



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)

# GUIA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Federal Department of Economic Affairs FDEA  
State Secretariat for Economic Affairs SECO



**DIRECCIÓN PROVINCIAL DE SERVICIOS  
COMUNALES DE LA CIUDAD DE LA HABANA**

**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE RESIDUOS**

**GUÍA PARA LA GESTIÓN  
INTEGRAL DE LOS  
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**



**UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION**

© Derechos de autor - 2007

**Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)**

**Secretaría Estatal para Asuntos Económicos (SECO)**

**Laboratorio de Análisis de Residuos (LARE)**

Este Manual es parte de las actividades del Programa de Producción Más Limpia -de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial y fue elaborado por:

M.Sc. Alejandro Fernández Colomina

Director Nacional del Proyecto de Manejo de Residuos Urbanos

M.Sc. Mayra Sánchez-Osuna

Vice-Directora de la Sección de Energía y Producción Más Limpia de la ONUDI

Este documento ha sido reproducido sin haber sido sometido a una edición formal.

Las opiniones expresadas en el presente documento sólo reflejan las de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la ONUDI/SECO/LARE. Los autores están autorizados legalmente para reproducir diagramas, gráficos, tablas, etc., que representan los procesos o productos de las empresas productoras.

La mención de empresas, nombres, procesos y productos comerciales no implica la autorización/aprobación de la ONUDI, SECO o LARE.

El contenido de este documento no puede ser reproducido, archivado en medios electrónicos o transmitido en cualquier forma sin la previa autorización escrita de la ONUDI/SECO. Partes de esta publicación pueden ser reproducidos para usos no lucrativos, siempre y cuando se reconozca la propiedad intelectual de la ONUDI/SECO/LARE.

Los autores extienden su sincera gratitud al personal técnico del Laboratorio de Análisis de Residuos, a la Dirección Provincial de Servicios Comunes de la Ciudad de La Habana, al Grupo de Gestión de la Educación Ambiental (GEA) del Instituto Superior Pedagógico "Enrique José Varona", a las autoridades y empresas industriales que apoyaron el proyecto y contribuyeron a su realización; y a todos los que han hecho posible la elaboración e impresión de esta Guía.

**Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)**

**Vienna International Centre**

**P.O. Box 300**

**A-1400 Vienna**

**Austria**

**Tel. (+43 1) 26026 -0**

**Fax: (+43-1) 26026 6819**

**e-mail: M.Sanchez-Osuna@unido.org**

**Sitio web: www.unido.org**

**Secretaría de Estado para la Economía (SECO)**

**Effingerstrasse 31**

**3003 Berne**

**Switzerland**

**Tel. 031 / 322 56 56**

**Fax 031 1 322 56 00**

**e-mail: seco@seco.admin.ch**

**Sitio web: www.seco-admin.ch**

**Laboratorio de Análisis de Residuos (LARE)**

**Calle 180 #116, entre 1ª. y 5ª. Ave.**

**Reparto Flores, Playa**

**Ciudad de La Habana**

**Cuba**

**Tel. (+53 7) 272 0694/95/96**

**e-mail: lare@ch.gov.cu**

**Sitio web: www.LARE-residuos-solidos-cuba.cu**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD  
Staatssekretariat für Wirtschaft SECO  
Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung

## PRÓLOGO

La “Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos” es el resultado de muchos meses de trabajo y esfuerzos coordinados del personal técnico del proyecto US/CUB/04/151 “*Transfer of EST for cleaner management of municipal solid waste (MSW) in Havana City*”, implementado por la Dirección Provincial de Servicios Comunes de la Ciudad de La Habana, bajo la dirección técnica de la Unidad de Producción más Limpia de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), apoyados financieramente por la Secretaría Estatal de Economía del Gobierno Suizo (SECO). Este Manual pretende contribuir a incrementar los conocimientos del personal responsable de la gerencia de los residuos sólidos urbanos en Cuba, a incrementar los niveles de concienciación de la población y enriquecer los conocimientos y cultura necesarios de los estudiantes y autoridades municipales responsables de la higiene y saneamiento en la Ciudad de La Habana. La información ofrecida en el presente manual contribuirá a realizar la gerencia eficiente y sostenible de los residuos sólidos urbanos.

El manejo correcto y sostenible de los residuos sólidos urbanos consiste fundamentalmente en aplicar un enfoque integral y respetuoso con el medioambiente para el manejo de las actividades de generación, reutilización, manipulación y disposición de estos residuos, y no sólo proceder rutinariamente a recogerlos y enterrarlos. El concepto ha ido evolucionando con la introducción de técnicas y tecnologías modernas, para lo cual la participación de la comunidad, la introducción de sistemas de tratamiento avanzados, la valorización y el aprovechamiento de las fracciones reciclables, entre otras actividades, son imprescindibles y deben ser dominados por los gerentes y trabajadores que prestan servicios a la comunidad.

