig. 8.2 "Zonas de reaccion para un gasificador tipo updraft"

2. El gasificador de corriente paralela de cama fija ("downdraft")

Su principio de funcionamiento es similar al de contra corriente, pero el agente desgasificación fluye en la misma dirección al combustible. La combustión debe ser iniciada en la parte superior de la cama fija, quemando una pequeña porción del combustible, o a través de una fuente externa. El gas producido sale por la parte inferior del gasificador a alta temperatura, y la mayoría de este calor es transferida a la corriente de aire que entra desde la parte superior del gasificador, resultando en una eficiencia energética similar al tipo "updraft". La gran diferencia conceptual entre un gasificador en corriente directa y el de contracorriente está en que en corriente directa los gases liberados en las etapas de pirólisis y zona reductora de la etapa de gasificación, han de pasar necesariamente por la zona de alta temperatura de la zona de oxidación en la etapa final de la gasificación lo que impone una serie de condiciones como que los alquitranes tienden a desaparecer al pasar por el frente de gasificación y la mayoría de ella es quemada por lo que sus niveles son mucho menores que los del tipo "updraft". En el producto final, el agua liberada sale del sistema sin oportunidad de reaccionar (zona de secado) alcanza los más altos niveles de conversión.

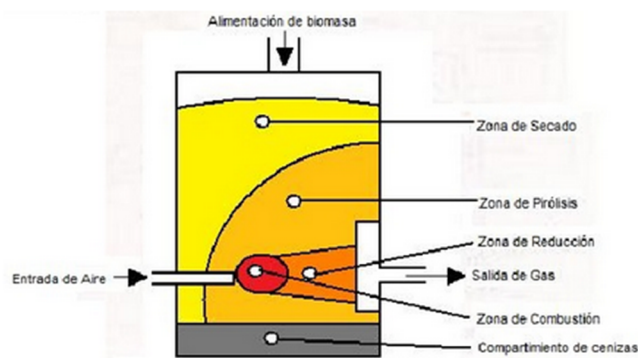


Diferentes zonas de reacción para un gasificador tipo downdraft

Fig. 8.3. "Zonas de reacción para un gasificador tipo downdraft"

3. El gasificador de tiro cruzado de cama fija ("crossdraft")

El principio de funcionamiento de este tipo de gasificador es similar al "downdraft", con la diferencia fundamental que los flujos de combustible y agente oxidante, entran al reactor en dirección perpendicular entre si, juntándose en la zona de combustión, reaccionando y debido al tiro producido por la diferencia de presiones entre la entrada y salida del reactor, sale por el lado opuesto al que entra el agente oxidante.



Diferentes zonas de gasificación para un gasificador tipo crossdraft

Fig. 8.4 "Zonas de reacción para un gasificador tipo crossdraft"

Ventajas

- Reducción sustancial del volumen de residuos sólidos (90%).
- Elimina producción de lixiviados.
- Mínimo reprocesamiento de residuos sólidos.
- Puede producir electricidad, vapor o hidrocarburos líquidos.
- Facilita control de emisiones.

Desventajas

Altos costos de capital, operación y mantenimiento

- Requiere operarios calificados.
- Requiere equipos de control de emisiones.
- Mayor consumo de materias primas por no reciclaje.
- Relativamente poca aceptación pública.

El Proceso de Gasificación se ha puesto a prueba en Europa y los EUA. La Tecnología de gasificación cumple y excede las necesidades de los nuevos reglamentos de la Environment Protection Agency (EPA) en los Estados Unidos y los nuevos reglamentos de la Comisión de la Unión Europea en Medio Ambiente. Cumple también con todas las normas de emisiones atmosféricas que regula el Protocolo de Kyoto.

A diferencia de la Incineración, la Gasificación realiza la reducción o transformación de RSU en ausencia de oxígeno y a temperaturas más altas, evitando las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

La Incineración es un proceso de combustión en presencia de oxígeno, generando gases tóxicos cuales deben ser capturados por filtros especiales con gran costo de mantenimiento y sin garantía de no exceder los límites de emanación.

Como ya se mencionó la planta de gasificación puede utilizar como fuente de combustible: residuos sólidos urbanos, residuos bioquímicos, desechos médicos, traviesas de ferrocarril usadas, desechos biomédicos, PCB's, aguas negras, lodos de depuración, alfombras viejas, hulla inutilizable, subproductos industriales, residuos petroleros, residuos de la construcción y material de demostración, compuestos de telas, madera tratada a presión, los neumáticos de todo tipo, los excedentes agrícolas o de evacuación (incluidos los del cerdo, pollo, Granjas y otros). Realmente todo lo que un ser humano puede hacer o producir, excepto hormigón, vidrio, metales y residuos nucleares.

La gasificación fue, en realidad, uno de los primeros procesos termoquímicos utilizados a nivel industrial. Apareció a finales del siglo XIX, y se desarrolló durante la industrialización europea, principalmente para la producción de aceite y gas a partir del carbón. Tras la Segunda Guerra Mundial, sin embargo, el uso de la gasificación se redujo ante las posibilidades ofrecidas por el petróleo.

Entre 1970 y 1980, se comenzó a utilizar la gasificación para la producción de combustibles sintéticos, una aplicación que se sigue utilizando hoy en día. Fue en los años 80 cuando esta tecnología comenzó a desarrollarse para ser aplicada al tratamiento de residuos, en Estados Unidos, Europa y Japón. Actualmente, existen más de 150 gasificadoras industriales en el mundo, utilizadas principalmente para el procesamiento de biomasa y carbón.

