



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS
"CAMILO CIENFUEGOS"
FACULTAD DE INGENIERIAS QUÍMICA – MECANICA.**

MONOGRAFÍA

GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Dra. Lourdes Yámen González Sáez.

Dra. María del Pilar Almeida Galbán.

Centro de Estudios de Medio Ambiente de Matanzas.

Noviembre, 2007

TÍTULO: GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.

AUTORES: Dra. Lourdes Yámen González Sáez. lourdes.gonzalez@umcc.cu

Dra. María del Pilar Almeida Galbán. pilar.almeida@umcc.cu

Centro de Estudios de Medio Ambiente de Matanzas. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Cuba. Autopista a Varadero, Km 3½.

RESUMEN.

Residuos Sólidos son todos los residuos que surgen de las actividades humanas y animales, que normalmente son sólidos y que se desechan como inútiles o no queridos. Por sus propiedades intrínsecas, los materiales de los residuos desechados a menudo son reutilizables y se pueden considerar como un recurso en otro aspecto. Gestión integrada de residuos sólidos es el término aplicado a todas las actividades asociadas con la gestión de los residuos dentro de la sociedad. La meta básica de la gestión integrada de residuos sólidos es gestionar los residuos de la sociedad de una forma que sea compatible con las preocupaciones ambientales y la salud pública, y con los deseos del público respecto a la reutilización y reciclaje de materiales residuales.

INTRODUCCIÓN.

Uno de los problemas fundamentales que afectan en la actualidad a los asentamientos poblacionales a escala mundial, lo constituye el incremento de los niveles de generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y las dificultades para su manejo se agudiza en las medianas y grandes ciudades por las elevadas densidades y tasas de crecimiento poblacional, por la intensidad de actividades económico-sociales y por el acelerado desarrollo industrial y urbano en general. Junto con el desarrollo industrial, el confort y la facilidad se convierten en la palabra de orden de los ciudadanos, lo cual genera la presencia de residuos menos biodegradables, y en mayor cantidad en masa y volumen (Abo *et al.*, 2000).

El manejo inadecuado de los RSU provoca efectos de contaminación en las zonas urbanas como consecuencia de una incorrecta organización, recolección, clasificación y disposición final, así por la ausencia de estrategias de minimización, reuso y reciclaje, que considere criterios económicos, técnicos y de carácter social; estas dificultades constituyen un riesgo permanente que atenta contra la salud del hombre y el medio ambiente en general (Abo *et al.*, 2000).

El vertedero tradicional, donde se echan todo tipo de residuos en cualquier excavación u hondonada, asegura la mineralización final de la basura orgánica a un alto coste, en cuanto a dispersión de contaminantes, suciedad y riesgo de incendios. Las aguas pluviales se encargan de dispersar los contaminantes: arrastran gérmenes patógenos y disuelven sales de los

residuos (lixiviación), y si el vertedero no se asienta en un terreno totalmente impermeable, la contaminación afecta también las aguas freáticas. El viento desparrama papeles y plásticos por las cercanías y, a veces, lleva los gases del vertedero (biogás, ácido sulfhídrico) hacia las poblaciones, mientras la basura orgánica atrae insectos y roedores. El riesgo de incendio proviene de la temperatura de fermentación o putrefacción que, a menudo, permite la inflamación de los gases. (Lys, 2005)

El objetivo básico de la gestión de RSU es alcanzar una armonía entre la estabilidad ambiental, la protección de la salud y las necesidades y conducta de la población.

DESARROLLO

1.1. Problemática Ambiental de los residuos sólidos.

Formados por todos los residuos desechables que provienen de actividades humanas y animales, los residuos sólidos son una consecuencia de la vida. La supervivencia y evacuación de los residuos sólidos tienen sus antecedentes desde los días de la sociedad primitiva y, debido a que las poblaciones eran pequeñas y los terrenos, disponibles para la asimilación de los residuos, grandes, el problema de evacuación de los residuos humanos no era significativo. Pero cuando los hombres empezaron a agruparse en tribus, aldeas y comunidades, la acumulación de los residuos ya era una problemática preocupante por el hecho de que el arrojo de los residuos por las calles propiciaba la reproducción de ratas con sus respectivas pulgas, la aparición de epidemias acompañadas de altos índices de mortalidad que mataron a muchos europeos del siglo XIV. No fue hasta el siglo XIX que los funcionarios públicos empezaron a darse cuenta de que había que recoger y evacuar de forma sanitaria los residuos de comida con vista a controlar a los



roedores y a las moscas. Así, fue demostrado que las ratas, moscas y otros transmisores de enfermedades se reproducen en vertederos incontrolados, tanto en viviendas mal construidas o mal mantenidas, en instalaciones de almacenamiento de comida y todos otros lugares donde hay comida y cobijo para ratas e insectos (Tchobanoglous, 2002; Lund, 1996)

Los seres humanos no fueron las únicas víctimas de la gestión inapropiada de los residuos porque también se han dado a conocer fenómenos ecológicos como la contaminación del aire y del agua. El líquido de basureros y vertederos mal diseñados ha contaminado las aguas superficiales y subterráneas, así como los gases de escape de los vertederos, el aire. La naturaleza tiene la capacidad de diluir, extender, degradar, absorber; pero debido a la irreversibilidad de los procesos que ocurren en ella, los desequilibrios ecológicos producidos se agudizaron y se ha excedido la capacidad de asimilación natural (Tchobanoglous, 2002).

La sociedad tecnológica sustituyó a las sociedades primitivas y medievales, sin embargo, la amenaza de los daños medioambientales que puede provocar una gestión inadecuada de los residuos sólidos sigue siendo la misma por lo que, junto a los beneficios de la tecnología, está asociado el problema de evacuación de los residuos resultantes. La generación de residuos tiene lugar desde el principio de todo proceso tecnológico, el flujo aumenta en cada etapa del proceso hasta la elaboración final del producto de consumo, por lo cual se plantea que una de las mejores maneras de reducir la cantidad de residuos es limitar el consumo de materias primas y a la misma vez, incrementar la tasa de recuperación y reutilización de los materiales residuales (Tchobanoglous, 2002; Lund, 1996).