Conservar la higiene y la belleza de la Ciudad de La Habana, proteger la salud de la ciudadanía y contribuir a diseminar las experiencias adquiridas a otras ciudades del país es un gran reto para todos los trabajadores de los Servicios Comunes. El presente texto contribuirá a elevar la cultura del personal responsable del manejo de los residuos sólidos urbanos y a mejorar la eficiencia de las actividades realizadas para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos en Cuba y en otros países de América Latina.

H.-P. Egler  
Director

División de Promoción Comercial  
Cooperación y Desarrollo Económico  
Secretaría Estatal de Asuntos Económicos



# Índices

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Breve introducción a la gestión ambiental.....</b>	<b>4</b>
2.1	Algunos instrumentos de la gestión ambiental .....	6
2.1.1	Ordenamiento ecológico o ambiental .....	6
2.1.2	La legislación ambiental en Cuba.....	7
2.1.3	Estudio del impacto ambiental.....	7
2.1.4	Inspección estatal ambiental y licencia ambiental.....	10
2.1.5	Programa Nacional de Investigaciones Científico-Técnicas .....	11
2.1.6	Sistema nacional de áreas protegidas.....	11
2.1.7	Educación y divulgación ambiental .....	12
<b>3</b>	<b>Los residuos sólidos urbanos: Generalidades .....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Gestión de los residuos sólidos urbanos .....</b>	<b>15</b>
4.1	Clasificación de los residuos sólidos urbanos.....	15
4.2	Características de los residuos sólidos urbanos. ....	18
4.3	Composición de los residuos sólidos urbanos .....	20
4.4	Ciclo de vida de los residuos sólidos urbanos .....	21
4.5	¿Qué son los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)?.....	26
4.6	Importancia del manejo integral de los residuos sólidos urbanos.....	27
4.7	Principios que sustentan un manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos:.....	28
<b>5</b>	<b>Sistema de manejo de los residuos sólidos urbanos (SMRSU) .....</b>	<b>32</b>
5.1	Saneamiento ambiental, aseo urbano y gestión de residuos sólidos urbanos. ....	34
5.1.1	Limpieza de vías publicas.....	35
5.1.2	Recogida y transporte de los residuos.....	37
5.1.3	El reciclaje de residuos sólidos urbanos .....	40
5.1.4	El tratamiento de los residuos sólidos urbanos .....	46
5.1.5	El uso de tecnologías limpias.....	59
<b>6</b>	<b>Reciclaje y valorización de la materia orgánica. Compostaje .....</b>	<b>61</b>
6.1	La materia orgánica en la naturaleza .....	61
6.2	Proceso de compostaje.....	62
6.2.1	Precompostaje .....	64
6.2.2	Factores que condicionan el proceso de compostaje .....	64
6.2.3	Materias primas a compostar .....	65



6.2.4	Períodos del proceso de compostaje .....	66
6.2.5	Producción de compost .....	68
6.2.6	Operaciones básicas .....	71
6.2.7	Compostaje doméstico .....	76
6.2.8	Aplicaciones del compost .....	81
6.2.9	Transformación o aprovechamiento por técnicas específicas.....	84
6.3	Otras formas de utilización de los RSU .....	87
6.3.1	Digestión anaerobia .....	87
6.3.2	Cámaras isotérmicas .....	88
<b>7</b>	<b>Reciclaje y valorización de la materia inorgánica .....</b>	<b>89</b>
7.1	El reciclaje del vidrio .....	89
7.1.1	¿Qué tipos de vidrios se encuentran en los residuos sólidos domiciliarios?....	90
7.1.2	Mercado del reciclaje y la reutilización del vidrio.....	91
7.2	Reciclaje de neumáticos.....	91
7.2.1	La reutilización de los neumáticos.....	91
7.2.2	El reciclaje de los neumáticos en la ingeniería civil .....	92
7.2.3	La regeneración de la goma .....	92
7.2.4	Uso de los neumáticos en la generación de energía.....	92
7.2.5	En el "asfalto modificado con goma" .....	93
7.3	Lámparas fluorescentes.....	93
7.3.1	Manejo y disposición final de lámparas fluorescentes usadas.....	94
7.4	Residuos tóxicos contenidos en envases.....	94
7.5	Papel.....	94
7.5.1	Reciclado de periódicos .....	96
7.6	Plásticos .....	97
7.6.1	¿Qué son los plásticos? .....	97
7.6.2	¿Cuáles son los tipos de plásticos? .....	98
7.6.3	¿Dónde se generan los desechos plásticos? .....	99
7.6.4	¿Qué hacer con los residuos plásticos?.....	99
7.7	Metales.....	100
7.7.1	El reciclaje de los metales.....	100
7.7.2	Reciclado de aluminio.....	101
7.8	Escombros.....	101
7.8.1	Ventajas y desventajas del reciclaje de escombros.....	102