La utilización de la gasificación para el procesamiento de residuos ha sido más aplicada en Japón, país pionero en esta tecnología. Esto se debe a la obligación de buscar métodos alternativos a los vertederos por falta de espacio. En Europa, existen algunas plantas operando, todas ellas a escalas menores de 130 toneladas al día.

El número de proyectos de plantas de tratamiento de residuos aumenta cada año, superando al número de plantas en funcionamiento. Como ya se ha mencionado, es una tecnología relativamente joven, y por lo tanto se enfrenta a las dificultades de falta de confianza y costos altos debido a la falta de estandarización. Sin embargo, el éxito de las plantas existentes y del número de proyectos a realizar demuestra que esta tecnología

representa el futuro de la gestión de residuos, siendo la respuesta necesaria a la problemática actual.

Nombre de la tecnología	ENERGOS CENERGOS 2010	The Alstom power Twin Rec System (EBARA) 2007	PLASCO ENERGY GRUPO (plasco Energy Group) 205	Nippon Steal	Interstate Waste Thechonologies	Schwarze	Sumitomo	Lampoboing oy de Foster Wheeler	Global Energy Wabas River
Nombre de la planta	Isle of Wringth plant	Kawaguchi City Asahi Environ metal Center	Planta piloto					Planta Demostración	
Ubicación	Inglaterra	Japón, Kawaguchi	Ottawa Canada	Japón	Japón	Alemania	Japón	Finlandia	Indiana , EUA
Periodo de Operación	2009	2002	Demostración					1998	2001
Capacidad instalada t/d	83	420	86	440	300 en dos líneas cada una	840	20 t/d		
Equipos principales	Caldera de vapor	Turbina de vapor	Motor de combustión	Sistema de fusión directa	Gasificación y fusión de cenizas				

Fig. 8.5 “Zonas de reaccion para un gasificador tipo crossdraft”

Fuente: Elaboración propia a partir de información disponible

CAPÍTULO IX

GASIFICACIÓN POR PLASMA

La contaminación atmosférica derivada de la combustión no controlada de los RS en estos tiraderos y del uso de incineradores sin sistemas de control de la contaminación, representa un serio riesgo para la salud por la presencia de plásticos y otros productos químicos de peligrosidad significativa.

Los métodos actuales de tratamiento de residuos incluyen rellenos sanitarios, compostaje, digestión anaerobia, incineración, pirólisis y gasificación. Para la recuperación del poder calorífico de los residuos se han empleado principalmente los tratamientos térmicos, tal como la combustión, gasificación y pirolisis.

Se trata de una tecnología relativamente nueva, que tiene una vida de unos 20 años en las empresas pioneras del sector. Los principales objetivos que se persiguen con esta nueva tecnología son:

- Ahorro de energía primaria.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La aplicación del plasma surge como alternativa de los procesos de incineración y pirólisis existentes, los cuales, pese a ser sistemas probados con buena eficacia en la recuperación de energía a través del reciclaje de residuos, se enfrentan a dos problemas particularmente importantes:

- No son tratamientos de reducción completa de los materiales tratados, requieren además infraestructuras auxiliares de vertido, en mayor o menor grado, de los subproductos no reutilizables, que pueden ser clasificados como residuos peligrosos.
- Presencia de contaminantes de difícil reducción en los productos finales. Algunas de las características anteriores, particularmente la presencia de productos de composición compleja en las emisiones, produce un fuerte rechazo social de estos procesos (incineración).

La tecnología del plasma, aplicada al tratamiento térmico de los residuos, permite superar los aspectos negativos anteriores dadas las reacciones químicas que provoca y el elevado nivel termodinámico al que se realiza la aportación térmica.

La principal ventaja de esta nueva tecnología consiste en la total eliminación de los elementos organoclorados (dioxinas y furanos), tan peligrosos para la salud humana, debido a que pueden desarrollar procesos cancerígenos y la reducción de CO₂, principal causante del efecto invernadero.

Existe la percepción en algunos círculos de que la gasificación por plasma es esencialmente la incineración, ya que tanto en la incineración y la gasificación por plasma, los desechos se reducen a volúmenes mucho más pequeños. Sin embargo la incineración se centra en la reducción de los residuos a cenizas y la gasificación por plasma implica la conversión de los residuos en gas de síntesis y un silicato vitrificado inerte con recuperación de energía y metales valiosos sin la producción de gases tóxico o sustancias cancerígenas, así como la reducción importante de CO₂, principal causante del efecto invernadero.

GASIFICACIÓN POR PLASMA	INCINERACIÓN
Ocurre en la ausencia o casi ausencia de oxígeno, no hay combustión.	El exceso de aire es inducido a garantizar una combustión completa.
Los gases resultantes de la degradación de los compuestos orgánicos se recogen y se utilizan para la producción de diversas formas de energía y/o productos químicos industriales.	Toda la energía disponible se convierte en calor.
Los productos de degradación son en gran parte convertidos a inertes (no peligrosos) silicato vitrificado de un volumen de 6% al 15% del volumen de sólidos original.	Resultados de combustión en cenizas (hasta un 30% del volumen de los sólidos originales) que a menudo deben ser tratados como residuos peligrosos.
Emisiones sustancialmente menores que las resultantes de la incineración.	Emisiones mucho más contaminantes de gases de efecto invernadero y otros que con los sistemas de gasificación

Fig. 9.1 "Gasificación por plasma Vs Incineración"

Fuente: URBASER

El plasma es la forma más abundante de materia en el universo. Se forma siempre que materia ordinaria es calentada a más de 5,000° C, lo cual resulta en gases o fluidos cargados eléctricamente que responden a fuerzas electromagnéticas.

