

COMPETENCIA SOBRE AGUA, ENERGÍA Y AMBIENTE

5° ciclo - año 2011

Bibliografía 16° programa:

Temas:

- 1) Tratamiento y disposición final de RSU**
- 2) Energía a partir de los residuos**

1 - Tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos

INTRODUCCIÓN y conceptos básicos

Todas las actividades humanas generan residuos y estos deben ser gestionados y dispuestos en forma ambientalmente correcta, minimizando los posibles impactos sobre la salud y el medio ambiente.

Los residuos sólidos comprenden todos aquellos que provienen de las actividades humanas, que normalmente son sólidos (semisólidos), y desechados como inútiles o superfluos por los propios generadores. Son una consecuencia de la vida; todas las actividades los generan.

*“La **Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (GRSU)** es la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento y disposición final de los residuos, en forma armónica con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética y de los principios ambientales, respondiendo a las expectativas del público”.*¹

Los elementos funcionales de un Sistema de GRSU son:

- Generación
- Manipulación y separación, almacenamiento y procesamiento en origen
- Recolección
- Separación y procesamiento, transformación de residuos sólidos
- Transferencia y transporte
- Disposición final

En el último siglo las actividades humanas han producido una enorme degradación del medio ambiente. El crecimiento exponencial de la población combinada con un incremento del consumo, ha llevado a una explosión en la cantidad de residuos producida. Al mismo tiempo resulta difícil encontrar sitios para la instalación de rellenos sanitarios.

Encontrar una solución a la crisis de la gestión de los residuos no es sencillo. El problema es grande, vital en términos de impacto al medio ambiente y complejo en alcance, involucrando no solamente a los aspectos técnicos sino también a los sociales, políticos y regulatorios.

SEPARACIÓN, PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DE LOS RSU

Los métodos utilizados para la recuperación de materiales separados en origen, comienzan con la recolección diferencial –también deben incluirse los centros de entrega voluntaria por parte de los generadores-, y finalizan en una planta de separación y procesamiento adicional de estos materiales previamente segregados en origen.

Para el caso de residuos no seleccionados, la separación se realiza en instalaciones para la recuperación de materiales. Cabe destacar que las eficiencias de recuperación son menores que en caso de residuos separados en origen, debido a la contaminación de los materiales.

¹ Tchobanoglous, G. et al. (1994), *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues*, Mc Graw-Hill.

Las instalaciones para la separación de materiales son más eficientes si se diseñan en forma integral, es decir que no sólo cuenten con una instalación para separación, sino que deben incluir plantas de compostaje y lombricultura, así como de procesamiento de los materiales recuperados para convertirlos en insumos para la industria. Además, deben tener en cuenta normas de seguridad e higiene para garantizar correctas condiciones de trabajo para los operadores.

Por otra parte, dentro de las alternativas de tratamiento se han considerado los procesos de transformaciones químicas y biológicas que se emplean para reducir el volumen y el peso de los residuos, así como para recuperar productos de conversión y energía.

El proceso de transformación química más frecuentemente utilizado es el de incineración, que actualmente se diseña para la recuperación de energía, en forma de calor. El proceso de transformación biológica más comúnmente utilizado es el compostaje aeróbico.

A continuación se resumen las operaciones y procesos de transformación utilizados para el tratamiento de los RSU, así como los principales productos resultantes

Operaciones y procesos de transformación de los RSU			
Procesos de transformación		Medio o método de transformación	Principales productos recuperados y de conversión o transformación
FÍSICOS	Separación de componentes	Separación manual y/o mecánica	Materiales recuperados de los RSU seleccionados y acondicionados
	Reducción de volumen	Operación mecánica	Materiales compactados con la consiguiente reducción de volumen respecto de los componentes originales
	Reducción de tamaño	Operación mecánica	Material triturado de menor tamaño y reducción de volumen respecto de los componentes originales
QUÍMICOS	Combustión	Proceso de oxidación térmica	Dióxido de carbono (CO ₂), dióxido de azufre (SO ₂), agua (H ₂ O) y otros productos de combustión. Material particulado liviano y cenizas
BIOLÓGICOS	Compostaje	Proceso de tratamiento biológico aeróbico	Compost (material húmico utilizado como acondicionados de suelos)
	Lombricultura	Proceso de tratamiento biológico aeróbico	Lombricompuesto (material de la digestión utilizado como mejorador de suelos) + Lombrices (como fuente de proteínas)
	Digestión anaeróbica	Proceso de tratamiento biológico aneróbico	Metano (CH ₄), dióxido de Carbono (CO ₂), trazas de otros gases, humus o fangos digeridos
<i>Fuente: Tchnobanoglus, G.(1994), Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues, Mc Graw-Hill</i>			

La eficiencia de los procesos de transformación y procesamiento de los RSU depende directamente de la forma de recolección de los mismos (diferencial o no seleccionados). En el primer caso, ésta es más alta y se producen menores cantidades de rechazos. Las transformaciones químicas y biológicas, tienen como objetivo reducir el volumen y el peso de los residuos, que deben ser dispuestos.

Cabe destacar que de estos procesos se pueden recuperar productos de conversión (composting y lombricompuesto) y energía (calor o vapor).

SEPARACIÓN Y RECUPERACIÓN DE MATERIALES DE LOS RSU

La separación de RSU se realiza para recuperar materiales potencialmente reciclables del flujo de RSU. El reciclaje disminuye el volumen de residuos a ser dispuestos en los rellenos permitiendo, así una mayor conservación de recursos naturales y de energía para la fabricación de nuevos productos, minimizando los impactos para la Salud Pública y el medioambiente. Brinda entonces un beneficio económico y ambiental para la comunidad.

El reciclaje de materiales del flujo de residuos, incluye las siguientes actividades:

- La recuperación de materiales del flujo de residuos mediante recolección diferencial de los distintos componentes.
- Selección y acondicionamiento de los materiales recuperados según lo especificado por los compradores.
- Transporte de los materiales a los puntos de comercialización y/o fabricación.
- En algunos casos, se necesita realizar un procesamiento adicional para transformar los materiales recuperados en materia prima para la industria.

Para la sustentabilidad de un programa de reciclaje se deben garantizar la seguridad e higiene de los trabajadores, el mercado de los productos de conversión y energía y la legislación necesaria para el fortalecimiento de la regulación y control de la utilización de estas tecnologías, no perdiendo de vista el objetivo del cuidado de la salud pública, la minimización de los impactos sobre el medio ambiente y la rentabilidad económica de los insumos a ser producidos.

REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE

Los materiales recuperados en las instalaciones para la recuperación de materiales para su reutilización y reciclaje pueden utilizarse según distintos usos posibles, que se presentan a continuación:

- Reutilización directa (tales como maderas, pallets, etc.).
- Materia prima para la fabricación y reprocesamiento (aluminio, papel y cartón, plásticos, vidrios, metales ferrosos, neumáticos).
- Materia prima para la elaboración de productos de conversión: producción de compost mediante la degradación biológica de los residuos de jardín y fracción orgánica de los RSU.
- Fuente de combustible: Obtención de energía de los RSU mediante incineración de la fracción orgánica y la recuperación del calor producido o mediante la conversión de los residuos en algún tipo de combustible (combustibles derivados de residuos).
- Restauración de terreno: mediante la disposición de residuos de construcción y demolición limpios y procesados.

Para evaluar la factibilidad del reciclado es importante definir las alternativas de separación y procesamiento de los materiales recuperados, su costo y las especificaciones técnicas específicas de éstos para su aprovechamiento.

- Centros de recolección selectiva (en áreas verdes y puntos fijos)
- Centro de recompra

Modalidades de recolección diferencial

Recolección diferencial en acera: Consiste en la separación de residuos en el punto de generación realizada por los propios generadores. Los tipos de componentes separados dependen de los objetivos del programa. Se necesita un procesamiento o separación adicional antes de reutilizarse.



Centros de Recolección Selectiva en áreas verdes o puntos fijos: Un programa de recogida selectiva requiere que los residentes separen los materiales reciclables en origen y los lleven a centros específicos de recogida. Estos centros pueden ser uni-material o multi-materiales. Los responsables son los propios generadores. Presentan baja participación. Además, requieren un lugar de almacenamiento dentro del hogar o comercio. Debe implementarse una motivación para la participación (donaciones a instituciones locales). Se ubican en sitios específicos de la ciudad (espacios verdes, calles peatonales, estaciones ferroviarias) o en centros comerciales. Se debe mantener la participación con programas permanentes. Los contenedores se ubican en espacios públicos, áreas verdes o zonas específicas.



Centros de recompra: Un programa de recompra proporciona a los generadores un incentivo monetario para la participación. Las formas de pago pueden ser directas o indirecta (reducción tarifas, concursos o loterías).