7.8.2	¿Cuáles son los procesos y productos? .....	103
7.9	Otros.....	103
<b>8</b>	<b>Aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos .....</b>	<b>104</b>
8.1	Sistemas de conversión bioquímica .....	104
8.1.1	Digestión anaerobia: .....	104
8.1.2	Fermentación alcohólica .....	115
8.1.3	Sistemas de conversión térmica .....	116
8.1.4	Gasificación .....	119
<b>9</b>	<b>Glosario de términos utilizados en el texto .....</b>	<b>124</b>
<b>10</b>	<b>Abreviaturas .....</b>	<b>136</b>
<b>11</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>138</b>

## Lista de ilustraciones

Figura 1. Aprovechamiento de los recursos naturales .....	4
Figura 2. Recogida selectiva – papel y cartón .....	5
Figura 3. Vertedero .....	13
Figura 4. Ciclo de vida de ocho fases de los RSU .....	21
Figura 5. Ciclo de vida de nueve fases de los RSU desde el punto de vista social .....	23
Figura 6. Principales actores en el ciclo de vida de los residuos .....	24
Figura 7. Bases del modelo de gestión de los RSU .....	28
Figura 8. Sistema de manejo de los residuos .....	32
Figura 9. Desagüe .....	34
Figura 10. Limpieza de vías públicas: barrido manual .....	35
Figura 11. Recolección rural .....	37
Figura 12. Separación de residuos .....	41
Figura 13. Papel embalado para reciclaje .....	41
Figura 14. Vertedero .....	48
Figura 15. Relleno sanitario .....	48
Figura 16. Método de trinchera .....	50
Figura 17. Método de área .....	50
Figura 18. Corriente de lixiviados .....	55
Figura 19. Empleo de arcilla para impermeabilizar el relleno sanitario .....	56
Figura 20 y Figura 21. Ejemplo del aprovechamiento del biogás en los rellenos sanitarios ..	57
Figura 22. Colectores solares .....	60
Figura 23. El ciclo de vida .....	61
Figura 24. Pila de compost .....	62
Figura 25. Transformación de la materia orgánica en compost .....	63
Figura 26. Períodos del proceso de compostaje .....	67
Figura 27. Insectos y microorganismos que participan en el proceso de compostaje .....	67
Figura 28. Formas de pilas de materia orgánica .....	68
Figura 29. Preparación de pilas de materia orgánica .....	68
Figura 30. Representación esquemática de la técnica de producción en pilas .....	69
Figura 31. Volteador de las pilas de compost .....	69
Figura 32. Cargador .....	70
Figura 33. Trituradora de materia orgánica .....	70
Figura 34. Compostador doméstico .....	76

Figura 35. Compost maduro .....	82
Figura 36. Lombricultura .....	84
Figura 37. Humus de lombriz .....	85
Figura 38. Producción de biogás.....	87
Figura 39. Colector de papel y cartón.....	95
Figura 40. Reciclado de periódicos.....	97
Figura 41. Latas de aluminio para reciclar.....	101
Figura 42. Digestor de cúpula fija.....	107
Figura 43. Digestor de cúpula flotante.....	108
Figura 44. Digestor tipo UASB .....	108
Figura 45. Digestor tipo EGSB .....	109
Figura 46. Digestor de flujo pistón .....	109
Figura 47. Planta combinada de compost y biogás.....	110
Figura 48. Fase constructiva de la planta UASB para el tratamiento de residuales líquidos	110
Figura 49 y Figura 50. Fase constructiva de la planta UASB para el tratamiento de residuales líquidos - Provincia de Ciego de Ávila .....	111
Figura 51. Emisión de gases a la atmósfera.....	112
Figura 52. Lodos: subproductos de la producción de biogás.....	113
Figura 53. La planta de incineración en Geiselbullach, Alemania .....	118
Figura 54. Proceso de gasificación .....	123

## Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación de los residuos sólidos urbanos (RSU) .....	16
Tabla 2. Medidas de mitigación.....	59
Tabla 3. Propiedades de algunos residuos generados en el hogar .....	79
Tabla 4. Problemas, causas, soluciones .....	81
Tabla 5. Microorganismos anaerobios.....	105
Tabla 6. Características de los residuos a ser tratados en gasificadores .....	121

# 1 Introducción

En los inicios de la civilización, el impacto del ser humano sobre la naturaleza fue limitado a intervenciones en pequeñas escalas, los miembros de las comunidades primitivas vivieron integrados al medio natural y de él obtenían solo lo imprescindible para cubrir sus necesidades. Los desechos generados entonces, eran fácilmente asimilados por la naturaleza, ya fuera por las cantidades como por la composición química de los mismos.