La tecnología de plasma se ha expuesto como una tecnología limpia, con potencial para generar energía eléctrica y otros productos derivados tales como baldosas arquitectónicas, ladrillos para construcción, lo cual la hace económicamente rentable. La antorcha de plasma opera a muy altas temperaturas entre 5,000 y 17,000 °C y puede procesar toda clase de residuos a presión atmosférica: sólidos municipales, tóxicos, médicos, biológico-infecciosos, industriales y desperdicios nucleares. No produce cenizas porque a más de 5,000 °C, todas las moléculas orgánicas son desintegradas y sólo la mezcla de H₂ + CO permanece a altas temperaturas.

Algunos de los beneficios de utilizar la tecnología de plasma son que los componentes inorgánicos en los residuos se derriten y vitrifican en un residuo sólido vidrioso, como roca, que es altamente resistente a la lixiviación y los materiales orgánicos (plástico, papel, Aceites y biomateriales) son convertidos en gases de síntesis (Syngas) con valor calorífico. El gas y los subproductos sólidos son potencialmente reciclables como gases combustibles útiles y grava para caminos y los requisitos para la construcción de rellenos sanitarios se eliminan. En la Fig. 9.2 se presenta un diagrama de flujo y energía para el sistema Fundidor Mejorador de Plasma (Plasma Enhanced Melter, PEM), empleando Residuos Sólidos Municipales.

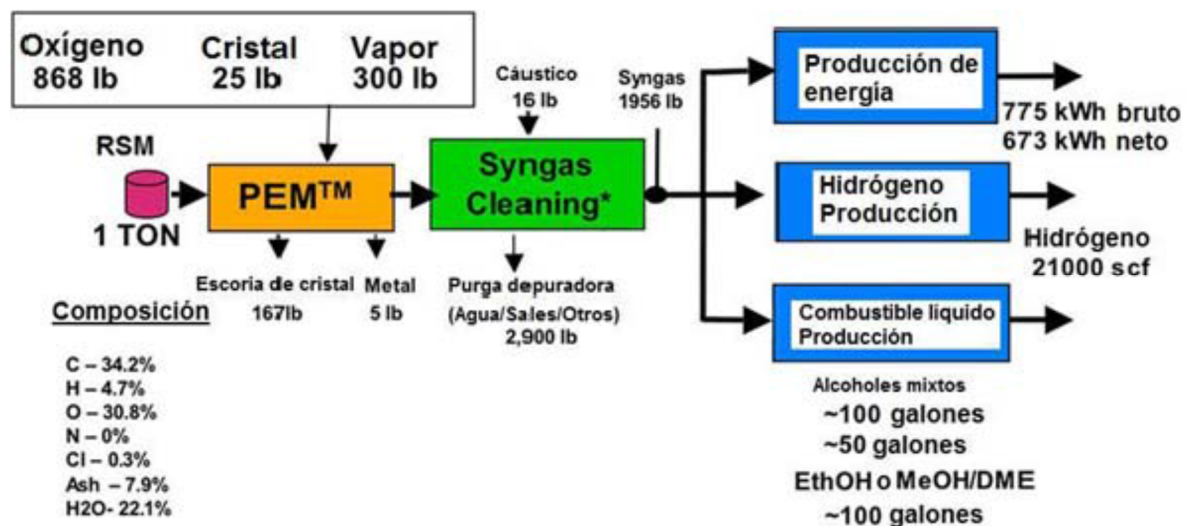


Fig. 9.2 "Diagrama de flujo y energía para el sistema PEM"

Fuente: Heberlein y Murphy (2007)

Proceso de la gasificación por plasma.

Una vez han sido separados, los materiales reciclables serán vendidos y el resto de los residuos serán preparados para la gasificación. En el caso de la materia orgánica se eliminará una parte de la humedad mediante un proceso de secado. A la hora de tratar el rechazo se eliminan metales ferromagnéticos con un separador magnético, aluminio con un separador inductivo, humedad mediante un proceso de secado y arenas e inertes con un separador de elementos pesados. Una vez realizados estos tratamientos, el residuo ya puede ser gasificado. La planta de gasificación procesará alrededor de 38.000 toneladas de residuos: 18.000 correspondientes a rechazo y 20.000 toneladas de materia orgánica. Las 32.000 toneladas restantes están formadas por los materiales reciclables y agua en su mayor parte. En esta planta, los productos se introducen en el reactor junto con carbón de coque, aire rico en oxígeno y cal. El aire rico en oxígeno actúa de agente gasificante y la cantidad añadida oscila en torno al 40% de la cantidad de residuos gasificados. El carbón de coque añade un poder calorífico extra al gas producido y la cal sirve para absorber el azufre formando sulfato cálcico, reduciendo la presencia de este elemento en la corriente gaseosa. La gasificación es un proceso termoquímico en el que se aporta la energía suficiente para romper los enlaces del combustible en presencia de un agente gasificante. Dentro del gasificador se encuentra la antorcha de plasma. Gracias a ella la temperatura de proceso puede alcanzar los 17.000 °C.



Fig. 9.3 "Sistema convertidor de plasma"

Fuente: <http://www.lanacion.com.ar/1197889-la-transformacion-de-la-basura-en-energia>

A diferencia de la pirolisis o de la combustión tradicional, la gasificación se realiza en atmósfera reductora, la cantidad de oxígeno presente es inferior a la estequiométrica. Esta atmósfera se regula con la cantidad de agente gasificante utilizado. Gracias a ella y a las altas temperaturas alcanzadas la generación de dioxinas, furanos y de contaminantes atmosféricos es menor.