Ya en 1906, H. de B. Parsons citado por Tchobanoglous (2002), en su libro Evacuación de Basuras Municipales, habló de alguna manera de la gestión de los residuos sólidos al plantear que “para lograr un adelanto concreto en la evacuación sanitaria de los residuos, había que describir las características de las diferentes clases de residuos, buscar un método uniforme de nomenclatura y de registro de las cantidades manipuladas en cada ciudad”. Sin embargo no fue hasta principios de los años treinta que, la gestión inteligente de los residuos sólidos llamada también "vertido sanitario controlado", empezó en el Reino Unido y una década después en los Estados Unidos. Hasta entonces los métodos de evacuación final de los residuos sólidos más frecuentemente utilizados eran: vertido en tierra, vertido en agua, enterrar arando el suelo, alimentación para los cerdos, reducción e incineración.

La gestión de residuos sólidos se define como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de los residuos de una forma que armonice con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas (Tchobanoglous, 2002).

Los residuos sólidos se generan desde el principio del proceso empezando con la minería de la materia prima, de allí en adelante se irán produciendo en cada paso del proceso a medida que la materia prima se convierte en los bienes de consumos.

Los grandes actores involucrados en el proceso de generación de residuos sólidos son:

- Los productores, que transforman la materia prima de la naturaleza en bienes de consumo.
- Los intermediarios, que mediante la comercialización, participan en la forma de presentación de bienes y servicios.
- Los consumidores que constituyen la población objetivo del proceso productivo.

Estos últimos tienen la posibilidad de influenciar o condicionar su compra en el mercado mediante sus preferencias, hábito de consumo y conciencia ambiental.

1.2. Clasificación de los Residuos Sólidos.

Existen múltiples clasificaciones de los residuos. El conocimiento de los orígenes y los tipos de residuos sólidos, así como los datos y las tasas de generación son aspectos básicos a tener en cuenta para el diseño y operación de los elementos funcionales asociados a la gestión de los residuos sólidos.

La clasificación de los residuos sólidos se realiza teniendo en cuenta varios criterios: según su procedencia y el riesgo que implican para la salud humana y el entorno en general.

Según Urdiales (1999) los residuos sólidos se clasifican de acuerdo a su naturaleza, en:

- **Residuos inertes:** escorias, cenizas y materiales estériles procedentes de las industrias y la minería.
- **Residuos fácilmente valorizables:** aquellos que no representan toxicidad ni agresividad para el medio ambiente y, en cambio, se pueden valorizar (reutilización, reciclado, compost, biogás y otros).
- **Residuos tóxicos y peligrosos:** aquellos que requieren un tratamiento específico y un mejor control en su manipulación, almacenamiento y transporte (Urdiales, 1999).

De acuerdo a su origen o procedencia, se clasifican en:

- **Residuos Sólidos Urbanos (RSU):** Aquellos que se originan en la comunidad exceptuando a los residuos de procesos industriales y los residuos agrícolas. Se originan de la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos. En países desarrollados donde se ha incrementado el uso de embases y papeles así como la cultura de "Usar y Tirar", se ha extendido el concepto a todos los bienes de consumo, las cantidades de basuras que se generan ha ido creciendo hasta llegar a cifras muy elevadas.
- **Residuos domésticos:** Son los que provienen de las viviendas aisladas o edificios multifamiliares
- **Residuos comerciales:** Son los que provienen de las tiendas restaurantes, mercados edificios de oficinas, hoteles, imprentas, talleres mecánicos.

Estos dos últimos pueden a su vez divididos en:

1. Fracción orgánica: Formados por materiales como residuos de comida, cartón, papel de todo tipo, plásticos, textiles, goma, cuero, madera , residuos de jardinería etc.

2. Fracción inorgánica: Formada por materiales como vidrio, cerámica, metales féreos, latas, aluminio.

Debe decirse también que dentro de los Residuos domésticos y comercial pueden encontrarse los artículos voluminosos, electrodomésticos de consumo, productos de líneas blancas, baterías, aceites y neumáticos.

Se les llama artículos voluminosos a los artículos gastados o rotos como muebles, lámparas, gabinetes de archivos y otros artículos similares.

Los electrodomésticos de consumo son aquellos artículos gastados o rotos tales como radios, equipos de músicas, televisores etc.

Los productos de línea blanca son grandes electrodomésticos como cocinas, refrigeradores, lavadoras etc.

- **Residuos de origen institucional:** Son los provenientes de escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales.

Excluyendo los residuos de fabricación de las cárceles y los residuos sanitarios de los hospitales, los residuos generados en estas instalaciones son muy semejantes a los domésticos y comerciales.

En la mayoría de los hospitales los residuos son manipulados y procesados separadamente de otros residuos sólidos ya que pueden propagar enfermedades y el tratamiento normal es la incineración que permite la eliminación de los microorganismos.

- **Residuos de construcción y demolición:** Son los provenientes de las obras de construcción, remodelación y arreglos de viviendas, edificios comerciales y otras estructuras. Las cantidades generadas son difíciles de estimar. La composición es variable pero puede incluir, hormigón, ladrillos, escayola (yeso), y piezas de plomería, de fontanería, de electricidad entre otras.
- **Residuos Industriales:** Son aquellos generados por los distintos sectores industriales (química, papel, textil, alimentación e industrias metálicas). Son todos aquellos productos y sustancias de desechos derivada de los procesos de producción industrial y/o limpieza de las instalaciones y que no tiene en la mayoría de los casos valor económico.

Entre los residuos más comunes y peligrosos a nivel mundial están los producidos en el sector de la industria química y los constituidos por

desechos de los productos químicos y farmacéuticas utilizadas por el sector urbano.

La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, la calidad de la materia prima o productos intermedios, de las propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas en el proceso de los combustibles utilizados y de los envases y embalajes del proceso

- **Residuos Agrícolas, Ganaderos o Forestales:** Son aquellos residuos de biomasa vegetal generados por actividades agrícolas, forestales o procedentes de la ganadería, destacando entre ellos los estiércoles.

La mayor parte de estos residuos son de naturaleza orgánica: ramas, pajas, restos de animales y plantas etc. Muchos de ellos quedan en el campo y no son considerados residuos ya que contribuyen de manera muy eficaz a mantenerlos nutrientes del suelo.

Los residuos agrarios de acuerdo al sector donde se originan se clasifican en:

- Residuos agrícolas
- Residuos forestales
- Residuos ganaderos

Sector Agrícola:

La generación de residuos en este sector se puede agrupar por actividades:

- Explotaciones agrícolas: fertilizantes, productos agrosanitarios, residuos de cultivo.
- Industrias agrícolas: Son todos aquellos que transforman, conservan y manipulan productos procedentes de la agricultura, por ejemplo la industria cárnica, la industria láctea, la industria harinera.