Posterior a la Revolución Industrial, los matices de esta situación comenzaron a cambiar y en la actualidad alcanzan cifras verdaderamente alarmantes. El rápido aumento de la población; la complejidad de los diferentes entornos urbanos en las grandes metrópolis y el descubrimiento de nuevas formas de combinar las sustancias para la obtención de otras más difíciles de degradar, han pasado de novedades científicas a verdaderos problemas de contaminación.

La demanda por los productos novedosos se hace cada vez mayor, y a la vez los desechamos con rapidez. Como consecuencia de las acciones anteriormente mencionadas, la acumulación de residuos no asimilables por la naturaleza, crece incontroladamente.

El vertiginoso desarrollo económico y el incremento incontrolado de los niveles de consumo han presupuesto la urgente búsqueda de soluciones a estos problemas, en los que la educación ciudadana, juega un importante papel, puesto que el deterioro ambiental del planeta exige la toma de conciencia y la colaboración de todos para poner en práctica estrategias de solución y/o mitigación de los impactos causados por los desechos en el medio ambiente.

La educación, en su aspecto conceptual, práctico y social, se ve ahora íntimamente vinculada a la ecología. De esta nueva percepción nace la educación ambiental, la cual ha ido cambiando su perspectiva de puramente naturalista a una concepción pedagógica de alto valor educativo que *“... constituye una premisa de importancia significativa para lograr los procesos de cambio, que deben orientar a la humanidad hacia un sistema de relaciones más armónicas entre la Sociedad y la Naturaleza, que permitan el tránsito hacia niveles de desarrollo sostenible” (Estrategia Nacional de Educación Ambiental, 1997)*

En Cuba la ley 81 sobre medio ambiente establece que: *“... la educación ambiental, es el proceso continuo y permanente, que constituye una dimensión de la educación integral de todos los ciudadanos, orientada a que en la adquisición de conocimientos, desarrollo de hábitos, habilidades, capacidades y actitudes y en la formación de valores, se armonicen las relaciones entre los seres humanos y de ellos con la naturaleza para propiciar la orientación de los procesos económicos, sociales y culturales hacia el desarrollo sostenible”*

*¿Se puede pensar entonces en desarrollo sostenible con el modelo económico actual? Donde la búsqueda de ‘sociedades sostenibles’ supone, transformar los actuales patrones de producción y de consumo; los valores asociados a las relaciones entre los seres humanos y con la naturaleza; así como la búsqueda de nuevas maneras de interacción y comunicación, basadas en el respeto mutuo y la práctica de normas de conductas responsables.*

Entre los elementos que se reconocen necesarios para lograr una cultura y responsabilidad hacia el medio ambiente, por medio de la conciencia ambiental como forma de la conciencia social, lo es sin duda alguna, el conocimiento y comprensión de temas vinculados con la **Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)**. Lo cual refleja una relación positiva de los seres humanos con su entorno natural y sociocultural; estructurada esencialmente en: sentimientos, nociones, conceptos y actitudes de convivencia armónica, responsable, austera, sostenible y solidaria.

Mediante la reducción, la reutilización y el reciclaje de los residuos sólidos urbanos; podremos disminuir los efectos negativos de estos en su interacción con el medio ambiente. Estas acciones sólo serán posibles si se ejecuta una adecuada identificación y selección de los RSU, tanto por la población como por todos los gestores que los producen.

La creación de los conocimientos, los hábitos y las costumbres necesarias para una actuación responsable de la población en el manejo integral de los residuos, sólo es alcanzable con una adecuada *educación ambiental de los ciudadanos*.

En el año 2000, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la Declaración del Milenio, que subrayaba sobre la necesidad urgente de respetar y proteger a la naturaleza. Aún más, los Estados Miembros aseguraron que “el presente modelo no sostenible de producción y consumo debe cambiarse para nuestro futuro beneficio y el de nuestros descendientes.” Los Estados Miembros acordaron no escatimar esfuerzos para libertar a toda la humanidad, particularmente a las futuras generaciones, de la amenaza de vivir en un planeta irremediablemente arruinado por las actividades humanas, y cuyos recursos naturales no fuesen suficientes para cubrir las necesidades de sus habitantes.