Fig. 9.4 "Sistema convertidor de plasma"

Fuente: <http://www.lanacion.com.ar/1197889-la-transformacion-de-la-basura-en-energia>

El proceso de gasificación por plasma lo podemos resumir en el siguiente esquema de 7 pasos.



Fig. 9.5 "Proceso de 7 etapas"

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España.

La intensidad del plasma excita y rompe los enlaces moleculares, produciéndose la “disociación molecular”. Recicla residuos, convirtiéndolos en materias primas: un gas de síntesis, metales y silicato. Consigue importantes reducciones volumétricas de los residuos, del orden de 300 a 1. Sobrepasa en varios ordenes de magnitud los requerimientos ambientales y de seguridad actuales.

Una vez procesados los residuos se obtienen dos productos: el gas de síntesis, que será utilizado para la generación de energía eléctrica, y una lava vitrificada, que será vendido como material de construcción. Cuando el gas de síntesis ha salido del reactor es enfriado y sometido a un proceso de limpieza con el objetivo de eliminar las partículas y los gases ácidos. Una vez limpio, el gas se quema en una caldera para producir vapor. Este vapor se expandirá en una turbina de condensación/extracción de 5 MW para producir energía eléctrica.

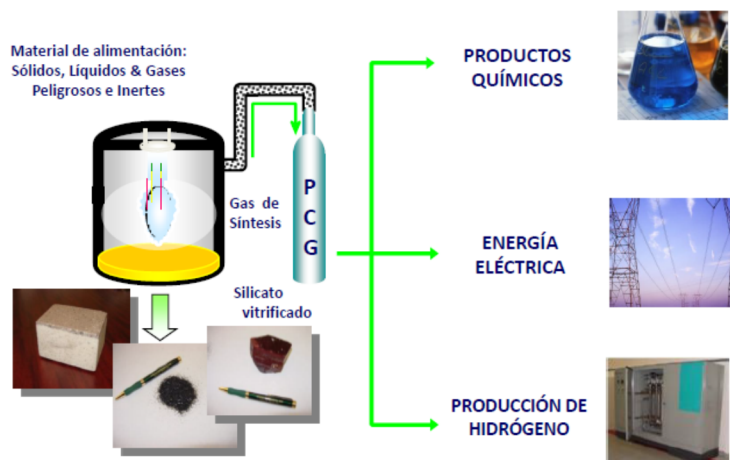


Fig. 9.6 “Valorización de los productos de gas de síntesis y silicatos”

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España.

Algunas tecnologías están en fase experimental y otras están en forma comercial pero sus costos son elevados. En México operó de forma experimental un incinerador de plasma en las instalaciones de SIMEPRODE, en Salinas Victoria, Monterrey, N.L., pero esta planta fue desmantelada en su totalidad. Lo divulgado al respecto ha sido limitado, pero Caballero y Rivas (2005) enunciaron que en esta planta se buscó determinar la reducción de volumen y peso en 5 familias de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, así como la caracterización de la conversión de residuos municipales en combustibles gaseosos y probar la generación de energía eléctrica con diferentes combinaciones de materiales de desecho. Leal expone que la eficiencia energética de la gasificación de biomasa con plasma varía del 75 al 80% y depende de la composición y la capacidad calorífica del material en bruto; la humedad y la materia inorgánica reducen la eficiencia. Actualmente

se tiene el proyecto en el estado de Veracruz de una planta de tratamiento de residuos sólidos mediante plasma. Las instalaciones del centro de tratamiento de residuos municipales e industriales, estarán ubicadas en los terrenos ubicados en el km 10.5 de la carretera federal 180 que une las ciudades de Coatzacoalcos y Villahermosa, frente al conjunto petroquímico de PEMEX, "La Cangrejera", en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz. Aproximadamente a 500 Km. al este de la Ciudad de México. Situada en la región costera de Veracruz, en un terreno de suave ondulación. Para su localización se busca no utilizar áreas naturales y por el contrario se enfatiza en emplear áreas que han sido utilizadas con propósitos industriales, con esto se pretende evitar que el proyecto sea el causante de la alteración de características naturales primarias, a la vez que aproveche cierta infraestructura preexistente (de ser aplicable) en el sitio de ubicación. De este modo se evita la alteración de atributos paisajísticos del sitio, y el cambio del uso del suelo en el sitio donde se instale la planta. Cabe mencionar que las escrituras del terreno cuentan con el permiso de uso de suelo tipo industrial otorgado por el Ayuntamiento de Coatzacoalcos. Marcar la diferencia de la instalación y operación de un centro de manejo, tratamiento y disposición final de residuos municipales e industriales o desechos contaminantes, que se generan principalmente en las actividades municipales y petroleras, siendo los más importantes los recortes de perforación, sedimentos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, suelos contaminados, y residuos de manejo especial. El hecho de que la expansión de la industria petrolera conlleva el aumento de la generación de residuos, que requieren un adecuado tratamiento y disposición, hacen de este proyecto una necesidad estratégica para alcanzar el desarrollo económico de la nación, de una manera sustentable. El desarrollo del proyecto involucra el tratamiento ex-situ y con ello la implementación de varios procesos, que de manera interactiva proporcionarán un tratamiento a los diferentes tipos de residuos que se generan en las distintas etapas de la exploración y explotación del petróleo, buscando siempre objetivos que cumplir como son los siguientes:

Dentro los objetivos primordiales se encuentran los siguientes:

- Reducir al mínimo el material tratado que requiera ser dispuesto, asegurando que sea inerte y adecuadamente dispuesto, a fin de no representar riesgo al entorno.
- Crear una fuente significativa de empleos y bienestar para la comunidad que esté directamente involucrada en el desarrollo de ese proyecto.