Sector Forestal:

De igual manera sus residuos se agrupan de acuerdo a la actividad en:

- Explotación forestal:
 - Biomasa forestal resultante del mantenimiento de áreas forestales.
 - Restos de biomasa procedentes de cortes.

- Industria forestal:
 - Residuos de fábricas de celulosa y papel.
 - Restos de maderas, astillas serrines, cortezas etc.

Sector Ganadero:

Los residuos se según su origen en:

- Explotaciones ganaderas: excretas sólidas y líquidas, desinfectantes, antibióticos, detergentes, plaguicidas.
- Industrias ganaderas: residuales de la industria cárnica y láctea.
- **Residuos Sanitarios:** Son aquellos que generan establecimientos donde se desarrollan actividades de atención a la salud humana, hospitales, ambulatorios, laboratorios de análisis o de investigación.



- **Residuos Mineros:** Son aquellos que se generan producto a la actividad extractiva de metales.

1.2.1. Composición de los residuos sólidos urbanos (RSU).

Los residuos urbanos producidos por los habitantes comprenden:

- Basuras (grupo más voluminoso).
- Muebles y electrodomésticos.
- Embalajes y desperdicios de la actividad comercial.
- Restos del cuidado de los jardines, limpiezas de las calles, etc.

Composición de la basura:

- Materia orgánica: restos procedentes de la limpieza, de la preparación de los alimentos, comidas sobrantes etc.
- Papel y cartón: Periódicos, revistas, materiales de publicidad, cajas y embalajes, etc.
- Plásticos: Botellas, bolsas, embalajes, platos, vasos y cubiertos desechables, etc.
- Vidrios: frascos, vajillas, etc.

- Metales: latas, utensilios de cocinas, etc.
- Otros.

Como consecuencia de la industrialización se reporta que en los países desarrollados entre los residuos urbanos el mayor porcentaje lo ocupa los residuos de papel y cartón representando un tercio de la basura, seguido por la materia orgánica. En cambio para los países en vía de desarrollo el mayor por ciento de los residuos esta representado por materia orgánica, y en menor por ciento los plásticos, vidrios y metales.

1.3. Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Etapas Fundamentales.

Históricamente, el manejo de los residuos ha sido abordado una vez que estos han sido generados (post- generación) limitándose a encontrar un lugar de disposición final, y procurando evitar molestias para la comunidad, este enfoque es meramente reactivo.

La gestión inteligente de los residuos sólidos poniendo el énfasis en los vertederos controlados comenzó a principio de los años 1940 en EEUU y una década antes en el Reino Unido. Siendo California y Nueva York las ciudades pioneras en el vertido controlada para grandes urbes.

Actualmente los enfoques de la gestión integral de residuos, establece la necesidad de intervenir antes y después de la generación de los residuos, basados en el principio “preventivo”.

Para diseñar y poner en práctica un plan de residuos sólidos efectivos, es necesario desarrollar una completa comprensión de las diferentes unidades y puntos del proceso en el que se generan los residuos.

La gestión de residuos sólidos puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia, transporte, procesamiento y evacuación de los residuos sólidos, de forma que armonice con los mejores principios de la salud pública, de la economía y de consideraciones ambientales.

Se hace realmente necesaria la conciencia en nuestros estudiantes, futuros profesionales de la ingeniería de los procesos, de la necesidad de minimizar al máximo la generación de residuos sólidos en la actividad laboral al mismo tiempo que se educa a los mismos sobre la generación de residuos sólidos urbanos.

Generalidades sobre la gestión eficaz de los RSU.

El acelerado crecimiento y desarrollo de la sociedad actual, así como la concienciación que progresivamente esta creciendo en los ciudadanos, ha derivado paralelamente una mayor presión sobre el medio ambiente y en una sensibilización en el entorno que nos rodea. De tal modo hoy en día nuestras

necesidades se asientan en cuatro pilares: medioambiental, económico, técnico y social.

Por otro lado, las tendencias crecientes en los hábitos de consumo y las diferencias de nivel socioeconómico existentes entre los distintos países requieren una identificación adecuada de los residuos y unos sistemas de



gestión adaptados a las características climáticas, geológicas, hidrogeológicas u sociales de cada zona, a las técnicas de tratamiento disponibles y al tipo de residuo a tratar.

Debido a que la generación de residuos urbanos está alcanzando cotas preocupantes a nivel mundial, llegando a suponer cifras de 1kg/hab./día en América Latina, 1,5kg/hab./día en Europa y 2kg/hab./día en EEUU, se está promulgando Sistemas de Gestión

centrados en las siguientes premisas:

- Prevención y reducción en la generación de residuos.
- Implantación de la recogida selectiva en el origen (de fracciones reciclables previamente separadas), transporte y tratamiento posterior de las mismas.
- Reciclaje de componentes que no hayan sido gestionados por la recogida selectiva.
- Tratamiento y reprocesado de las fracciones aprovechables recogidas (vidrio, cartón, papel y envases) para su posterior puesta en el mercado.
- Tratamiento de las fracciones aprovechables mediante dos alternativas:
 1. Valorización energética.
 2. Vertido controlado, considerándose esta como última acción a tener en cuenta
- Captación y aprovechamiento energético del biogás de vertedero.
- Recogida y tratamiento de los lixiviados generados en los vertederos de residuos.
- Sellado, clausura e integración paisajística de los vertederos de residuos.

Sin embargo la creciente generación de residuos no es lo que más preocupa a ingenieros, proyectistas y gestores, sino las dificultades para ubicar emplazamientos adecuados para depositarlos, es decir, los inconvenientes asociados a la localización adecuada de depósitos de vertido controlado.



Las actividades asociadas a la gestión de los residuos sólidos desde la etapa de generación hasta la de evacuación final se agrupan en seis elementos funcionales, en los que se indican además, su función:

- **Generación de residuos:** actividad poco controlable, abarca las actividades en las que los materiales pierden todo tipo de

valor.