Estos compromisos, codificados como la Meta de Desarrollo 7 que apela a la comunidad internacional a asegurar sostenibilidad ambiental, se reitera en el Plan de Implementación de la Cumbre sobre Desarrollo Sostenible en el año 2002, que indica que cambios fundamentales en la manera en que las sociedades producen y consumen son indispensables para alcanzar el desarrollo global sostenible. Los países deberán promover modelos sostenibles de producción y consumo con programas dirigidos a que el crecimiento económico no conlleve intrínsecamente a la degradación ambiental, a través de

- La eficiencia mejorada y la sostenibilidad en el uso de los recursos y en la ejecución de los procesos productivos;
- La reducción de la degradación de los recursos;
- La reducción en la cantidad y toxicidad de los residuos;
- La reducción de la contaminación; y
- La introducción de métodos adecuados para el tratamiento y la eliminación de los residuos.

El presente documento pretende contribuir a la creación de las capacidades necesarias para alcanzar estas metas y objetivos.

La Agenda 21 de las Naciones Unidas, en su Capítulo XXI, “*Manejo Ecológicamente Racional de los Desechos Sólidos*”, se enuncian cuatro áreas principales de programas relacionadas con:

- La reducción al mínimo de los residuos.
- El aumento al máximo de la reutilización y el reciclado ecológicamente racional de los residuos.
- La promoción por la eliminación y la disposición ecológicamente racional de los residuos.
- La ampliación del alcance de los servicios que se ocupan de la gerencia de los residuos.

Por su parte, en el Capítulo III “Modificaciones de las modalidades insostenibles de consumo y producción” del Plan de Aplicación emitido en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Johannesburgo 2002), se acordó que:

*“... Evitar la producción de desechos o reducirla al mínimo y aumentar al máximo la reutilización, el reciclado y el empleo de materiales alternativos inocuos para el medio*

*ambiente, con la participación de las autoridades gubernamentales y de todos los interesados, con el objeto de reducir al mínimo los efectos adversos para el medio ambiente y aumentar el rendimiento de los recursos, y prestar asistencia financiera, técnica y de otra índole con ese fin a los países en desarrollo. Ello entrañaría la adopción, en todos los planos, de medidas encaminadas a:*

- a) Establecer sistemas de gestión de desechos que asignen la más alta prioridad a prevenir o reducir al mínimo la generación de desechos y a reutilizarlos y reciclarlos, así como instalaciones para la eliminación ecológicamente racional de los desechos; idear tecnologías para aprovechar la energía de los desechos; promover iniciativas para el reciclado de desechos en pequeña escala que faciliten la gestión de los desechos urbanos y rurales y ofrezcan oportunidades de generar ingresos, y obtener apoyo internacional para los países en desarrollo a este respecto;*
- b) Fomentar la prevención y la reducción al mínimo de la generación de desechos alentando la producción de bienes de consumo reutilizables y de productos biodegradables y estableciendo la infraestructura necesaria.”*



## 2 Breve introducción a la gestión ambiental

Se conoce como gestión ambiental al conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar la administración y el uso racional de los recursos naturales mediante la conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo de los componentes del medio ambiente y el control de la actividad del hombre en esta esfera. La gestión ambiental aplica la política ambiental establecida mediante un enfoque multidisciplinario, teniendo en cuenta el acervo cultural, la experiencia nacional acumulada y la participación ciudadana.

La gestión ambiental incluye acciones para la conservación de especies amenazadas, el aprovechamiento cinegético y piscícola, la ordenación forestal, la gestión industrial e incluso la gestión doméstica. El concepto lleva implícito el aprovechamiento sostenible, eficiente y rentable de los recursos naturales, en consonancia con una filosofía de ahorro y conservación de los recursos disponibles para el beneficio de las futuras generaciones.



*Figura 1. Aprovechamiento de los recursos naturales*

El concepto de gestión ambiental, tal como lo conocemos en la actualidad es un término muy reciente, si bien ha sido aplicado de una u otra forma desde el primer momento en que el ser humano comenzó a aprovechar los recursos naturales para su alimentación y para satisfacer sus necesidades de albergue y vestido mediante la gestión del suelo la flora y la fauna. Debido a que la gestión agrícola para la producción de alimentos implicaba la interacción con los componentes del medio ambiente, ha sido considerada como una forma de gestión ambiental. El sentido que se le otorga al concepto de gestión ambiental en la actualidad es de un carácter más conservacionista en relación con el medio ambiente; de hecho incluye aquellas acciones encaminadas a preservar el medio ambiente ante las actividades del hombre, que tiende a sobre-explotar y a degradar su entorno natural. Sin embargo es necesario analizar el término “conservar” de forma relativa, ya que no podemos mantener en estado de deterioro aquellos componentes del medio ambiente que hayan sido afectados por alguna acción fortuita o intencional; en tales situaciones es necesario tomar medidas para renovar, mejorar y/o transformar los componentes “dañados”.