Con base en los anteriores objetivos, se pretende que la alteración del medio ambiente causado por la actividad del proyecto sea mínima.

La planta de Gasificación por plasma contará con los siguientes elementos:

Área operativa.

- Centro de Recepción.

- Planta de tratamiento.
- Cárcamo de Recepción de Aguas Residuales.

Área administrativa.

- Caseta
- Oficina
- Almacén
- Servicios sanitarios

Dentro de las tecnologías empleadas para el procesamiento de residuos con recuperación de energía se encontró que la tecnología de plasma había sido empleada en países como Estados Unidos, Japón y Puerto Rico, por mencionar algunos, con resultados muy alentadores. La Sociedad Japonesa de Fabricantes de Maquinaria Industrial (Japan Society of Industrial Machinery Manufacturers, JSIM) expone se empleó la antorcha de plasma Ebara para el tratamiento de cenizas producidas por incineradores de residuos municipales. Este sistema solucionó los problemas de dioxinas en la ceniza de la incineración y disponibilidad de rellenos para disposición de ceniza y metales pesados.

A nivel mundial, empresas y universidades se encuentran desarrollando proyectos de gasificación con plasma para el tratamiento de residuos. Aunque la tecnología de plasma tiene sus orígenes en la soldadura y el corte de metales, su aplicación en el área del tratamiento de los residuos sólidos es relativamente reciente. Aún faltan conocer más resultados y un mayor desarrollo en esta tecnología para hacerla más confiable y accesible a países en vías de desarrollo como el nuestro.

En el mundo existen diversas instalaciones experimentales de este tipo. La de la Universidad Nacional Cheng Kung, en Tainan, Taiwan, procesa entre 3 y 5 toneladas diarias. En Japón existen plantas más grandes; la de Yoshii, desarrollada mancomunadamente por Hitachi Metals Ltd. y Westinghouse Plasma, procesa 166 toneladas al día. Sin embargo, aunque este tipo de instalación fue certificado (e instado en otras dos ciudades de aquel país), las plantas de su tipo instaladas en Australia y Alemania fueron cerradas por no cubrir las normas ambientales sobre emisiones.

En la aplicación industrial, Startech ofrece capacidades de procesamiento máximas desde 5 hasta 100 toneladas diarias mencionando que, aunque está diseñando dispositivos para 500 toneladas diarias, es preferible poner más instalaciones de menor capacidad para realizar un proceso en paralelo. Coincidentemente, pocos fabricantes ofrecen algo más allá del destructor de basura. Startech, por ejemplo, recalca que la instalación de potencia es a cargo del cliente. La empresa canadiense Plasco Energy Group tiene instalada una planta piloto en la ciudad de Ottawa, Canadá. Dicha planta ponía énfasis en la "refinación"

de gases producidos durante la conversión de los desechos, más que en la destrucción de éstos. La planta procesa hasta 85 toneladas diarias de basura procedentes de la recolección municipal (sin clasificar) y con ello "puede" producir hasta 1.2 MWh por tonelada de basura. Plasco asegura que su sistema minimiza los residuos contaminantes a CO2 en lugar de metano, como hacen los otros sistemas, pero, como incluye el generador acoplado. La empresa asegura que la contaminación total (abarcando el proceso completo hasta la generación de electricidad) es menos contaminante que el de sus competidores. No obstante, la planta tiene una baja disponibilidad por mantenimiento.

En términos de eficiencia, Plasco asegura que su sistema recupera de cada tonelada de basura: 1.2 MWh, 300 litros de agua potable, entre 5 y 10 kilogramos (kg) de sal; unos 150 kg de materiales para construcción (complementos y agregados) y 5 kg de fertilizantes.

En el Reino Unido existe otra instalación experimental, planeada para llegar a procesar hasta 100 mil toneladas anuales de basura mediante una tecnología que denomina Gasplasma y está orientada específicamente a la generación de energía eléctrica. Aunque la operación suena similar a la tecnología de Startech, la empresa británica Advanced Plasma Power (APP) sí plantea la selección de basura, recuperando previamente todos los materiales reciclables (vidrio, metal, y plásticos resistentes) y, luego, realiza un pre-tratamiento, que consiste en una "gasificación previa" (a base de oxígeno y vapor) hasta obtener una especie de biomasa. Según APP, una planta de este tipo consume (sic) hasta la tercera parte de la energía que produce. APP opera dos plantas en el RU, en las ciudades de Swindon y, en la capital, Londres.

En Estados Unidos hay planes para instalar plantas en varias partes. De los proyectos más importantes ninguno está a cargo de Startech. En todos los casos se trata de tecnologías patentadas por particulares.

Por lo expuesto anteriormente, el plasma puede ser una solución a la problemática de los residuos sólidos al presentar un menor impacto ambiental respecto a otras tecnologías, como la incineración. Su aplicación puede ayudar a minimizar los impactos que una sociedad causa al medio ambiente por el incremento en la generación de residuos con propiedades especiales que complican la disposición final. Ejemplo de esto se puede encontrar en Japón, país que tiene el mayor número de plantas con tecnología de plasma para el tratamiento de residuos sólidos.