- **Manipulación, separación de residuos, almacenamiento y procesamiento en el origen:** segundo elemento en el sistema de gestión, es el conjunto de actividades que se realizan desde la generación hasta la colocación de los residuos en contenedores para su posterior procesamiento o tratamiento. Las etapas de separación y almacenamiento son muy importantes ya que el punto de generación es el mejor lugar que permita manipular los materiales para su posterior reutilización y reciclaje.
- **Recogida:** esta etapa no se limita a la simple recogida de los residuos sino que incluye también el transporte de ellos hacia el lugar de procesamiento o hacia el vertedero.
- **Separación, procesamiento y transformación de residuos sólidos:** estas actividades mediante las cuales se recuperan los materiales separados en el origen, se realizan fuera de la fuente de generación, generalmente en instalaciones de recuperación de materiales (IRM), estaciones de transferencia, instalaciones de incineración y lugares de evacuación. Frecuentemente, se realizan la separación de objetos voluminosos, la separación por componentes y por tamaño (vidrio, papel y cartón, plástico, metales férricos y no férricos), la reducción de tamaño y volumen, y la incineración. Los procesos de transformación se emplean para reducir el volumen y el peso de los residuos que van a evacuarse y para recuperar productos de conversión y energía.
- **Transferencia y transporte:** los residuos son transferidos desde un vehículo de recogida pequeño hasta un equipo de transporte más grande y luego se transportan hacia los lugares de procesamiento o evacuación, normalmente a través de grandes distancias.

- **Evacuación:** todos los residuos, sean residuos urbanos recogidos y transportados directamente a un lugar de vertido, o provenientes de instalaciones de recuperación de materiales (IRM), o rechazos de la combustión de residuos sólidos, o compost u otras sustancias de diferentes instalaciones de procesamiento de residuos sólidos, tienen como destino final la evacuación mediante vertederos controlados que no son más que instalaciones de ingeniería para la evacuación de los residuos sólidos en el suelo o dentro del manto de la tierra sin crear peligros para la seguridad y la salud pública a través de la proliferación de insectos y ratas y sin riesgo de contaminación de las aguas subterráneas (Tchobanoglous, 2002).

La evaluación y conexión entre los seis elementos funcionales mencionados anteriormente para lograr una mayor eficiencia y rentabilidad constituye la llamada "Gestión Integral de Residuos Sólidos" (GIRS). Por lo cual, Tchobanoglous (2002) define la gestión integral de residuos sólidos como la "selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos de gestión de residuos".

Según U.S Environmental Protection Agency (1989), la clasificación de las acciones en la implementación de la gestión de residuos o "**jerarquía de la gestión integral de residuos**" está formado por los siguientes elementos: *reducción en origen, reciclaje, incineración de residuos, y vertido.*

Tchobanoglous (2002), plantea una jerarquía similar pero sustituye al término de incineración del U.S Environmental Protection Agency por transformación.

La evolución de las formas de tratamiento los RSU hace que la incineración, con la desventaja de emisión de gases tóxicos a la atmósfera que presenta todavía se sigue practicando pero ya no es la mejor alternativa. La transformación ofrece grandes ventajas en la medida que, cuando se transforman los residuos sólidos, ya sea por compostaje, por digestión anaerobia o por fermentación, se obtienen subproductos utilizados como fuente de energía y como fertilizantes. Por otra parte, siempre y cuando se puede reutilizar los materiales reciclables de los RSU, no se practica el reciclaje, ahorrando así los gastos de procesamiento, por tanto el reciclaje y la reutilización conforman lo que se llama el reuso.

El sistema que se da a continuación es el sistema de jerarquía de GIRS, adoptado por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos:

- a) Reducción en origen: Reducción de la cantidad y/o toxicidad de los residuos generados. Está en el primer lugar porque es la forma más eficaz de reducir el residuo. Se puede realizar con la fabricación, diseño y envasado de productos con un material tóxico mínimo, volumen mínimo del material o vida útil más larga.
- b) Reciclaje.
 - Separación y recogida de materiales residuales.



- Preparación de estos materiales para reutilización, reprocesamiento y transformación de nuevos productos.



- La reutilización, reprocesamiento y nueva fabricación de productos.



c) Transformación de residuos.

Alteración química, física o biológica de los residuos, para mejorar la eficacia de las operaciones y sistema de gestión de residuos, para recuperar materiales reutilizables y reciclables y para recuperar productos de conversión y energía en forma de calor y biogás combustible.

- d) Vertido: Evacuación de residuos que no se reutilizan encima o dentro del manto de la tierra o en el fondo del océano. Implica la evacuación controlada de los residuos por las vías anteriores. Está en el último lugar de la jerarquía pues es la forma menos deseada por la sociedad de tratar los residuos.

1.3.1. Reducción en el origen.

En la interpretación amplia de la jerarquía de GIRS se consideran, la incineración y el vertido como dos alternativas viables de un programa de GIRS, mientras que la interpretación restrictiva plantea que solo se puede reciclar cuando se hayan reducido al máximo los residuos en el origen y de forma similar plantea que se debe transformar cuando se haya reciclado la



máxima cantidad de residuos. Por eso el rango más alto en la jerarquía GIRS es la reducción en el origen porque representa la forma más eficaz de reducir la cantidad de residuos, los costos de manipulación de ellos y el impacto ambiental provocados por los mismos. La reducción en el origen puede realizarse: a través del diseño de las instalaciones industriales, la fabricación y envasado de productos

con material tóxico mínimo, en las viviendas, a través de reutilización de productos y materiales.

1.3.2. Reciclaje

El "que hacer con los residuos" lleva a buscar métodos más viables en la línea del desarrollo sostenible. La última posibilidad que presenta el desarrollo sostenible para evitar el agotamiento de los recursos es el reciclado y la recuperación de los mismos. Este proceso presenta grandes ventajas como ahorro de suelo y energía, problemas de contaminación, ahorro de recursos y disminución de los residuos (Seoánez, 2000).

Lund (1996) plantea que hoy en día el reciclaje se entiende como "una estrategia de gestión de residuos sólidos, es un método de igual utilidad que

el vertimiento o la incineración y en la actualidad es el método de gestión de residuos sólidos ambientalmente preferible".

Para poder planificar la gestión eficiente y eficaz de los recursos y programas de reciclaje, se debe conocer la composición del flujo de residuales sólidos. La cantidad y la composición del flujo de residuales sólidos tienen un impacto directo sobre las tecnologías que se seleccionan para la gestión y la evacuación mientras que la composición permite valorar los impactos potenciales en el ambiente asociado a la evacuación de los residuos. Por tanto, un estudio de la caracterización de los residuos sólidos permite la valoración de alternativas viables para la reutilización, reciclaje y evacuación (Lund, 1996).