Operaciones unitarias utilizadas para la separación de RSU

Las operaciones unitarias y los equipamientos utilizados para la separación y procesamiento de materiales potencialmente reciclables incluyen:

- Instalaciones de almacenamiento
- Instalaciones para manipulación y transporte
- Reducción de tamaño (Trituración)
- Separación según componentes y tamaño (separación magnética, cribado y separación neumática)
- Reducción de volumen (compactación)

Los objetivos de estas operaciones son:

- Modificar las características físicas de los residuos para que puedan ser separados fácilmente.
- Separar del flujo de residuos componentes o contaminantes específicos.
- Procesar y preparar los materiales para su uso posterior.



Trituradora de madera



Separador magnético



Criba vibratoria
(separación por tamaño)



Compactadora

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos térmicos (combustión) se utilizan para reducir el volumen y el peso de los residuos que requieren disposición y para recuperar productos de energía. Es un proceso de oxidación química de la fracción orgánica presente en los RSU.

Los sistemas de procesamiento térmico pueden clasificarse en base a sus requerimientos de oxígeno.

La incineración reduce del 85 a 95% el volumen de la fracción combustible y además se puede realizar la recuperación de energía en forma de calor, pero estos sistemas requieren controles ambientales exhaustivos de las emisiones gaseosas generadas durante el proceso de quemado.

Bajo condiciones ideales, los productos gaseosos derivados de la incineración de RSU (con cantidades estequiométricas² de aire) son agua, dióxido de azufre y dióxido de carbono.

Existen diferentes tipos de procesos de combustión dependiendo de la cantidad de Oxígeno presente:

- Si la cantidad de Oxígeno es exacta estamos en presencia de un proceso de **combustión estequiométrica**.

² Cantidad de oxígeno necesario para que se realice la combustión.

- Si la combustión se desarrollo con exceso de Oxígeno (sobre las necesidades estequiométricas) se denominan **combustión con exceso de aire**.
- Cuando la combustión se realiza con defecto de aire, es decir en condiciones sub- estequiométricas, el proceso se denomina **gasificación**. Este proceso de combustión parcial de los residuos sólidos, genera un gas combustible que contiene Monóxido de Carbono, Hidrogeno y gas de mediano poder calorífico.
- La **pirólisis** es el proceso térmico de los residuos en ausencia completa de oxígeno.

LA INCINERACIÓN

Es un proceso de combustión controlado que transforma la fracción combustible de los residuos en productos gaseosos y un residuo sólido inerte (escoria) de menor peso y volumen que el material original. El combustible es el propio residuo y el comburente, el oxígeno del aire. Se debe considerar que este sistema de eliminación no es completo, ya que se genera un producto residual que son las cenizas y un efluente gaseoso. A continuación se presenta las ventajas y desventajas del proceso de incineración:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Produce una reducción de peso del 70 al 75% respecto de la cantidad original • Produce una reducción de volumen del 85 al 90%. • Presenta grandes posibilidades de recuperación de energía mediante la utilización de los gases calientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de residuos con alto contenido de humedad se necesita un secado previo con el consecuente consumo de energía. • Se necesita mayor de consumo de combustible fósiles para el quemado de los residuos con bajo poder calorífico. • Altos costos de inversión • Altos costos de operación del sistema de incineración.

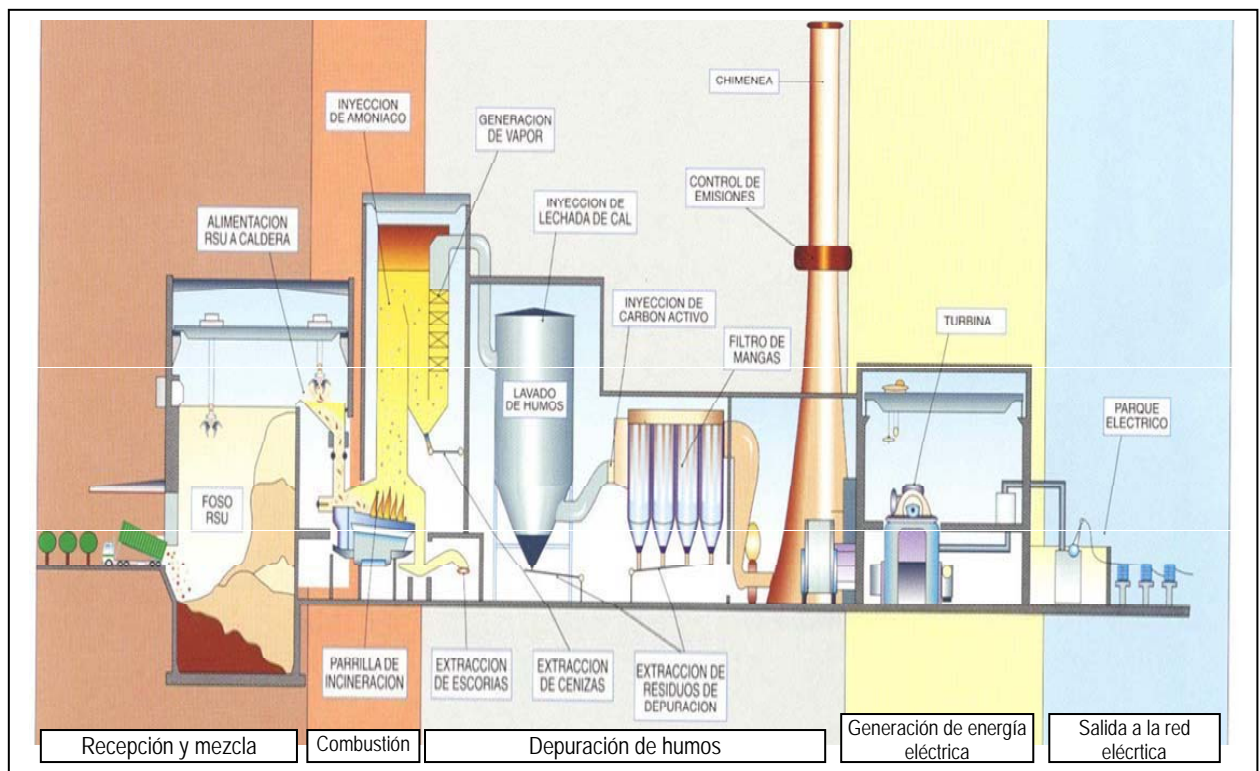
Las instalaciones de incineración cuentan con tres subsistemas:

- Pre-tratamiento: Allí se realiza la separación de materiales inertes. Luego se realiza un proceso de secado para la eliminación de la humedad. Una vez acondicionados los residuos son alimentados hacia la cámara de combustión a través de métodos mecánicos o a gravedad.
- Una segunda instalación se refiere al área de combustión propiamente dicha, donde se encuentran los quemadores, parrillas y sistema de control.
- Finalmente se cuenta con un área de retención de las cenizas pesadas, mediante un cenicero ubicado en la parte inferior y un sistema de tratamiento de los gases y material particulado, para alcanzar los estándares de emisiones gaseosas.

El proceso de incineración esta compuesto de las siguientes operaciones:

- Área de descarga de camión recolector
- Área de de almacenamiento
- Puente grúa
- Sistema de alimentación o carga
- Horno de incineración

- Parrilla de quemado directo, con inyección de aire para controlar la velocidad de incineración y la temperatura del horno. Los tipos de inyección de aire son primario, desde el fondo de las parrillas o secundario y secundario desde la parte superior de las parrillas.
- Cámara de combustión del horno, que alcanza una temperatura mayor a 870° C
- Caldera para recuperar el calor de los gases calientes (producción de vapor)
- Turbina de generación de energía
- Equipo de control de contaminación de aire: Inyectora de amoníaco para control de los NOx (Óxidos de Nitrógeno).
- Equipo de control de contaminación de aire: Depuradora seca para control de los SOx (Óxidos de Azufre) y los gases ácidos.
- Equipo de control de contaminación de material particulado y contaminantes: Filtros de mangas para separar partículas.
- Ventilador de tiro forzado o inducido, para compensar pérdidas de tiro debido al equipo de control contaminación.
- Chimenea
- Tolva de rechazos o cenicero, hacia donde caen las cenizas y rechazos desde las parrillas. También se envían aquí el material particulado recogido en los filtros de mangas.