Ubicación	Empresa	Plantas	
España	Grupo Hera	HERA Holding Hábitat, Ecología y Restauración Ambiental S.L.	
España	Grupo Hera	ALANSU S.L.	
España	Grupo Hera	ALANSU Asturias Medioambiente S.L.	
España	Grupo Hera	ALANSU Galicia S.L.	
España	Grupo Hera	Alquimia Selecta S.L.	
España	Grupo Hera	Central de Valorització de Sòls S.L.U.	
España	Grupo Hera	Coll Cardús Gas S.L.	
España	Grupo Hera	HERA AMASA S.A.U.	
España	Grupo Hera	HERA Gas S.L.	
España	Grupo Hera	HERA Iberoamericana S.A.	
España	Grupo Hera	HERA Plasco S.L.	
España	Grupo Hera	HERA Plasma S.L.	
España	Grupo Hera	HERA TRATESA S.A.U.	
España	Grupo Hera	INDUGARBI S.L.	
España	Grupo Hera	INDUGARBI Energía S.L.	
España	Grupo Hera	INDUGARBI NFU'S S.L.	
España	Grupo Hera	INDUGARBI RCD'S S.A.	
España	Grupo Hera	INDURECO S.L.	
España	Grupo Hera	Medioil Levante S.L.	
España	Grupo Hera	Óxidos Recumet S.L.	
Argentina	Grupo Hera	AG Ambiental Argentina S.A.	
Alemania	Grupo Hera	BKE Biogas Klein Eichholz GMBH	
Canadá	Grupo Hera	CONPOREC S.A.S.	
Argentina	Grupo Hera	HERA Ailinco S.A.	
Brasil	Grupo Hera	HERA Ambiental LTDA	
Argentina	Grupo Hera	HERA Argentina S.A.	
Brasil	Grupo Hera	HERA Brasil Industria e Comercio LTDA	
Chile	Grupo Hera	HERA BIO BIO S.A.	
Chile	Grupo Hera	HERA Chile S.A.	
Colombia	Grupo Hera	HERA Colombia S.A.	
Francia	Grupo Hera	HERA France S.A.S	
Portugal	Grupo Hera	HERA Sul LTDA	
Ucrania	Grupo Hera	HERA Ucrania S.A.	
Argentina	Grupo Hera	HERA Zárate Campana S.A.	
México	Grupo Hera	México de Servicios Medioambientales S.A.	

		(MESEME)	
Alemania	Grupo Hera	Schwarting Biosystem GmbH	
México	Grupo Hera	Técnicas Avanzadas Medioambientales (TEAVME)	
Cataluña	Grupo Hera	UTE CTR Vallès, Centre de Tractament de Residus del Vallès Occidental	
Canadá	WESTINGHOUSE PLASMA CORP.	WESTINGHOUSE PLASMA CORP.	
Ucrania	WESTINGHOUSE PLASMA CORP.	Tees Valley, UK	Bajo Construcción
China	WESTINGHOUSE PLASMA CORP.	Wuhan, Hubei, China	Bajo Construcción
China	WESTINGHOUSE PLASMA CORP.	Shanghai, China	Bajo Construcción
Japón	WESTINGHOUSE PLASMA CORP.	Eco-Valle	
Japón	WESTINGHOUSE PLASMA CORP.	MIHAMA-MIKATA, JAPAN	
India	WESTINGHOUSE PLASMA CORP.	MEPL, PUNE, INDIA	
Estados Unidos de América	WESTINGHOUSE PLASMA CORP.	Madison, Pennsylvania, USA	Planta Demostrativa
Alemania	Thöni/Kompostgas	Passau Hellersberg	

Fig. 9.7 Plantas de gasificación de residuos mediante plasma en el mundo

Fuente: Hera ,Sustainability Expertise en mundo. Tecnología para proteger el medio ambiente y otras.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso de urbanización acelerado y la modificación de los patrones de consumo que se suceden en México, la extensión geográfica que da lugar a la conformación de diversas regiones ecológicas dentro del país, así como la dispersión de la población mexicana, determinan que la composición y la cantidad de los Residuos Sólidos Municipales varíen de acuerdo con la estación, la región, el modo de vida, las actividades económicas que se llevan a cabo. La rapidez del proceso de urbanización en nuestro país ha rebasado la capacidad del gobierno para realizar un adecuado ordenamiento ecológico del territorio. Hecho que conlleva a que la sociedad mexicana enfrente problemas graves con los residuos sólidos municipales por sus efectos ambientales cuando son vertidos en el agua, el aire y/o el suelo. Dicha problemática no sólo se vive en nuestro país, sino en todo el mundo principalmente en los países desarrollados como Estados Unidos de América, Japón, China y España. y los que están en vías de desarrollo como Argentina, Brasil, México, entre otros.

La población urbana y rural cada día depende más del desarrollo industrial. En la república mexicana en las zonas rurales y semi rurales se generan menor cantidad de residuos, que en las zonas urbanas y principalmente las metropolitanas. La composición de los residuos depende de los niveles de consumo, en México más de la mitad de los residuos son de origen orgánico el resto es inorgánico (papel cartón vidrio metales, y otros). Dependiendo de las características biológicas y químicas de los residuos sólidos municipales se determina el tipo de tratamiento de éstos, para reducir su volumen y para recuperar algunos materiales.

A nivel internacional se tienen ciertos indicadores que permiten tener un panorama más amplio, de los principales subproductos que se generan a nivel mundial, donde el principal productor de papel y cartón es Estados Unidos de América, seguido por Francia, Colombia y México. En cuanto al plástico y los metales el principal productor es EUA, seguido de Francia y México, en última instancia Colombia. A nivel textil tenemos que Francia ocupa el primer lugar, seguido de Colombia, México y EUA. Francia es el principal productor de Vidrio, seguido por EUA y México, y Colombia sólo con una producción mínima. Como podemos apreciar la composición principal de los residuos sólidos municipales en el mundo son: el papel, el cartón, el plástico y otros materiales inorgánicos.