El reciclaje como estrategia, implica: la separación y recogida de materiales residuales; la preparación de estos materiales para la reutilización, reprocesamiento, transformación en nuevos productos y/o nueva fabricación de productos (Tchobanoglous, 2002).

1.3.3. Medidas y métodos para cuantificar las cantidades de residuos sólidos.



La razón principal por la cual se mide la cantidad de residuos sólidos generados es para obtener datos que permitan desarrollar e implantar programas efectivos de gestión de residuos.

1.3.3.1. Medidas de cuantificación.

- Medidas de volumen y peso: Se utilizan ambas magnitudes, volumen y peso, para medir las cantidades de residuos sólidos.

Desafortunadamente la utilización del volumen como medida de cuantificación tiende a confusión pues pueden estar referido al residuo suelto o compactado. De acuerdo a esto la medida de volumen, debe estar relacionada con el grado de compactación de los residuos o con el peso específico. Para evitar confusiones, las cantidades de residuos sólidos deberían expresarse en términos de peso. El peso es la única base exacta para el registro de datos, ya que las toneladas se pueden medir directamente independientemente del grado de compactación.

Los datos de peso son necesarios para planificar el transporte de los residuos sólidos, porque la cantidad que se puede transportar esta condicionada en muchos países por los límites de peso en carrera. Sin embargo, el volumen y el peso son de igual importancia respecto a la capacidad de los vertederos.

1.3.3.2. Métodos utilizados para estimar las cantidades.

Las cantidades de residuos (Tchobanoglous, 2002) normalmente se estiman basándose en datos recolectados durante el transcurso de un estudio de

caracterización de residuos. Los métodos comúnmente utilizados para valorar la cantidad de residuos son:

- Análisis del número de carga.
- Análisis del peso volumen.
- Análisis de balance de masa.

Análisis del número de carga: En este método, el número de cargas individuales que llega al lugar de recepción y las correspondientes características de los residuos tales como tipo y volumen estimado, se anotan durante un período de tiempo específico.

Análisis peso-volumen: La utilización de datos detallados de peso-volumen obtenidos mediante la recolección, el pesaje y la medición de carga proporcionará una mayor información sobre el peso específico de las diversas formas de residuos sólidos que existan en un lugar determinado.

Análisis de balance de masa: La vía más fiable de determinar la generación y movimiento de residuos es llevando a cabo un análisis de balance de masa detallado para cada fuente de generación por ejemplo una vivienda individual o una actividad comercial o industrial.



Existe otra forma de estimar cantidad de residuos generados que es el método de la inspección visual. No es tan fiable como el proceso de selección pero es recomendable para cualquier estudio de caracterización sobre residuos sólidos. El propósito de la inspección visual es caracterizar visualmente por componentes todos los residuos sólidos entrantes, lo cual posibilita el conocimiento completo de las características de los sólidos

evacuados en la zona de estudio.

-En segundo lugar se realiza la caracterización después de la descarga del vehículo que consiste en la disgregación por componentes y la estimación de la composición de los residuos. No es un análisis tan detallado. (Lund, 1996)

1.3.3.3. Expresiones para las tasas de generación de residuos sólidos por unidad.

Además de conocer los orígenes y la composición de los residuos sólidos, que se van a gestionar, se hace importante poder desarrollar las formas de expresar las cantidades generadas. Algunas sugerencias acerca de las unidades de expresión de la cantidad de residuos sólidos, en función del origen del residuo, son los siguientes:

- **Residual doméstico:** La unidad de expresión más usada para sus tasas de generación es: kg/hab./d.
- **Residual de origen comercial:** Anteriormente estos residuales también se expresaban con la misma unidad de medida que los residuales anteriormente citados, pero esta unidad proporciona poca información útil sobre la naturaleza de la generación de residuos. Una aproximación más significativa consiste en relacionar las cantidades generadas con el número de clientes, el valor de venta o alguna unidad similar.
- **Residuales industriales:** Los residuos generados por actividades industriales deben expresarse en base a alguna medida repetitiva de producción. Por ejemplo kg de residuos por automóviles para una planta de montaje automotriz o kg de residuos por paquetes para una planta de empaquetamiento.
- **Residuos agrícolas:** Los residuos agrícolas frecuentemente se expresan en términos de alguna medida repetitiva de producción. Por ejemplo kg de residuo por tonelada de producto bruto. (Lund, 1996)

1.3.3.4. Variabilidad en las tasas de generación de residuos.

Son variados los aspectos que afectan las tasas de generación de los residuos entre las que se encuentran:

- Reducción en el origen y las actividades de reciclaje.
- Actitudes públicas y la legislación.
- Factores físicos y geográficos.

Además de las anteriormente señaladas, otras variaciones alteran de manera frecuente la cantidad de residuos generados. Ellos son:

- **Variaciones estacionales:** las cantidades de residuos que se entregan en un lugar de evacuación pueden variar según la hora, el día, la semana, el mes, la estación y el año. Por lo tanto, a lo largo de un período determinado de tiempo pueden producirse fluctuaciones en el flujo de residuos sólidos.

Normalmente un estudio de caracterización para los residuos sólidos analiza las variaciones estacionales. Las estimaciones estacionales normalmente requieren cuatro programas de una semana cada uno (invierno, primavera, verano, otoño), pero también es posible valorar las variaciones estacionales realizando un estudio de caracterización en dos de las cuatro estaciones por ejemplo verano e invierno.

- **Variaciones geográficas:** La composición de los residuos sólidos se modifica drásticamente respecto a la geografía. La composición de los residuos puede variar de acuerdo al barrio, ciudad, país e incluso

continente, estas diferencias se deben completamente o en parte a los siguientes factores: económicos, sociales poblacionales o políticos.

1.4. Propiedades de los RSU.

Las propiedades físicas y químicas de los RSU son elementos fundamentales que se deben tener en cuenta siempre que se va a reciclar y transformar los residuos sólidos. Dichas propiedades son vinculadas directamente a las actividades de manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento tanto en el reciclaje como en las diferentes transformaciones, por lo que de acuerdo a las propiedades físicas y químicas que presentan los residuos, se seleccionan los procesos unitarios a emplear para llevar a cabo las transformaciones físicas y químicas.