Detalle de Sistema de Incineración

(Tchbanoglous G. et al (1994), *Gestión Integral de los Residuos Sólidos*. Mc Graw Hill)

Los sistemas de incineración actualmente más utilizados son:

- **Incineradores de combustión en masa:** Opera con RSU en bruto o en masa
- **Incineradores alimentadas por CDR:** Opera con RSU procesados, conocidos como combustibles derivados de residuos (CDR)

PIRÓLISIS

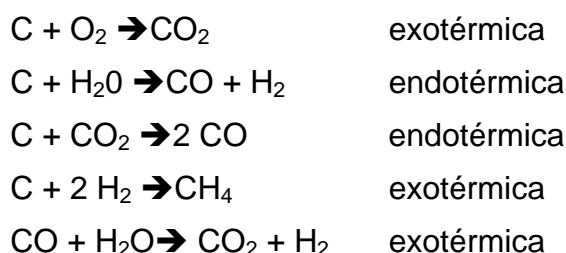
Como la mayoría de las sustancias orgánicas son térmicamente inestables se pueden romper mediante su calentamiento en un ambiente sin presencia de oxígeno. Este proceso denominado pirólisis, combina la desintegración térmica y las reacciones de condensación en fracciones gaseosas, líquidas y sólidas. Al contrario de los procesos de combustión y gasificación, que son extremadamente exotérmicos, el proceso de pirólisis es altamente endotérmico, requiriendo una fuente de calor externa.

Las tres fracciones más importantes producidas mediante pirólisis son las siguientes:

- Una corriente de gas que contiene principalmente hidrógeno, metano, monóxido de carbono y diversos gases, según las características del material que es pirolizado.
- Una fracción líquida que consiste en un flujo de alquitrán o aceite que contiene ácido acético, acetona, metanol e hidrocarburos oxigenados complejos.
- Coque inferior que consiste en carbono casi puro, más cualquier material inerte originalmente presente en los residuos sólidos.

GASIFICACIÓN

La Gasificación es el proceso de combustión parcial en que el combustible es quemado con menor cantidad de aire, que el se debería utilizar para una combustión estequiométrica. Esta técnica permite reducir volúmenes y recuperar energía. Durante el proceso de gasificación se producen cinco reacciones principales:



El gas combustible producido puede quemarse en un motor de combustión interna, turbina de gas o caldera en condiciones de oxígeno adicional.

CONTROL AMBIENTAL DE LOS INCINERADORES

Los sistemas de combustión producen diversos impactos sobre el ambiente, incluyendo emisiones gaseosas y de partículas, rechazos y efluentes líquidos.

a) Emisiones atmosféricas: Óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, material particulado, metales volátiles, gases ácidos, dioxinas y furanos. Los sistemas de control de la contaminación atmosférica mayormente utilizados son: Precipitadores electrostáticos, filtro de manga, lavadores de gases (en seco y húmedo) y ciclones.

b) Rechazos sólidos: cenizas de fondo (porción no combustible de los residuos sólidos: metales y vidrios), cenizas volantes (partículas que son arrastradas por los gases productos de la combustión y separadas mediante los sistemas de depuración de los gases utilizados).

c) Efluentes Líquidos: 1) agua de limpieza y refrigeración de los sistemas para separación de cenizas húmedas, 2) efluente de lavadores de gases en húmedo, 3) aguas residuales del lavado y mantenimiento general de la planta y 4) purgas de la torre de enfriamiento.

Aspectos críticos de la utilización de sistema de incineración

Los aspectos críticos asociados al uso de incineradores para el tratamiento de RSU son:

- Problemas en la localización de las plantas, debido al rechazo de la población a la radicación de incineradores (Efecto Nimby: “*Not in back yard*”, que significa: *no en mi patio trasero*.).
- Necesidad de sistemas de control de emisiones gaseosas de alto costo para alcanzar los estándares de calidad de aire en el entorno tal cual lo establecido en la legislación nacional sobre residuos peligrosos.
- Problemas para la disposición de los rechazos de incineración y de las cenizas generadas durante el tratamiento, así como del material particulado fino, retenido en los filtros de manga o electrostáticos.
- Necesidad de contar con un sistema de tratamiento de los efluentes líquidos generados del lavado de gases mediante scrubbers o lavadores de gases.
- Altos costos de inversión y operación, que hacen que este sistema no sea económico frente a otros tipos de tratamiento.
- Necesidad de contar con un relleno de características específicas para la disposición final de las cenizas, materiales finos y rechazos.
- Necesidad de personal calificado para la operación y mantenimiento de los incineradores.
- Altos de costos de mantenimiento, necesidad de reparaciones periódicas preventivas de las instalaciones del incinerador (refractarios, partes mecánicas).
- Escasa flexibilidad para adaptarse a incrementos en la cantidad de residuos a tratar.

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Los tratamientos biológicos son procesos de degradación biológica de la fracción orgánica presente en los RSU. Se utilizan para reducir el volumen y el peso de los residuos que requieren disposición y para recuperar productos de conversión.

La fracción orgánica de los RSU (con excepción de los plásticos, goma y cuero) se puede considerar compuesta por proteínas, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono, celulosa, lignina, etc. Estos componentes orgánicos, tratados mediante un proceso de descomposición aeróbica microbiana, producen un material denominado **humus** (conocido comúnmente como compost).



Los objetivos de estos tratamientos son:

- Transformar materiales orgánicos biodegradables en un material biológicamente estable y reducir el volumen original de los residuos.
- Destruir organismos patógenos, huevos de insectos y otros tipos de organismos no deseables que puedan estar presentes en los RSU.
- Retener al máximo el contenido nutricional (nitrógeno, potasio y fósforo).
- Elaborar un producto que pueda ser utilizado como soporte para el crecimiento de plantas y como mejorador de suelos.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COMPOST

Las características del Compost son:

- Color: marrón hasta marrón oscuro
- Baja relación carbono-nitrógeno
- Naturaleza cambiante debido a la acción de microorganismos
- Alta capacidad para el intercambio de cationes y para la absorción de agua



Su composición varía según la naturaleza del material original y las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo la operación de composting.

Los principales materiales para aplicaciones del composting son:

- Residuos de Jardín
- Fracción orgánica de los RSU
- RSU no seleccionados parcialmente procesados
- Co-composting de la fracción orgánica de los RSU con barros de aguas residuales domésticas o cloacales.

En la siguiente tabla se presentan los materiales a ser compostados y su contenido de Carbono y Nitrógeno de modo tal de poder desarrollar una adecuada mezcla para alcanzar una buena relación Carbono/Nitrógeno.

Materiales compostables y su contenido de Carbono y Nitrógeno		
Verdes (Alto contenido de Nitrógeno)	Marrón (Alto contenido de Carbono)	No utilizar
Restos de corte de pasto	Hojas	Huesos
Restos de poda	Corteza	Heces de gatos y perros
Frutas y vegetales	Paja	Aceites
Plantas domésticas	Astillas de madera	Grasas
Abono de caballo, cerdo, pollo, conejo y vaca	Aserrín	Grasa animal
Desechos alimenticios: cáscaras de huevo, pan viejo, restos de café (incluido el filtro),saquitos de té, cáscara de frutas y vegetales, cáscaras de cítricos	Papel de diario triturado	Carbón de madera
		Desperdicios de carne y pescado
	Mazorca de maíz	Productos lácteos
		Semillas de malezas
		Plantas en descomposición
Fuente: www.ciwm.ca.gov Integrated Waste Management Board - California - USA		

Asimismo, en la siguiente tabla, se presentan los principales inconvenientes que pueden ocurrir durante el proceso de degradación biológica y las diferentes soluciones propuestas.

Principales inconvenientes en el proceso de compostaje		
Problema	Posible causa	Solución
Olor Nauseabundo	Excesiva humedad	Voltear la pila o adicionar material seco, tal como aserrín
	Compactación	Voltear la pila o disminuir su tamaño
Olor Amoniacal	Mucho contenido de Nitrógeno	Adicionar elementos con alto contenido de carbono (compuestos marrones)
Baja Temperatura	Pila muy pequeña	Aumentar el tamaño de la pila
	Baja humedad	Adicionar agua y voltear
	Pobre aireación	Voltear la pila
	Tiempo frío	Aumentar el tamaño de la pila o aislarla con una capa de material, tal como paja.
Alta Temperatura	Pila muy grande	Reducir el tamaño de la pila o voltearla con mayor frecuencia
	Poco contenido de Nitrógeno	Adicionar elementos con alto contenido de carbono (compuestos marrones)
Vectores y roedores, tales como ratas e insectos	Presencia de desechos de carne o residuos de desechos alimenticios grasos	Remover los restos de carne y de elementos grasos de la pila y cubrir con una capa de suelo o aserrín.
Fuente: Integrated Waste Management Board - California – USA www.ciwmb.ca.gov		

TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

Hileras: En esta técnica la fracción orgánica de los residuos es procesada previo al proceso de compostaje. Este pre-procesamiento incluye la trituración y cribado para obtener un tamaño de material a compostar de 2,5 a 7,5 cm. Asimismo se realiza un ajuste del contenido de humedad (50 a 60%).

Luego, se coloca la fracción orgánica de los RSU en hileras dentro de una superficie libre. El material es dispuesto en hileras de 2 a 2,5 metros de altura por 4,5 a 5 metros de ancho de base.