La gestión ambiental se relaciona con todas las actividades humanas que transcurren o afectan al medio ambiente, en mayor o menor grado. La gestión ambiental está supeditada a la ordenación previa del territorio y a su utilización.

En una industria, por ejemplo, la actividad de gestión ambiental incluye tanto aquellas acciones encaminadas a hacer el medio ambiente laboral más sano y seguro para los trabajadores, mediante la prevención, por ejemplo, de riesgos laborales. También incluye acciones orientadas a reducir el consumo de energía y de materias primas y optimizar las relaciones insumos/productos. Así, el ahorro de energía que se obtenga por el empleo de maquinaria más eficiente, o el ahorro de agua que se consiga por su reciclado en los procesos productivos, deben considerarse resultados eficientes de la gestión ambiental de la empresa. Por ello, en muchas entidades se están instaurando sistemas de gestión ambiental destinados, en los casos más sencillos, al ahorro de recursos tan comunes como el papel o la electricidad, lográndose impactos positivos relevantes económica y ambientalmente.

La introducción del concepto de gestión ambiental, en su acepción más conservacionista, ha afectado a todo tipo de actividades humanas. Así, la actividad agrícola moderna ha dado un giro hacia sistemas de producción más respetuosos con el medio ambiente. Esta práctica se conoce como agricultura biológica, ecológica u orgánica, reduciendo el empleo de sustancias agresivas y potencialmente contaminantes, como ciertos tipos de abonos orgánicos y pesticidas.

Actividades que tradicionalmente ocurrían en diferentes latitudes con un escaso control, como la caza y la pesca, se han visto favorecidas por la mejora que supone, tanto para la práctica de estas actividades como para la conservación de las especies, la instauración de una gestión ambiental de tipo cinegético o piscícola, en la que se pretende obtener un aprovechamiento sostenible de los animales salvajes sin hacer peligrar el equilibrio ecológico de las comunidades naturales.

La gestión de aquellos espacios protegidos por su valor natural se encuentra dentro de lo que podríamos definir como la acepción más pura de la gestión ambiental. Así, es labor encomendada a los gestores ambientales el cuidado y preservación de los espacios naturales y sus recursos biológicos y geológicos. La conservación de las especies amenazadas, lo mismo que la organización de la utilización de los recursos dentro de los espacios naturales, son objetivos de este tipo de gestión ambiental.



*Figura 2. Recogida selectiva – papel y cartón*

La gestión ambiental puede también llegar al hogar o a los centros laborales, mediante el ahorro de energía, controlando la generación de RSU, al evitarse por ejemplo, el uso excesivo de embalajes, al utilizar productos detergentes poco contaminantes, y coleccionar separadamente los residuos generados una vez clasificados en “inorgánicos y orgánicos”. Los productos inorgánicos pueden ser reciclados y los orgánicos pueden ser posteriormente utilizados en la elaboración de compost para digestión anaeróbica por ejemplo.

## ***2.1 Algunos instrumentos de la gestión ambiental***

Para lograr que la gestión ambiental sea científica, eficiente y sostenible, debe aplicar correctamente los instrumentos abajo indicados.

1. Ordenamiento Ecológico o Ambiental.
2. Legislación Ambiental.
3. Estudio de Impacto Ambiental.
4. Inspección Estatal Ambiental y Licencia Ambiental.
5. Programa Nacional de Investigaciones Científico - Técnicas.
6. Sistema Nacional de Áreas Protegidas.
7. Educación y Divulgación Ambiental.

Estos instrumentos deben influir en:

- La dirección y alcance de las inversiones.
- La orientación del eventual cambio tecnológico que se pretenda introducir.
- Los cambios institucionales.
- La transformación de los modelos de producción, distribución y consumo.

A continuación se precisarán las ideas más importantes relacionadas con algunos de los instrumentos mencionados, con especial énfasis en aquellos relacionados con los RSU.