1.4.1. Propiedades físicas de los RSU.

Según Tchobanoglous (2002), dentro de las propiedades físicas de los RSU las más importantes son:

- **Peso específico:** Se define como el peso de un material por unidad de volumen (ej. kg/m^3).
- **Contenido de humedad:** Se expresa de dos formas mediante el método de medición peso-húmedo y mediante el método de peso seco. La humedad de una muestra, se expresa como un porcentaje del material húmedo, y este método se usa de manera más frecuente en el campo de la gestión de los residuos sólidos.
- **Tamaño de partícula y distribución del tamaño:** El tamaño y la distribución del tamaño de los componentes de los materiales en los residuos sólidos son una consideración importante dentro de la recuperación de materiales especialmente con medios mecánicos como cribas, trompel y separadores magnéticos.
- **Capacidad de campo:** es la cantidad de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad, es de gran importancia para determinar la formación del lixiviado de los vertederos. La capacidad de campo varía con el grado de presión aplicado y el estado de descomposición de la muestra.
- **Permeabilidad de los residuos compactados:** La conductividad hidrológica de los residuos compactados es una propiedad física importante, que en gran parte gobierna el movimiento de líquidos y gases dentro del vertedero.

1.4.2. Propiedades químicas de los RSU.

Estas propiedades son importantes para evaluar la posibilidad de procesamiento y recuperación (Tchobanoglous, 2002). Si los residuos van a utilizarse como combustible las cuatro propiedades más importantes son:

- Análisis físico.
- Punto de fusión de las cenizas.
- Análisis elemental
- Contenido energético.

El **análisis físico** incluye los siguientes ensayos:

- Humedad: pérdida de humedad cuando se calienta durante una hora.
- Material volátil combustible: pérdida de peso adicional con la ignición a 950 °C en un crisol cubierto.
- Carbono fijo: rechazo combustible después de retirada la materia volátil.
- Ceniza: peso del rechazo después de la incineración en un crisol abierto.

El **punto de fusión** de la ceniza es la temperatura a la cuál la ceniza resultante de la incineraciones transforma en sólido (escoria) por la fusión y la aglomeración (las temperaturas típicas oscilan entre 1 000 °C y 1 200 °C).

El **análisis elemental** de los componentes implica la determinación del porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y ceniza, frecuentemente se incluyen la determinación de halógenos. Este análisis es importante para caracterizar la composición química de la materia orgánica de los RSU, también se utiliza para definir la mezcla correcta de materiales residuales necesarias para conseguir relaciones C/N aptas para los procesos de conversión biológica.

El **contenido energético** de los componentes de los residuos sólidos puede determinarse utilizando una caldera real como calorímetro, utilizando una bomba calorimétrica de laboratorio y por cálculo si se conoce el análisis elemental.

1.4.3. Propiedades biológicas de los RSU.

- En la biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos puede utilizarse el contenido de lignina de un residuo para estimar la fracción biodegradable.
- La reducción de olores normalmente se produce por la descomposición anaerobia de los componentes orgánicos fácilmente descomponibles presentes en los RSU.
- La producción de moscas en los climas cálidos, es una cuestión importante para el almacenamiento in situ. (Tchobanoglous, 2002).

1.5. Transformación de residuos.

Se entiende por transformación de los residuos toda alteración física, química o biológica que pueden sufrir los mismos. Estas transformaciones, para las cuales hay que tener en cuenta las propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos, son utilizadas para mejorar la eficacia de operaciones y sistemas de gestión de residuos; recuperar materiales reutilizables y reciclables; recuperar productos de conversión y energía en forma de calor (compost y biogás respectivamente) (Tchobanoglous, 2002). Las transformaciones que se aplican a los RSU son: físicas, químicas y biológicas.

1.5.1. Transformaciones físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos urbanos.

❖ Las **transformaciones físicas**, las cuales no implican cambio de fases. La separación física es una de las etapas básicas en la gestión de los residuos sólidos. Permite seleccionar los residuos sólidos de acuerdo a su destino, lo que permite hablar de materiales separados y de materiales no separados. La separación se realiza a través de procesos unitarios, los que son diseñados para modificar las características físicas de los residuos para que se puedan separar en sus componentes más fácilmente; separar del flujo de residuos componentes y contaminantes específicos; procesar y preparar los materiales separados para su uso posterior.

Las operaciones básicas utilizadas para la separación son:

- Reducción de tamaño
- Separación por tamaño
- Separación por densidad
- Separación por campo eléctrico y magnético
- Densificación (compactación)

Reducción de tamaño.

Es la operación básica utilizada para reducir el tamaño de los RSU. Es necesaria para el posterior procesamiento o su utilización directa. Las aplicaciones típicas son: molinos de martillo para triturar los RSU no seleccionados; trituradores cortantes para RSU no seleccionados y materiales reciclados tales como aluminio, neumáticos y plásticos; cubas trituradoras para procesar residuos de jardín

Separación por tamaño.

Proceso unitario por el que se separan los materiales según sus formas y tamaños. Generalmente se usan cribas y de ellas existen varios tipos: cribas vibratorias para seleccionar el tamaño de los residuos de jardín triturados; trómeles utilizados para separar RSU no seleccionados antes de su trituración; cribas de disco utilizadas para el vidrio y los RSU triturados.

Separación por densidad.

Mediante ella, se separan los materiales según su densidad. Las aplicaciones típicas incluyen: clasificadores neumáticos; separación por inercia para el procesamiento de RSU no seleccionados; flotación para el procesamiento de escombros de construcción. En la separación de los materiales según su densidad se utilizan clasificadores neumáticos; separadores por inercia y la flotación.

Separación magnética y campo eléctrico.

Las técnicas de separación magnética y por campo eléctrico utilizan las propiedades eléctricas y magnéticas de los materiales residuales, como son la carga eléctrica y la permeabilidad magnética, para separar materiales.

La **separación magnética** es la tecnología más comúnmente utilizada para separar metales féreos de metales no féreos. Se pueden usar imanes permanentes o electroimanes en una de sus diversas configuraciones.

Tipos de equipamiento

En un sistema de cintas multietapas, se emplean 3 imanes. El primer imán atrae el metal; el imán de transferencia lleva el metal atraído alrededor de una curva y lo agita. Cuando el metal atraído llega a zona donde no hay magnetismo, cae libremente y cualquier metal no férreo atrapado contra la cinta por el metal férreo cae también. Entonces, el metal férreo es atraído de nuevo a la cinta por el último imán y se descarga a otra transportadora o a contenedores de almacenamiento.