Para un alto rendimiento, las hileras se voltean una o dos veces por semana para proporcionar oxígeno (utilizado para el proceso de descomposición) y para controlar la temperatura de fermentación (temperatura óptima de 55° C). Para el volteo se utiliza una pala cargadora frontal o en caso de ser poco material el volteo es manual. En general durante el volteo se producen problemas de olores. El período de compostaje promedio estimado es de 4 a 5 semanas.



La actividad metabólica produce la alteración de la composición química de la materia orgánica, la reducción del volumen y el peso de los residuos y el aumento la temperatura del material (debido al proceso de fermentación). Cuando se agota la materia orgánica fácilmente biodegradable, se reduce la actividad microbiana y baja la temperatura. El material fermentado se madura durante un período de 2 a 8 semanas adicionales, sin volteo, en hileras abiertas para asegurar su total estabilización.

Hileras Estáticas: Este proceso consiste en realizar el proceso de fermentación en hileras estáticas que cuentan con una red de tuberías de aireación sobre la cual se coloca la fracción orgánica procesada de RSU.

Las alturas de las pilas son de 2 a 2,5 metros. Por encima de ellas se coloca una capa de compost cribado para control de olores y vectores. A cada pila se coloca un inyector de aire individual para control de la aireación. El aire se introduce para proporcionar el oxígeno necesario para la conversión biológica y para el control de la temperatura dentro de la pila.

La fermentación mediante este sistema se produce en 3 a 4 semanas. Luego, se madura el material durante 4 semanas.



Composting en Reactores: El proceso de composting se realiza en reactor cerrado. Los sistemas de composting en reactores utilizan dos tipos de sistemas de flujo: de mezcla completa (dinámico) o flujo pistón. Estos utilizan sistemas mecánicos para minimizar los olores y el tiempo de fermentación mediante el control de las condiciones ambientales (flujo de aire, temperatura y concentración de oxígeno)

Las ventajas de este sistema son:

- Pocos problemas de olores
- Bajos costos de mano de obra
- Menor necesidad de espacio
- Menores tiempos de fermentación (1 a 2 semanas), aunque el periodo de maduración asciende a 4 - 12 semanas.



USOS POTENCIALES DEL COMPOST

El compost es un mejorador de suelos, sus principales propiedades son:

- Mejora la permeabilidad de los suelos.
- Aumenta su capacidad de retención de humedad.
- Mejora la retención de nutrientes.
- Actúa como agente moderador del pH.
- Ayuda a regular la temperatura.
- Colabora en el control de la erosión.
- Mejora la aireación.
- Aumenta el contenido de materia orgánica en los terrenos.
- Previene enfermedades de los cultivos.
- Corrige deficiencias en la composición del suelo.
- Reduce la densidad.
- Aumenta la capacidad de intercambio de cationes en los suelos arenosos.

Pero además, el compost es también una buena fuente de nutrientes para las plantas, al punto de que, en algunas aplicaciones, tiene ventajas sobre los fertilizantes por su característica de incorporarles, a diferencia de éstos, paulatina y gradualmente a lo largo de un cierto período de tiempo. Adicionalmente, el compost suministra una cantidad importante de micronutrientes de que carecen los

fertilizantes (sí bien los fertilizantes poseerán siempre mayor cantidad de macronutrientes que el compost).

LOMBRICULTURA

Es la utilización de las lombrices para el tratamiento de la fracción orgánica de los RSU. Esta se define como una actividad organizada utilizando “lombrices rojas o californianas”, y su modalidad alimentaria para generar:

- El producto final de su digestión, comúnmente llamado “lombricompuesto” o “vermicompuesto”, un compuesto suave al tacto de olor agradable similar a la tierra mojada, que es atóxico para vegetales y un excelente mejorador de suelos.
- La “lombriz” en sí misma, como fuente de proteínas.

Las lombrices son clasificadas como anélidos oligoquetos. Estos ingieren todo tipo de compuestos vegetales y animales parcialmente descompuestos. En la primera etapa de este tratamiento actúan las bacterias y hongos, que degradan la celulosa y las proteínas, transformándolas en sustancias más simples (de cadena más corta) y que pueden ser ingeridas por las lombrices. Este proceso es aeróbico (digestión aeróbica), por lo tanto con mínimos problemas de olores.

Cuando las condiciones de temperatura, humedad y pH son los adecuados, las lombrices son introducidas en el compost hasta la transformación del material en humus.

Las lombrices son de rápida multiplicación. Se utilizan para transformar residuos orgánicos en abono, humus de lombriz o worm casting como se le conoce en el comercio internacional. Un residuo orgánico, previamente segregados los materiales inertes y contaminantes, y en proceso de compostaje, es puesto como sustrato y hábitat para la lombriz y transformado por ésta, mediante su ingesta y excreta, en una enmienda fertilizadora.



Detalle de camas de lombricultura (Realicó)

La acción de la lombriz en su proceso digestivo produce un agregado de bacterias que actúa sobre los nutrientes. La acción microbiana del humus de lombriz hace asimilable para las plantas a elementos inertes como Fósforo, Calcio, Potasio, Magnesio y oligoelementos.

El humus de lombriz o lombricompuesto acelera el desarrollo radicular y los procesos fisiológicos de brotación, floración, maduración y mejora el sabor y color de los frutos. Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas al ataque de plagas y heladas.

Características del lombricompuesto

El humus utilizado como abono le da al suelo una mayor porosidad y aireación, mejorando la infiltración y favoreciendo el crecimiento radicular. Posee una adecuada acidez que aumenta la solubilidad de micronutrientes (Cobre, Molibdeno, Manganeso y Zinc), por otra parte, los nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) presentes en el lombricompuesto, se encuentran en formas químicas que pueden ser fácilmente absorbidas por los vegetales.

El lombricompuesto es utilizado para cultivos intensivos florales y hortícolas, bajo cubierta, con muy buenos resultados y en cultivos extensivos de pomares (manzanos y perales) y cítricos.

DISPOSICIÓN FINAL DE RSU: EL RELLENO SANITARIO

La evacuación segura a largo plazo de los residuos sólidos es una componente importante de la gestión integral. La planificación, el diseño y la operación de rellenos implica la aplicación de principios científicos, ingenieriles y económicos. El método más común es el *vertido en tierra*.

El relleno sanitario es actualmente el método más económico y ambientalmente más aceptable para la evacuación o disposición final de los residuos sólidos. Incluso con la implantación de programas de reducción, de reciclaje o de tecnologías de transformación, es necesaria la disposición de los rechazos en los rellenos.

Se denomina Relleno a la instalación física utilizada para la evacuación en los suelos de la superficie de la tierra, de los rechazos procedentes de los residuos sólidos.

Se define *Relleno Sanitario* a la instalación de ingeniería para la disposición de RSU, diseñada y operada para minimizar los impactos sobre el medio y la salud pública.

La American Society of Civil Engineers (ASCE) define: "*Relleno Sanitario es la técnica para la disposición de los residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin ocasionar molestias o peligros para la salud y la seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en la menor superficie posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable. Los residuos así dispuestos se cubren con tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada*".

El *vertido* o disposición de los residuos sólidos es el proceso mediante el cual se depositan los residuos sólidos en un relleno. Este incluye el control del flujo de entrada de residuos al relleno, la colocación y compactación de los residuos y la implantación de instalaciones para control ambiental.

Previo a la instalación de un predio para la disposición final de los RSU, se deben realizar estudios de modo tal de garantizar la viabilidad del proyecto de disposición final (estudios hidrogeológicos, relevamientos planialtimétricos, características geológicas de la zona y su entorno, estudios de suelos, estudios de impacto ambiental, entre otros).

Descripción de los componentes, etapas y gestión de un relleno sanitario

A continuación se realiza una breve descripción de los distintos componentes de un relleno sanitario.

Celda: Es el volumen de material depositado en el relleno durante la operación diaria. La celda incluye los residuos depositados y el material de cobertura.

Nivel: Se denomina a una capa completa de celdas sobre una zona activa del relleno. Los rellenos se conforman con una serie de niveles.

Bermas: Se las utiliza para mantener la estabilidad de la pendiente del relleno, para la localización de las cañerías para recuperación del gas y de los canales para drenaje de agua superficial, y también para controlar la entrada de agua dentro del relleno durante la operación.

Cobertura diaria: Consiste en una capa de suelo natural (o materiales alternativos) de 15 a 30 cm, que se aplica al frente de trabajo del relleno al final de cada período de operación. Los objetivos de la cobertura son controlar el vuelo de materiales residuales, prevenir la entrada o salida de vectores sanitarios (tales como ratas, moscas, etc.) y controlar la entrada de agua dentro del relleno durante la operación.