### **2.1.1 Ordenamiento ecológico o ambiental**

El Ordenamiento Ecológico o Ambiental es el proceso de planeación dirigido a programar y evaluar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales, con el objetivo de preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el medio ambiente. Mediante el Ordenamiento Ecológico es posible determinar la capacidad de soporte de los sistemas naturales para la localización de determinadas actividades productivas. Consta de los siguientes niveles:

- Ordenamiento ecológico del paisaje. Consiste en la regionalización ecológica del país y la determinación de su aprovechamiento actual.
- Ordenamiento ecológico regional. Ordenamiento del paisaje en las regiones naturales del país.
- Ordenamiento ecológico local. Se considera uno de los más importantes ya que permite el ordenamiento de territorios relativamente pequeños, determinados fundamentalmente por el área de un municipio.

El ordenamiento ecológico permite determinar las Unidades de Gestión Ambiental (UGA), importantes en todo el proceso de planeamiento y de sostenibilidad ambiental. En las UGA se establecen tres elementos básicos:

- El uso de vocación. Este es el uso que debe tener un territorio en función de sus condiciones naturales y sociales.
- El uso alternativo. Consistente en la opción de uso más adecuado en caso que el de vocación no pueda ser aplicado.
- El uso incompatible. Es el que no debe aplicarse por su completa incompatibilidad con las condiciones naturales y sociales.

### **2.1.2 La legislación ambiental en Cuba**

La legislación ambiental en Cuba se inicio con la Constitución del 24 de febrero de 1976 que en su artículo 27 consigna:

*“El Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar esta política. Es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna y todo el rico potencial de la naturaleza.”*

El 10 de enero de 1981 se dicta la Ley 33 de “Protección del medio ambiente y del uso racional de los recursos naturales” de carácter general y que establece los principios para la protección del medio ambiente y faculta al Consejo de Ministros para dictar las disposiciones complementarias. Esta Ley estableció la responsabilidad administrativa de los distintos organismos del estado de un lado y de otro la responsabilidad de personas naturales en relación con el medio ambiente; además de regular las sanciones penales para los infractores.

Con la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente se han elaborado cuerpos resolutivos que complementan la legislación actual y dotan de instrumentos formativos a la gestión ambiental en el país, uno de ellos es la Ley No 81 del Medio Ambiente, que *“tiene como objeto establecer los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del Estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país”*.

La legislación ambiental en Cuba se encuentra en un proceso de perfeccionamiento, su eficacia dependerá no sólo de lo adecuado de su formulación y realización sino además de la capacidad real de su cumplimiento y ello está condicionado por el nivel de conciencia y educación de los distintos actores particularmente de aquellos que se arrogan el uso y la administración de los recursos naturales.

### **2.1.3 Estudio del impacto ambiental**

En los últimos 30 años los estudios de impacto ambiental se han convertido más que en un instrumento de trabajo, en una necesidad económica y social para garantizar la conservación de las condiciones ecológicas de vida y lograr el desarrollo sostenible del país.

Las características de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) han ido evolucionando con el tiempo en función de las necesidades del hombre. Así, hace unos veinte años se realizaban sin tener en cuenta los componentes socio-económicos, analizándose solamente los elementos naturales. En los tiempos actuales esta situación ha cambiado substancialmente ya que se ha considerado, con mucha razón, que es precisamente el hombre el actor principal del proceso hacia el desarrollo sostenible y de su éxito o fracaso totales o parciales. Es por esta razón que en las EIA también se incluye el análisis de los aspectos socioeconómicos, incluyendo aspectos históricos, sociales y culturales y la opinión de la comunidad.

Las EIA surgieron en los países desarrollados con el criterio de que las condiciones socio ecológicas eran aceptables y capaces de resistir los cambios negativos que se podían producir. Sin embargo, esta suposición no es aceptable ni aplicable en los países en vías de desarrollo o de economías en transición, en los que cualquier proyecto puede provocar importantes mejoras en la calidad de vida en un plano local, considerando que los impactos positivos secundarios pueden superar a los negativos si el proyecto está bien diseñado.

En general los estudios de impacto ambiental pueden ser muy variados, pero hay dos tipos que en la actualidad se consideran los más importantes: las evaluaciones o estudios de impacto ambiental y las auditorías ambientales.

### ***2.1.3.1 Evaluaciones de impacto ambiental***

Para hablar de evaluación de impacto ambiental es necesario definir qué es un impacto ambiental, al respecto Gómez Orea (1994), plantea que *“El término impacto indica la alteración que la ejecución de un proyecto introduce en el medio, expresada por la diferencia entre la evolución de éste sin y con el proyecto. Su significación ambiental interpretada en términos de salud y bienestar humano, es lo que define el impacto ambiental.”*

El mismo autor refiere que *“Los impactos ambientales dependen de la naturaleza, localización y tamaño del proyecto; pueden ser positivos o negativos, reversibles o irreversibles, directos o inducidos, permanentes o temporales, simples o acumulativos, a corto, mediano o largo plazo, etc.”*

Quiere esto decir que el impacto ambiental es el cambio que existirá entre el desarrollo natural del medio ambiente y el que produzca la ejecución de cualquier proyecto u otro elemento capaz de producir un cambio en esta evolución.