La **separación electrostática** puede utilizarse para separar plásticos de papeles, en base a las distintas características de carga superficial de los demás materiales. Los campos electrostáticos de alto voltaje pueden utilizarse para separar materiales no conductores (vidrio, plástico y papel) de los materiales conductores (metales). También es posible separar los

materiales no conductores, unos de otros, en base a las diferencias en su permisividad eléctrica, o en su facilidad para retener la carga eléctrica.

La separación por corriente Foucault es una técnica en la que se utilizan campos magnéticos variables para inducir corrientes Foucault en metales no férricos (aluminio), formando un "imán de aluminio". La separación por corriente Foucault se basa en la ley de Faraday sobre inducción electromagnética.

Densificación

La densificación es una operación básica que incrementa la densidad de los materiales residuales para almacenarlos y transportarlos más eficazmente. La densificación de residuos sólidos se lleva a cabo por varias razones, incluyendo la reducción de las necesidades de almacenamiento para reciclables, la reducción del volumen para el transporte, y la preparación de combustibles derivados de residuos densificados.

Tipos de equipamiento

-compactadores estacionarios: la compactadora es estacionaria cuando se llevan residuos y se cargan en una compactadora manual o mecánica. Se pueden describir según su aplicación como: 1) de trabajo ligero, como aquellas utilizadas para los RSU ligeros domésticos y comerciales; 2) de comercio o de industria ligera; 3) de industria pesada; 4) de estación de transferencia (de baja o alta presión).

❖ Las **transformaciones químicas**, implican cambio de fases e incluyen:

- Combustión (oxidación química) o incineración.
- Pirólisis.
- Gasificación.

El procesamiento térmico de los residuos sólidos para su transformación con su correspondiente emisión de energía en forma de calor se le conoce como Tecnologías de conversión térmica. Estas tecnologías incluyen: la incineración, la cual se realiza por oxidación química de los residuos con cantidades estequiométrica o con aire en exceso, y la pirólisis y gasificación que se usan para convertir residuos sólidos en combustibles gaseosos, líquidos y sólidos.

❖ Las **transformaciones biológicas** son:

- Compostaje aerobio.
- Digestión anaerobia. (Tchobanoglous, 2002).

1.5.2. Tecnologías de conversión biológica de los RSU.

Estos métodos de conversión se basan sobre principios biológicos como las necesidades nutricionales de los microorganismos, el tipo de metabolismo microbiano, tipos de microorganismos importantes para la conversión, los requisitos ambientales y otros. El objetivo fundamental es la conversión de la materia orgánica de los residuos en un producto final estable. El metabolismo es respiratorio cuando ocurre la generación de energía mediante transporte de electrones desde un donante de electrones hasta un receptor y fermentativo cuando no implica receptor externo de electrones.

La respiración es aerobia si el receptor de electrones es el oxígeno y anaerobia si los receptores de electrones son compuestos inorgánicos como NO_3 , SO_4 , CO_2 . Los tipos de microorganismos son bacterias, hongos, levaduras y actinomiceto (tipos entre bacteria y hongo).

Los requisitos ambientales más importantes son la temperatura, el pH y el contenido de humedad. Generalmente las temperaturas por debajo de la **temperatura óptima** tienen un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento de los microorganismos que las temperaturas por encima de la óptima. El **pH óptimo** para el crecimiento bacteriano está entre 6,5 y 7,5. A pH muy ácido o muy básico, aparecen los ácidos o bases débiles que pueden penetrar y dañar la célula. El **contenido de humedad** es un requisito esencial para el crecimiento de los microorganismos (Tchobanoglous, 2002).

1.5.2.1. Transformación biológica aerobia- Compostaje

La digestión aerobia o compostaje aerobio es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para convertir la fracción orgánica de los residuales sólidos urbanos en un material húmico estable conocido como compost. Este proceso incluye tres pasos fundamentales: el preprocesamiento de los RSU, descomposición aerobia de la fracción orgánica de los RSU y preparación y comercialización del producto.

El proceso se describe como la introducción a la materia orgánica de oxígeno y nutrientes, las cuales son degradadas por microorganismos aerobios facultativos y obligados, principalmente bacterias mesofílicas en las fases primarias del proceso, dando nuevas células como bacterias termofílicas, (después de haber subido la temperatura en el compost), las cuales conducen a hongos termofílicos (después de 5 a 10 días) y mohos y actinomiceto en las últimas etapas o el periodo de maduración. Se forma una materia orgánica estable liberándose calor y gases como CO_2 (g), H_2O (g), NH_3 (g), SO_4 (g).

Existen consideraciones importantes a tener en cuenta para diseñar un proceso de compostaje aerobio tales como: tamaño de partículas, relación carbón-nitrógeno, mezcla, siembra, contenido de humedad, mezcla/volteo, temperatura y requisitos de aire. (Tchobanoglous, 2002)

1.5.2.2. Transformación biológica anaerobia-Digestión anaerobia.

Sosa (2002) plantea que el tratamiento anaerobio de residuales orgánicos (particularmente de excretas de animales) imita a los procesos que ocurren

en la naturaleza donde no existen desechos o desperdicios, sino materia prima para crear otro tipo de material útil para la vida. El biogás como producto de la digestión anaerobia fue dado a conocer como combustible hace aproximadamente 300 años, cuando se detectó que el gas producido en los pantanos tenía propiedades inflamables y que provenía de la descomposición de la materia orgánica en un ambiente líquido, pero libre de oxígeno. (Pellon, 1995)

La fuente de energía proveniente de la biomasa puede emplearse para la iluminación, calentamiento de agua, bombeo, cocción de alimentos, entre otras. La energía de la biomasa está considerada como una de las fuentes de energía renovable en el futuro para la producción de biocombustibles que sustituyen a los fósiles y para la producción de energía eléctrica y calor. (Savran, 2005).

Montalvo (2000) citado por Savran (2005) plantea que el biogás es rico en metano (CH_4)_(g), mayor que 50% y dióxido de carbono (CO_2)_(g), menor que 50% y contiene además pequeñas cantidades de N_2 _(g), H_2 _(g), H_2S _(g), vapor de agua, NH_3 _(g) y otros compuestos. (Savran, 2005; Ameneiros, 2006).