Cobertura final: Se aplica a toda la superficie del relleno, después de concluir con las operaciones de vertido. Consiste en múltiples capas de tierra y/o materiales como geomembranas, para facilitar el drenaje superficial, interceptar aguas filtrantes y soportar vegetación superficial. La superficie resultante debe ser uniforme y libre de zonas con desniveles, para disminuir la acumulación de agua sobre el terreno. Debe tener pendientes adecuadas para minimizar los efectos de la erosión y simultáneamente evacuar las aguas de lluvia en forma efectiva.

Sistema de impermeabilización: Conjunto de materiales naturales o sintéticos que se utilizan para la cobertura del fondo y las superficies laterales del relleno. Los recubrimientos suelen ser de arcilla compactada, y/o geomembranas sintéticas. El objetivo de la impermeabilización es prevenir la migración de lixiviado y del gas del relleno.

Gas del relleno: Es la mezcla de los gases que se encuentran dentro de un relleno. La mayor parte del gas está formada por metano y dióxido de carbono (productos principales de la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica de los residuos) y otros componentes tales como: nitrógeno, amoníaco y trazas de compuestos orgánicos.

Gestión de gases del relleno: Comprende el control del movimiento de los gases del relleno de modo tal de reducir las emisiones atmosféricas, minimizar la salida de emisiones olorosas, minimizar la migración subsuperficial del gas y permitir la recuperación de energía a partir del metano. La gestión incluye los sistemas de captación, extracción, transporte y tratamiento de los gases. Las metodologías de tratamiento utilizadas son quemado o incineración de los gases o su utilización para la producción de energía en forma de electricidad o calor (MDL – Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio)

Lixiviado: Es el líquido que se acumula en el fondo del relleno. Se genera lixiviado debido a la precipitación que entra dentro del relleno, al agua contenida en los residuos y a la infiltración de agua subterránea.

Gestión de Lixiviados: Es la clave para la eliminación del potencial que tiene el relleno para contaminar los acuíferos subterráneos. La gestión comprende los sistemas de impermeabilización, los sistemas de extracción y recolección de los líquidos lixiviados y el tratamiento de éstos. Las alternativas que se utilizan para el tratamiento del lixiviado, incluyen: 1) Reciclaje o Recirculación del lixiviado dentro de las celdas; 2) Evaporación del lixiviado; y 3) Tratamiento.

Gestión de aguas pluviales: Comprende el control del movimiento del lixiviado, la gestión de las aguas superficiales, que incluyen la lluvia, escorrentía, arroyos intermitentes y manantiales artesianos. Se utiliza una capa de cobertura con pendiente (3 al 5%) y de drenaje adecuado para las aguas pluviales, para el *control de la infiltración superficial*. El objetivo de eliminar o reducir la cantidad de agua superficial que entra en el relleno es de gran importancia para su diseño, dado el agua superficial es la mayor contribución al volumen total de lixiviado.

Instalaciones para el control: Incluyen sistemas de cobertura de fondo, sistemas de recolección y extracción del lixiviado, sistema de extracción y recolección del lixiviado y las coberturas, diaria y final.

Supervisión ambiental: Implica las actividades asociadas con la recolección y análisis de muestras de agua y aire, que se utilizan para supervisar el movimiento de gases y del lixiviado del relleno en la zona de operación.

Cierre del relleno: Es el término utilizado para describir los pasos que se deben seguir para cerrar y asegurar la zona del relleno una vez finalizado su período de operación.

Mantenimiento post-cierre: Se refiere a las actividades asociadas con la supervisión y mantenimiento a largo plazo del relleno cerrado (normalmente es de 30 a 50 años). Las actividades a realizarse son mantener las pendientes para asegurar la escorrentía superficial, mantener y operar los sistemas para el control de gases y lixiviado, y supervisar el sistema de detección de posible contaminación.

Control de entrada de residuos: El relleno sanitario debe contar con un sistema de inspección y control de los camiones que ingresan al predio a descargar, tanto particulares como municipales.

Reacciones que ocurren en el relleno sanitario: Los residuos sólidos dispuestos en relleno sanitario están sometidos a un número de cambios biológicos, físicos y químicos simultáneos. Los más importantes son:

- 1) la descomposición biológica de la materia orgánica putrescible, ya sea aerobia o anaerobia, con la evolución de gases y líquidos,
- 2) la oxidación química de materiales,
- 3) el escape de gases del relleno y la difusión lateral de gases a través del relleno,
- 4) el movimiento de líquidos producido por la diferencia de presiones,
- 5) la disolución y lixiviado de materiales orgánicos e inorgánicos por el agua y el lixiviado que se mueve a través del relleno,
- 6) el movimiento del material disuelto por gradientes de concentración y ósmosis
- 7) el asentamiento desigual producido por la consolidación del material en los vacíos.

Impermeabilización

Los sistemas de impermeabilización utilizados están compuestos por:

- Recompactación del material de la base de apoyo de la membrana en un espesor del orden de 0,50 m.
- Rodillado y perfilado del mismo.
- Colocación de membrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de 1.500 micrones de espesor (como mínimo).
- Cobertura de la misma con suelo seleccionado y compactado (aprox. 0,30 m de espesor)

La impermeabilización debe ser realizada en la totalidad del módulo a construir, abarcando el fondo de éste, bermas para la delimitación de sectores y taludes laterales. Debe ser realizada con una membrana impermeable geosintética del tipo flexible.

La membrana de impermeabilización a instalar debe ser de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1500 micrones de espesor, fabricado con materia prima virgen 100%, imputrescible y químicamente inerte, con un ancho mayor a 4 metros. Los paños de membrana se deben colocar sobre la superficie de fondo de cada celda debidamente preparada. Se procederá al solapamiento de las mismas en aproximadamente 0,15 m a fin de poder ejecutar la soldadura de los paños. Se debe inspeccionar su estanquidad.

Una vez soldados los paños convenientemente se debe proceder a cubrir los mismos con una capa de 0,30 m de



suelo de préstamo especialmente seleccionado, libre de elementos cortantes y/o punzantes para su protección.

Gestión de gases del relleno

Los gases encontrados en rellenos sanitarios incluyen: aire, amoníaco, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, ácido sulfhídrico, metano, nitrógeno y oxígeno. El dióxido de carbono y metano son los gases principales producidos de la descomposición anaerobia de los componentes de los desechos orgánicos.

Los gases producidos por la descomposición de los residuos dispuestos deben ser venteados, para ello se realiza la construcción de conductos convenientemente distribuidos en los módulos (en los puntos de mayor cota final del módulo relleno y cubierto). Estos conductos deben ser contruidos con cañerías ranuradas de PVC de diámetro 0,10 m. Deben estar perforados convenientemente para permitir la colección, transporte, venteo y monitoreo, producto de la estabilización biológica de los residuos.

La forma de construcción de los tubos de venteo, se debe realizar alcanzada la cota final de diseño de la celda, mediante la excavación de los residuos sólidos generando un perforación tronco-cónica vertical, hasta una profundidad proporcional al tirante de residuos, que permita la captación uniforme de los gases. Se estima que se deben colocar más de 10 tubos para monitoreo de gases por cada hectárea rellena.

El gas de relleno se puede evacuar mediante la utilización de sistemas de drenaje activo o pasivo. El drenaje activo consiste en la succión del gas mediante un soplador. Cuando se hace el drenaje pasivo, se controla la difusión natural de los gases, con el fin de evacuarlos solamente por los orificios previstos. Se logra una mayor eficiencia con el drenaje activo, sin embargo los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos.

El gas de relleno se puede quemar en antorchas, o se puede instalar sistemas que lo reutilicen de una forma más productiva. Existen varias posibilidades para su reutilización, se puede inyectar a una red de gas urbano o de ciudad, se puede generar energía eléctrica, se puede utilizar para generar vapor para procesos productivos, o en una combinación de calor y energía.

Monitoreo ambiental

Los objetivos del monitoreo ambiental de un relleno sanitario son:

- Controlar el comportamiento de los sistemas de protección contra las eventuales contingencias que pudieran producir la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y la migración de gases.
- Seguir la evolución del relleno desde sus comienzos hasta su cierre.