Existen diferentes métodos para tratar los residuos sólidos de los más representativos encontramos: Reciclaje que consiste en volverlos a usar para lo mismo que fueron

fabricados o bien para otra función distinta; La composta que es el producto que se obtiene al descomponerse los desechos orgánicos; El relleno sanitario método que consiste en depositar los residuos sólidos, los cuales se esparcen y se compactan reduciéndolos al menor volumen, para que ocupen una menor área y al final del día se cubren con tierra y se compactan; La incineración es uno de los procesos térmicos que se aplica en tratamiento de los residuos sólidos urbanos para disminuir y aprovechar la energía que contienen, una de las desventajas que se presentan son las emisiones atmosféricas de las dioxinas, furanos, escorias y cenizas formadas; Pirólisis es otro método para tratar los residuos sólidos que consiste en la descomposición química de la materia orgánica y todo tipo de materiales excepto metales y vidrio; La gasificación es un proceso de conversión de residuos sólidos en un gas combustible y reductor por medio de una reacción con unos agentes gasificantes aire, oxígeno y agua; La gasificación por plasma es la transformación de los materiales que contienen carbono en una atmosfera pobre de oxígeno usando una fuente de calor (plasma) para producir un gas combustible llamado syngas y residuos sólidos. Dichos procesos fueron revisados ampliamente en cada capítulo, de lo cual podemos concluir que: la reutilización de los residuos sólidos municipales sus opciones son el reciclaje y la reutilización. El reciclaje es una opción por medio de la cual ciertos materiales se someten a un proceso que los transforme en materia prima reutilizable por ejemplo el vidrio, el papel, el plástico y los metales. Por ello debe separar los residuos sólidos municipales para evitar la saturación de los rellenos sanitarios. Es importante que las autoridades apliquen las normas oficiales de prevención y protección de medio ambiente. El composteo es una opción para los desechos orgánicos, para producir abono orgánico y disminuir el volumen y la cantidad de residuos y utilizarlo como abono para plantas pues es rico en nutrientes. En México se construyeron las primeras plantas de composteo a partir de 1960 y a principios de 1970 por diversos factores algunas dejaron de operar estos factores que intervinieron en el fracaso fueron: factores políticos entre ellos tenemos la falta de continuidad de los proyectos económicos, la percepción de que es más costoso producir composta que disponer de la basura orgánica en un relleno; factores sociales la falta de cultura de manejo de composta, la falta de planeación y administración de que no existe un mercado para la composta y factores técnicos; como la vulnerabilidad de las plantas de compostaje ante la probabilidad de incendio.

Los rellenos sanitarios son un método de disposición de los residuos sólidos que es eficiente y barato. En nuestro país durante la administración del presidente Felipe Calderón se construyeron 146 rellenos sanitarios dando un total de 234, sin embargo el 19 de Diciembre del 2011 se cerró el relleno sanitario más grande y moderno de Latinoamérica "el bordo poniente" ubicado en Texcoco.

La incineración se realiza en presencia de oxígeno, reduce el volumen o cambia la composición física y química. Este proceso produce emisiones de gases que provocan la contaminación del medio ambiente y con ello se dañan a los ecosistemas y al ser humano, entre los productos están los óxidos de nitrógeno, metales, gases, ácidos, dioxinas, furanos y los hidrocarburos aromáticos.

A través del convenio de Estocolmo se buscó proteger la salud humana y al medio ambiente de los compuestos químicos antes mencionados, los países europeos son los que utilizan este método, así como Japón y Estados Unidos.

La pirólisis es la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno se lleva a cabo este proceso de 200 a 600 c° ha sido utilizada en los países desarrollados de Europa tuvo su origen en Estados Unidos de América; Algunos de los subproductos obtenidos son metanol, el hidrógeno, metano y monóxido de carbono. La pirólisis aparece como paso previo a la gasificación este método está diseñado para producir gas de síntesis y por medio de un proceso petroquímico se obtiene gasolinas. Una de las ventajas es que el volumen de los residuos sólidos se reduce al 90%, la desventaja real son los altos costos de operación y mantenimiento.

La gasificación se lleva a cabo a una temperatura mayor de 1000 C° y de diez a veinte atmósferas.

La gasificación mediante plasma es una tecnología relativamente nueva cuya finalidad es reducir los gases de efecto invernadero y los compuestos orgánicos clorados dando como resultado la disociación de los residuos en sus elementos básicos y procesados en otros procesos productivos; la tecnología de plasma tiene un potencial para generar energía eléctrica y otros productos arquitectónicos y ladrillos de construcción.

La creciente generación de RSM en México hace necesario que se adopten medidas para contrarrestar los impactos ambiental, social y de salud pública que ocasiona la gestión actual. Para mejorar esta última, es necesario vincular la investigación básica con la investigación aplicada y social, para definir, diseñar e implementar un plan de gestión de los RSM, que incluya líneas de investigación y de acción, e involucre a todos los sectores de la sociedad, así como a los tres niveles de gobierno: municipal, estatal y federal.

A pesar del desarrollo tecnológico existente en el ámbito internacional para la gestión de los RSM, los sistemas de aseo público en México no cuentan con la información suficiente sobre la composición, características y cantidad de dichos residuos, ni de las fuentes que intervienen y de las variables socioeconómicas que determinan la generación de éstos.