El Biogás (Guardado, 1999) es un combustible que tiene un valor calórico de 4 700 a 5 500 kcal /m³ y puede utilizarse en la cocción de alimentos, en la iluminación de las naves y viviendas, puede ser quemado en calderas de procesos industriales así como en la alimentación de motores de combustión interna en el transporte, bombeo o generación de electricidad. (Guardado, 1999).

Según Domínguez (2001), con un m³ de biogás se pueden cocinar 3 comidas para una familia de cinco a seis personas, se puede mover un motor de 1 HP por dos horas, se puede mover un camión de 4 toneladas a 28 km, se puede generar 1,25 a 1,6 kW de electricidad, se puede producir una iluminación igual a la de un foco de 60-101 W por 6 horas y además, es equivalente a 0,7 kg de petróleo.

Fernández *et al.* (2002) plantea que 1 m³ de biogás equivale a 4 kg de leña y 1,6 kg de carbón respectivamente.

El proceso de descomposición para la formación de metano a partir de materia orgánica (material biodegradable) involucra un grupo de microorganismos perteneciente a las bacterias metanogénica y es un complejo proceso biológico y químico (Ameneiros, 2006).

La metanización es un proceso de fermentación anaerobia de los diferentes tipos de residuos. Se distinguen tres etapas: en la primera, los microorganismos anaerobios, fundamentalmente bacterias celulolíticas, actúan sobre las fibras orgánicas en una hidrólisis bacteriana. En una segunda fase, o acetogénica, las bacterias actúan sobre los productos obtenidos en la fase anterior y se obtienen ácidos orgánicos de cadena corta fundamentalmente ácido-acético. En la tercera fase o fase metanogénica, las bacterias actúan sobre los ácidos generados y dan como resultado la

obtención de metano y anhídrido carbónico. Este biogás obtenido con un 60 % de metano, tiene alto poder calorífico. (Urdiales, 1999; Ameneiros, 2006)

La digestión anaerobia de sólidos puede efectuarse en baja o alta concentración.

La digestión anaerobia en baja concentración es un proceso en el cual se fermentan los residuos orgánicos en concentraciones de sólidos iguales o menores que el 4-8 %. Este proceso lleva tres pasos: el primer paso, en caso de residuos sólidos no seleccionados, implica la selección y separación, y reducción de tamaño. El segundo paso implica, la adición de humedad y nutrientes (la cual puede ser en forma de fangos de aguas residuales y estiércol de vaca), la mezcla y ajuste de pH hasta aproximadamente 6,8, y el calentamiento de la masa húmeda hasta 55 y 60 °C. El tercer paso implica la captura, almacenamiento y, si es necesario la separación de los componentes gaseosos. Otra tarea que hay que llevar a cabo es la deshidratación y evacuación de los fangos digeridos.

La digestión anaerobia de sólidos en alta concentración es un en el cual se fermentan los residuos orgánicos en concentraciones de sólidos total de aproximadamente el 22 % o más. Es una tecnología relativamente nueva que ofrece tres ventajas: bajos requisitos de agua, tasa más alta de gas por unidad de volumen del tamaño del reactor y menos esfuerzos para deshidratar y evacuar los fangos digeridos. Es importante prevenir la toxicidad del amoníaco en el sistema por un ajuste correcto de la relación de C/N en la alimentación e entrada, pues el amoníaco puede afectar a las bacterias metanogénicas, lo que tiene como efecto adverso sobre la estabilidad del sistema y la producción de metano. (Tchobanoglous, 2002).

1.6. Procesos unitarios utilizados para la separación y procesamiento de residuos sólidos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

- Abo, M., M. P. et al, (2002) "*Contaminación y Gestión de Residuos. Modulo de Formación Ambiental Básica. Proyecto: Acciones Prioritarias para consolidar la Protección de la Biodiversidad en el Ecosistema Sabana Camaguey.* CUB/G 32-CAPACIDAD 21. 18 pp
- Ameneiros J. M.; Awosolu M. O. (2006). *El Diseño de Digestores: sus recursos frente a la Gestión de Desechos.* [CD-ROM] [2 de Juin 2006] 27 Diapositivas.
- Fernandez C. K.; Prevez, L. P.; Bao, R. C. (2002). *Operación y Mantenimiento de pequeñas Plantas de biogás.* La Habana. 32 p.
- Guardado J. A. (1999). *Curso Teórico-Práctico sobre Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pequeñas Plantas de Biogás.* Guantánamo.
- Lund F. H. (1996). *Manual McGraw-Hill de Reciclaje.* p 3.1-3.41

- Lys J. A. (2005). *Gestion de L'Environnement (Récupération du plastique à Port-au-Prince)*.
- Montalvo S. (2000). *Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales: Generalidades*. ISPJAE, La Habana citado por Savrán, V. (2005). *Alternativa para el Aprovechamiento Integral de los Residuos Pecuarios como Contribución al Ordenamiento de los Ecosistemas Rurales*. Tesis (en opción al título académico de Master en Contaminación Ambiental). Universidad de Matanzas. p 1-25
- Parsons, H. de B. (1996). *The disposal of Municipal Refuse*. 1st ed. New York: John Wiley & Sons citado por Tchobanoglous, G. (2002). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. EMPAI. Código L2833. 1107 p.
- Pellón A.; Sánchez E.; Roviroso N. (1995). *Digestor Anaerobio de bajo costo para Climas Tropicales*. Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC). Ciudad de la Habana.
- Savrán, V. (2005). *Alternativa para el Aprovechamiento Integral de los Residuos Pecuarios como Contribución al Ordenamiento de los Ecosistemas Rurales*. Tesis (en opción al título académico de Master en Contaminación Ambiental). Universidad de Matanzas. p 1-25
- Seoanez, M. et al. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. Madrid: Mundi Prensa.
- Sosa, R.; Chao, R. (2002). *Aspectos Bioquímicos y Tecnológicos del Tratamiento de Residuos Agrícolas con Producción de Biogás*. Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana.
- Tchobanoglous, G. (2002). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. EMPAI. Código L2833. 1107 p.
- Urdiales A, A. (1999). *Introducción a la Gestión, Tratamiento y Valorización de los Residuos Sólidos*.
- US Environmental Protection Agency. (1999). *Decision-Makers Guide to Solid Waste Management*. EPA / 530-SW89. Washington DC.