Para ello, se debe llevar a cabo un **Programa de Control Ambiental**, que incluya las siguientes actividades:

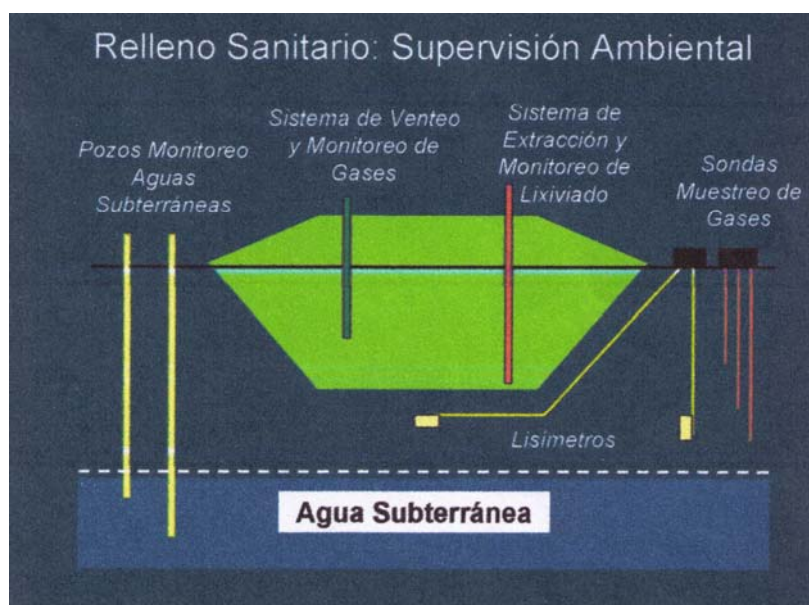
Control de vectores y olores: Se debe realizar un programa para el control de roedores y vectores mediante el empleo de cebos en todas las áreas del relleno sanitario (balanza, oficinas, vestuarios, etc.), como así también en sectores aledaños a las celdas. Asimismo, se deben realizar desratizaciones y desinsectaciones periódicas.

Para el control de olores, se debe prever la realización de coberturas diarias e intermedias, de modo tal de minimizar los niveles de olor que puedan producirse por la operación del relleno.

Monitoreo de placas de asentamiento: A efectos de controlar asentamientos del terreno, se deben instalar placas de asentamiento sobre la cobertura, al alcanzar la cota final. Se deben colocar una cada dos hectáreas o fracción, preferentemente en las zonas con mayor cota de residuos, debiendo realizarse la nivelación al instalarlas y posteriormente con una frecuencia mensual.

Monitoreo de aguas subterráneas: Se deben construir pozos de monitoreo de las aguas subterráneas, de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas de la zona, en puntos aguas arriba y aguas abajo del relleno sanitario. Estos deben integrar la red de monitoreo permanente de aguas. Se deben construir como mínimo 4 (cuatro) pozos de monitoreo, los cuales se deben ubicar dentro de los límites del predio del relleno sanitario. Estos deben estar ubicados según los estudios hidrogeológicos realizados preliminarmente, 2 (dos) aguas arriba del área de disposición y 2 (dos) aguas abajo de ésta.

Control de Entrada de Residuos: Se debe realizar la verificación e inspección de las cargas transportadas por generadores particulares, previo a autorizar la descarga de éstos al relleno. Esta inspección se debe llevar a cabo, previo a su pasaje por la báscula de pesaje. Por otra parte, a los camiones recolectores municipales les deben ser inspeccionadas sus cargas, en forma aleatoria, de modo de evitar descargas clandestinas o no autorizadas (entre otros residuos patógenos y peligrosos).



Controles ambientales en un relleno sanitario

2 - ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS

Introducción

Históricamente se han empleado sistemas de incineración y aprovechamiento térmico de los residuos. Así, algunas personas aún recuerdan la imagen de quemar los desperdicios de la casa en lo que entonces se llamaba la cocina *económica*, que

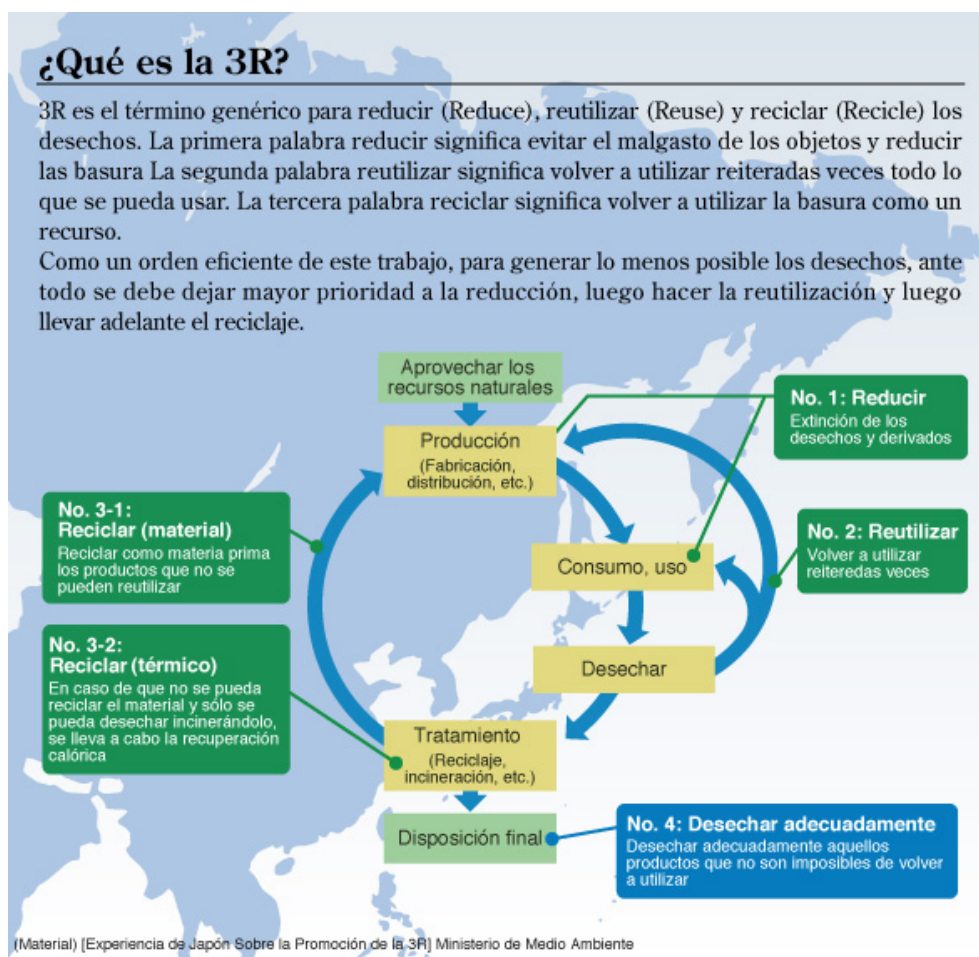
funcionaba con carbón, y que muchas veces tenían adosado un horno para hacer pan.

A medida que la sociedad se fue haciendo cada vez más urbana han variado las costumbres adaptándose a las nuevas necesidades de consumo. Con lo que también se ha modificado la composición de la bolsa de basura. Hoy en día ya no tiene cabida esa gestión individual de los residuos en el hogar por su composición, por las implicaciones ambientales e incluso por la propia configuración de las cocinas modernas.

Cuando la cantidad de residuos que se producía en los hogares de las ciudades empezó a representar un problema se organizaron los servicios municipales de recogida y limpieza, siendo los vertederos en general el primer destino que tuvieron dichos residuos. Rápidamente empezó a aparecer un nuevo problema, la quema de las basuras, unas veces voluntario y otras de forma no deseada (muchas veces esto ocurría como consecuencia de la combustión espontánea de los residuos debido a la fermentación de la materia orgánica de los residuos).

Luego empezaron a construirse instalaciones dedicadas específicamente a la incineración de las basuras como sistema de eliminación. Durante años la incineración ha representado una práctica habitual para el tratamiento de los residuos. En Europa los primeros antecedentes datan de 1876 en Gran Bretaña, pero fue en la segunda mitad del siglo XX cuando se produjo un fuerte incremento del número de plantas de incineración de residuos sólidos urbanos.

Hace ya un tiempo que las políticas ambientales conceden la máxima prioridad a la prevención de los residuos, es decir, a la no generación seguida de su reutilización, reciclaje y valorización; dejando para el último lugar su eliminación segura. Muchas políticas en todo el mundo priorizan la llamada minimización, también conocida como 3R, reducción-reciclaje-recuperación.



Da la sensación de que estas medidas han sido más voluntaristas que efectivas, pues cada año sigue aumentando la cantidad de residuos que se generan por habitante y por día. Salvo casos aislados como en Japón donde a partir de fuertes políticas y campañas educativas han logrado bajar los porcentajes a partir del año 2000.

En Europa el país que se destaca por la valorización energética de los residuos es Dinamarca, donde se tratan mediante procesos de incineración el 58% de los residuos municipales que se generan.

Las malas actuaciones en la quema y en la incineración de residuos sin las debidas precauciones, trajo consigo una mala imagen de este sistema de eliminación, así como una fuerte oposición social a las infraestructuras de este tipo. No obstante el desarrollo tecnológico ha sido muy fuerte en este campo especialmente en lo referente a los sistemas de depuración de gases y al control de la contaminación.