Tal información es fundamental para planificar la gestión de los RSM.

Las tecnologías más utilizadas en el mundo para el tratamiento y disposición final de los residuos son; el relleno sanitario, la incineración y el composteo, con la incineración se recuperan energía y con el composteo materiales orgánicos y materiales inorgánicos, pues las plantas de composteo están asociadas a la recuperación de vidrio, metales, papel y cartón. Y cada vez se amplía más el interés en las ciudades por el reciclamiento de subproductos contenidos en los residuos sólidos municipales.

En la última centuria la basura ha sido considerada como un recurso energético.

De los métodos de tratamientos de los residuos sólidos en México los más utilizados son el relleno sanitario, seguido de la composta y por último la incineración que solamente se emplea para el manejo de los residuos peligrosos.

A nivel mundial, sobre todo en los países desarrollados se ha apostado en los últimos tiempos a procesos térmicos como la pirólisis, la gasificación y la gasificación por plasma, obteniéndose resultados favorables, algunos con mayores beneficios que otros, hasta el momento el método ideal para la disposición final de los residuos sólidos es la gasificación por plasma debido a que no genera contaminantes, y genera fuentes de energía redituables, sin embargo en la mayoría de los países incluido México, aun no contamos con una infraestructura sólida que permita el desarrollo de proyectos a gran escala para el manejo de los residuos mediante estos métodos.

Por las conclusiones anteriores se recomienda que el gobierno promueva programas enfocados hacia la no generación de residuos y fomentar los procesos productivos que incluyan la reutilización y reciclaje de materiales. Ya que reducir la cantidad de basura que se genera es la opción más importante para el manejo de desechos. Si no generamos los desechos, no tendremos que deshacernos de ellos. El reducir los desechos que generamos usualmente conlleva cambios en el estilo de vida. Debemos evitar ser una sociedad consumista y convertirnos en compradores conscientes del medio ambiente.

Se recomienda agilizar los apoyos fiscales a empresas para que realicen un confinamiento adecuado de los residuos que en la actualidad no son susceptibles de reincorporar al proceso productivo, como los biológico-infecciosos. Así como impulsar financiamientos para la adquisición de nueva tecnología que permita un desarrollo sustentable en el manejo de los residuos sólidos municipales.

Asimismo se recomienda diseñar un programa de información a la población en el cual se planteen todas las acciones de gestión de RSM, de forma simplificada y profesional; en el cual se fortalezca la educación ambiental. Sobre esto último, es importante desarrollar los mecanismos para mejorar la vinculación entre las Secretarías de Educación y del Medio Ambiente, con el fin de que diseñen y ejecuten dichos programas educativos. Esto es importante para sensibilizar a la sociedad sobre las implicaciones y causas de la producción excesiva de residuos sólidos; además, es indispensable incrementar la

demanda social hacia los diferentes niveles de gobierno para que se apliquen los programas de gestión de RSM. Y con esto ser una sociedad informada y consciente del problema ambiental, de la cual dependerá el buen éxito de las acciones emprendidas.

GLOSARIO

SIGLAS	SIGNIFICADO
C	Carbono
°C	Grado Centígrado
C/N	Carbono / Nitrógeno
CONAPO	Consejo Nacional de Población
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
COPARMEX	Confederación Patronal de la República Mexicana
EPA	Environment Protection Agency
EUA	Estados Unidos de América
INAFED	Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal
INE	Instituto Nacional de Ecología
LGPGIR	Ley General para Prevención y Gestión Integral de Residuos
OCDE	Organización para Cooperación y el Desarrollo Urbano
NPA	Nitrato de peroxilo
PAHs	Hidrocarburos aromáticos Policíclicos
PCDD	Policloro Dibenzodioxinas
PCDF	Policloro Dibenzofuranos
PdC	Plantas de composteo
PEM	Plasma Enhanced Melter

RU	Residuos Urbanos
RS	Residuos sólidos
RSU	Residuos sólidos Urbanos
RSM	Residuos Sólidos Municipales
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación
SEDESOL	Secretaría Desarrollo Social
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
UBASER	Nombre de una empresa
<	Menor que
>	Mayor que

BIBLIOGRAFIA

BUENROSTRO, O. y Israde I. (Noviembre 2003) La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del lago de Cuitzeo, México Rev. Int. Contam. Ambient. 19 (4) 161-169, 2003.

EPA (Environmental Protection Agency) (2012) Disponible: <http://www.epa.gov>

INE (Instituto Nacional De Ecología) (2013) Disponible: <http://www.ine.gob.mx>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (2009) Estadística del medio ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana, INEGI, México.

JIMÉNEZ C, y Blanca E. (2001) La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa, México.

LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS (Mayo 2012) Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

NEBEL J., Bernard y Wright T.,Richard. (1996) Environmental Science, Prentice Hall , U.S.A..

ONDARZA R. (2005). "El impacto del hombre sobre la Tierra". Trillas, México.

SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social) (2012) Disponible: <http://www.sedesol.gob.mx>

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2005) Estadísticas e indicadores selectos de generación de residuos sólidos municipales por composición, México http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_ambientales/estadisticas_am_98/residuos/residuos01.shtml

VELÁZQUEZ Y. (Octubre 2012) El reciclaje: una opción para minimizar la generación de residuos sólidos urbanos domiciliarios Rev. Desarrollo Local Sostenible 5 (15) 1-12, 2012.

ZHU D., P. U., Asnani, C. Zurbrügg, S. A., Shyamala Mani (2008) Improving Municipal Solid Waste Management in India, DC, World Bank Institute, The World Bank, Washington.