Sistemas de recuperación de energía a partir de los residuos

Entre los principales sistemas de aprovechamiento energético de los residuos municipales, se pueden citar los siguientes:

- Incineración con recuperación de energía
- Co-incineración en procesos industriales a altas temperaturas
- Biometanización
- Desgasificación de rellenos sanitarios
- Procesos basados en la generación de plasma
- Incineración catalítica
- Gasificación
- Pirólisis
- Termólisis
- Incineración electroquímica.

Recuperación de energía a partir de la incineración de los RSU

Como se ha dicho la incineración ha sido históricamente el primer sistema para aprovechar la energía contenida en los residuos. Esta incineración es una combustión controlada en la que el elemento combustible es el propio residuo.

La incineración es en la actualidad el tratamiento más usual de destrucción térmica de los RSU y consiste en un proceso de combustión en medio oxidante a una temperatura de 850-1100 °C. Como ya se dijo con la incineración se pueden alcanzar porcentajes de reducción del 85 al 90% del volumen y del 70 al 75% de su peso original.

La eficacia de la incineración como forma de tratamiento de residuos descansa fundamentalmente en la posibilidad de realizar las diferentes reacciones químicas de forma que los productos de reacción sean moléculas sencillas y se minimice la formación de productos de combustión incompleta, ya que éstos suelen tener características tóxicas y son un índice de que la reacción no se ha llevado a cabo de forma controlada.

Además del exceso de aire, los parámetros que se utilizan como indicadores externos de la calidad del proceso de destrucción son: la **temperatura mínima** de combustión y el **tiempo de permanencia** a esta temperatura mínima. Un tercer parámetro a considerar es la **turbulencia**, que facilitaría la adecuada interacción entre moléculas.

Cabe señalar que la incineración puede realizarse en dos tipos de instalaciones:

- Las diseñadas específicamente para la destrucción de residuos (el objetivo principal es el tratamiento de los residuos)
- Instalaciones diseñadas para otros fines que por sus características pueden ser usadas en el tratamiento de residuos (por ejemplo: cementeras, ciertas centrales térmicas, etc.). Aquí se persigue la reducción del costo energético mediante la sustitución de los combustibles tradicionales por residuos.

Para poder ser destruido mediante incineración el residuo, o al menos sus principales componentes peligrosos, deben ser combustibles.

Características y poder calorífico de los RSU

Las propiedades químicas de los residuos urbanos son factores condicionantes para algunos procesos de recuperación y tratamiento final. El poder calorífico es esencial en los procesos de recuperación energética, al igual que el porcentaje de cenizas producido en los mismos. Otras características como la eventual presencia de productos tóxicos, metales pesados, contenido de elementos inertes, etc., son informaciones muy útiles para diseñar soluciones adecuadas en los procesos de recuperación y para establecer las adecuadas precauciones higiénicas y sanitarias.

- **Composición química:** Como consecuencia de la enorme variabilidad que experimenta la composición de los residuos sólidos urbanos, la composición química resultante de su conjunto también es muy variable. Es necesario conocer la composición de un residuo concreto para determinar sus características de recuperación energética y la potencialidad de producir fertilizantes con la adecuada relación carbono/nitrógeno. También es conveniente conocer la presencia y concentración de residuos tóxicos y peligrosos para evaluar el riesgo que su manejo, tratamiento, reprocesado y reutilización, puedan aportar a la salud humana y al medio ambiente. Arsénico, cadmio, mercurio, antimonio, disolventes clorados, elementos con características de inflamabilidad, corrosividad, reactividad, ecotoxicidad, toxicidad o cualidades cancerígenas, mutagénicas o teratológicas, suelen estar presentes en los residuos urbanos, normalmente procedentes de actividades industriales y hospitalarias.
- **Poder energético.** Las propiedades calorimétricas de los residuos urbanos son los parámetros sobre los que se diseñan las instalaciones de incineración y de recuperación energética. Su valoración, fruto de la propia variabilidad de la composición, viene marcada por el poder calorífico de cada producto.

En términos generales, puede indicarse que el poder calorífico de la totalidad de los residuos sólidos urbanos está entre 1.500 y 2.200 kcal/kg.

Otro valor que interesa conocer es la temperatura a la que se funden y solidifican las cenizas de la combustión de estos materiales.

CONTENIDO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS			
Componentes	PCI en Kcal/Kg		Cenizas y otros rechazos en %
	Variación	Típico	
Residuos de comida	600-800	700	8
Madera	4.000-5.000	4.600	2
Papel y cartón	2.400-4.000	2.500	12
Plásticos	6.200-7.200	6.600	3 ¹
Textiles	3.000-4.000	3.400	6 ¹
Vidrio			98
Metales			98

Nota: Valoración sobre base seca.

Fuente: Gestión integral sobre los residuos sólidos

Pueden aparecer subproductos de la incineración como resultado de una combustión incompleta, o bien de la combustión de componentes presentes en los residuos del aire de combustión. Uno de los productos más controvertidos y con previsible incidencia en la salud humana y el medio ambiente son las dioxinas³, que son sustancias resultantes de la combustión de muchos materiales en determinadas circunstancias (no sólo de los residuos).

Pueden distinguirse tres orígenes principales de las dioxinas en los procesos de incineración de residuos:

- Existencia previa de dioxinas en los residuos.
- Producción de dioxinas como consecuencia de la incompleta incineración de los mismos.
- Formación de dioxinas por la recombinación de radicales libres en el sistema de enfriamiento de los gases (en un rango de temperaturas de 200 a 340 °C) a pesar de que la incineración haya sido correcta.

Por esa razón se han desarrollado sistemas de depuración de gases con un desarrollo tecnológico muy alto.

Descripción general del proceso

Como se ha dicho, los incineradores actuales poseen un sistema de recuperación de energía para reducir los costos de operación.

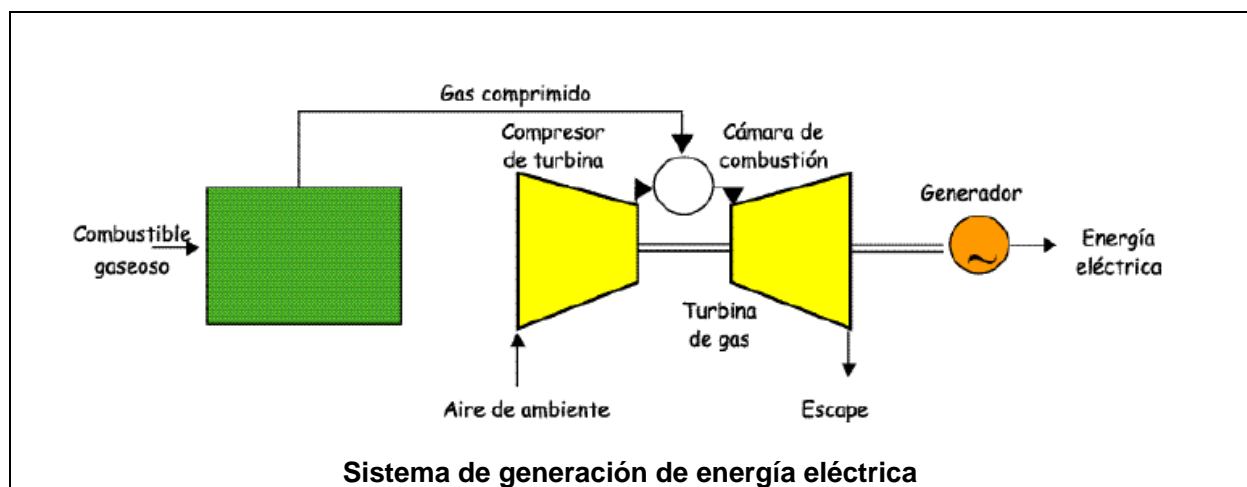
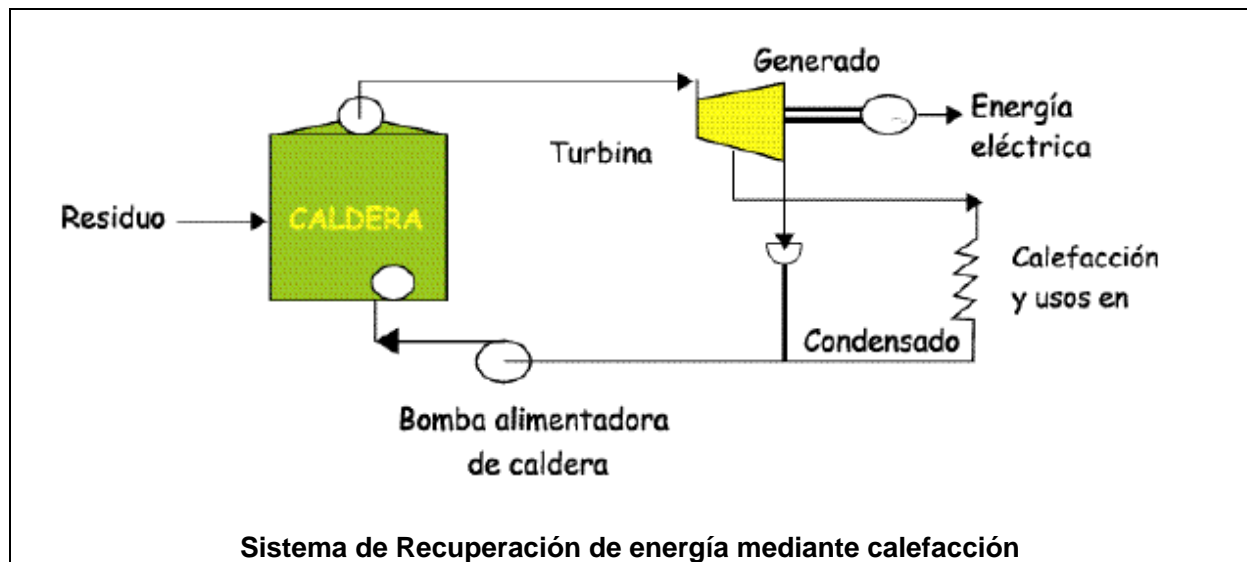
Esta energía puede recuperarse de los gases calientes de chimenea generados por la incineración de RSU procesados o no seleccionados, mediante dos métodos:

- Uso de una cámara de incineración de pantalla de agua
- Uso de calderas de calor procedente de residuos

Los sistemas pueden generar:

- Agua caliente: Se puede utilizar para calefacción
- Vapor: Se puede utilizar para calefacción o para generar energía eléctrica

³ *Dioxina* es un nombre colectivo de 75 dibenzo-p-dioxinas policloradas diferentes. Estos compuestos pueden ser sustancias de extrema toxicidad para algunas especies animales. La forma más común, la 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD) ha sido reconocida como probablemente la más venenosa de todas las sustancias químicas sintéticas. Son un subproducto contaminante capaz de generarse térmicamente durante la fabricación o la combustión de clorofenoles; plagicidas como el 2,4,5-T o agente naranja, un desfoliador utilizado en Vietnam; herbicidas para controlar algas, insecticidas y preservativos. Las dioxinas no se fabrican con alguna finalidad comercial, sólo existen como subproducto contaminante. Hasta la fecha no se ha encontrado que en el ambiente se forme alguna dioxina en forma natural.



El proceso comienza con la recepción de los residuos que se depositan en foso cerrado y sometido a depresión para evitar los malos olores. Del mencionado foso y mediante la utilización de un *pulpo*, se introducen selectivamente los residuos en el sistema automático de alimentación. Una vez que el residuo está dentro del horno, primeramente se produce su secado para posteriormente realizarse la combustión del mismo. Como consecuencia de esta combustión se producen: unos residuos sólidos llamados escorias que se extraen por la parte inferior del horno; y una corriente caseosa que se introduce en la cámara de post-combustión donde, sometida a 850 °C durante al menos dos segundos y con exceso de oxígeno respecto de las condiciones estequiométricas, se destruyen todos los compuestos indeseables y se oxida completamente todo el carbono que ha llegado en esa corriente gaseosa.

El calor que llevan los gases a la salida de la cámara de post-combustión, se puede aprovechar para calentar agua, procesos industriales o generar vapor, es decir que se utiliza como calefacción o como un generador de vapor para usos industriales o para generar energía eléctrica mediante un conjunto de turbina de vapor y alternador.

Por último, antes de emitir a la atmósfera los gases -de los que se ha recuperado buena parte del calor que portaban- se someten a un proceso de depuración, de forma que no se produzcan procesos de dispersión de contaminación de un medio a otro.

Aprovechamiento energético de los gases generados en Rellenos Sanitarios

El **relleno sanitario**, como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, es una práctica muy difundida en el mundo para disponer de los residuos sólidos en las grandes ciudades. Esta técnica para la disposición de los residuos ha evolucionado incluyendo modernas técnicas de extracción y purificación del gas metano generado en los mismos. Este fenómeno en décadas pasadas generaba graves problemas, entre los cuales figuraba el ambiental, por muerte de la vegetación que se encontraba en las zonas cercanas, malos olores que molestaban a los vecinos y explosivas mezclas de gases que se acumulaban en los sótanos de la vecindad.

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

Efectivamente, el gas de relleno, una vez recolectado, puede usarse como combustible para la generación de electricidad, y luego distribuirse a través de la red local o hasta algún consumidor cercano.

Por otro lado la utilización de este biogás como fuente de energía se presenta como una alternativa adicional de reducción de emisiones de GEI (*Gases de Efecto Invernadero*). En la medida que el metano capturado en un relleno sanitario es utilizado para generar energía que se incorpora a la matriz energética, esta podría reemplazar fuentes más contaminantes que emiten GEI, lo que produciría reducciones adicionales a la mera captura del biogás.

El contenido de metano en el biogás de los rellenos decae en el tiempo, disminuyendo su proporción desde 40-60% en los primeros años hasta 25-45% en los años finales. La duración y tasas de producción de gas varían en el tiempo dependiendo del proceso de degradación natural de los RSU en cada relleno. La vida útil de los sistemas de recolección de biogás puede ser bastante larga (15 años o más), sin embargo la utilización económicamente eficiente de estas instalaciones normalmente se puede sostener sólo entre 3 y 8 años.

Existen varias tecnologías para la generación de energía del biogás: microturbinas, motores de combustión interna, turbinas a gas, ciclo combinado, turbinas a vapor de caldera.

Adicionalmente, existe una serie de tecnologías experimentales para aprovechar tanto el dióxido de carbono como el gas metano generado en los rellenos sanitarios:

- Uso de celdas de combustible de ácido fosfórico (PAFCs) para la generación de energía eléctrica y calor.
- Conversión del metano en gas comprimido para su uso en vehículos.
- Utilización del metano para evaporar los líquidos lixiviados y condensados del biogás.
- Producción de metanol.
- Producción de CO₂ industrial.
- Uso del biogás para calefacción de invernaderos y para aumentar su contenido de CO₂.

El motor de combustión interna es la tecnología más utilizada en rellenos sanitarios para la recuperación energética del biogás. Este tipo de motores son eficientes y más baratos que otras alternativas, y se recomiendan para aquellos proyectos capaces de generar entre 1 y 3 MW. Además, tienen la ventaja de que se encuentran disponibles en diferentes tamaños los que pueden irse adicionando al sistema respondiendo a los incrementos en la generación de gas.

Si bien se consigna que la oferta de generadores para proyectos de este tipo varía entre los 800 kW y los 3MW, hoy en día proyectos menores también estarían utilizando motores de combustión interna. La EPA señala que hoy en día se pueden instalar microturbinas desde 30 kW a 100 kW, lo que hace posible que rellenos sanitarios pequeños también puedan generar energía eléctrica y reducir emisiones. Este tipo de proyectos normalmente se utiliza para autoconsumo del relleno o para vendérselo a consumidores cercanos (una turbina de 30 kW alcanzaría para alimentar el equivalente a 20 casas). Sin embargo, la inversión requerida para estas turbinas es bastante alta.

La combustión directa del biogás es una buena forma de recuperar energía del biogás – normalmente un 80% del valor calorífico del metano puede ser recuperado. Quemar el biogás es similar a quemar gas natural diluido, por lo que probablemente se deben hacer ajustes para adaptarse al menor poder calorífico del biogás.

Bibliografía:

- Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. OPS – OMS (2003),
- Estrategia para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU) (2005) - Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable – Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación
- Instituto de ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, (2003), Gestión de los Servicios de Higiene Urbana: El Caso de la Ciudad de Buenos Aires, Instituto de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.
- Ley de Presupuestos Mínimos sobre Residuos Sólidos Domiciliarios – Ley 25916.
- Polprasert Chongrak (1996), Organic Waste Recycling, Second Edition, Wiley.
- Robinson William (1986), The Solid Waste Handbook, John Wiley & Sons.
- Tchnobanoglus, G. (1977), Gestión Integral de los Residuos Sólidos, Mc Graw-Hill.
- Tchnobanoglus, G. (1994), Gestión Integral de los Residuos Sólidos: Principios de Ingeniería y Aspectos de la Gestión, Mc Graw-Hill.
- University of Wisconsin (2002), Solid Waste Landfills Correspondence Course, Madison, USA
- JICA, Experiencia de Japón: gestión de desechos sólidos.
- Martínez Centeno, L.M. (2002). Incineración de residuos sólidos urbanos. Master en gestión y administración ambiental. Fundación Biodiversidad. Madrid, España.