Puede decirse que la preocupación ambiental de la época actual es debida al fuerte predominio de los impactos negativos y las acciones que los originan pueden resumirse en:

- Cambios en los usos del suelo.
- Emisión de agentes contaminantes.
- Sobre-explotación de recursos naturales y/o ecosistemas.

### **Objetivos de las EIA**

Para proporcionar a los encargados de tomar las decisiones sobre cualquier proyecto, es necesario disponer de la relación de las consecuencias de los distintos cursos de acción, con antelación a la toma de decisiones. Para definir o modificar el diseño final de una obra o proyecto, se establecen los siguientes objetivos:

- Valorar, previamente a la autorización de una obra o proyecto, los posibles efectos ambientales que provocarán las actividades que se pretenden ejecutar. Para lo anterior se han de aplicar metodologías bien definidas.
- Asegurar que afectaciones potenciales que se puedan causar al medio ambiente hayan sido previstas y establecidos en una etapa temprana del diseño y planificación del proyecto, con vistas a posibilitar la toma de decisiones al respecto.
- Examinar las posibles afectaciones a la población, la comunidad y a proyectos de tipo social que puedan ser ocasionados por las diferentes acciones.
- Identificar las medidas de mitigación con vistas a minimizar los daños ambientales.
- Determinar los costos económicos de los efectos ambientales y de su mitigación.
- Establecer una estrategia de monitoreo sistemático y periódico del proyecto durante su ejecución y luego de su puesta en marcha con vistas a determinar posibles efectos no previstos u ocasionados por fallas de funcionamiento.

### Lineamientos básicos para la realización de la EIA

La evaluación de impacto ambiental debe considerarse como un complemento del proceso de ordenamiento y planificación territorial, para lo cual se requiere que se nutra de éste y que, en la medida de las posibilidades se incorpore al mismo.

Además, el proceso de realización y aprobación de la EIA debe ser lo suficientemente ágil de manera que no implique un retraso en la inversión y la ejecución de un proyecto; de la misma forma debe ser lo suficientemente riguroso como para la EIA juegue el rol que le corresponde en la política de desarrollo sostenible.

Asimismo, la EIA debe ser parte del proceso de planeamiento de una inversión por lo que esta última debe contemplar desde su proyecto las posibles medidas de mitigación en función de los posibles impactos que ya en esta etapa se puedan prever. La EIA debe ser ejecutada por especialistas de alto nivel, lo que garantizará la confiabilidad de la misma. Los equipos que intervengan en la preparación de las EIA deben estar integrados por expertos que cubran múltiples disciplinas como para que puedan analizar las consecuencias de los impactos de forma completa e integral y puedan enfrentar la complejidad de los diferentes tipos de proyectos a evaluar.

Durante la ejecución de la evaluación de impacto ambiental debe concentrarse la atención en los impactos más importantes, sin que ello implique minimizar la importancia de otros; de hecho, determinar los principales impactos permitirá profundizar en el análisis en los semejantes.

Durante la realización de la evaluación de impacto ambiental debe garantizarse el uso de las técnicas adecuadas y que se analicen tanto los elementos físicos naturales abióticos y bióticos como los socios económicos.

### Funciones básicas de las EIA

1. Conocimiento de los posibles impactos de una acción determinada sobre el medio ambiente.
2. Coordinación de los impactos ambientales, contemplados desde un punto de vista global, pero analizando también los aspectos individuales. Ello posibilita una racionalización de la gestión ambiental, mediante la unidad de evaluación de los problemas.

3. Flexibilidad en lo que respecta a la aplicación de la legislación general y una mejor adaptabilidad a las necesidades ambientales. Permite además aplicar las medidas correctivas precisas en cada caso, lo que sólo se consigue a partir de un conocimiento amplio del territorio y de una evaluación de los impactos posibles.
4. Consenso derivado del diálogo con los grupos sociales, el cual a su vez es posible solamente a partir del conocimiento de todos los aspectos de la acción. Con ellos se consigue un consenso social y una participación ciudadana absolutamente necesaria para determinado tipo de proyectos.
- 5.

### Consulta pública

La participación de la población en las decisiones que afectan los componentes del medio ambiente, no sólo impone una democratización, sino que hace que la población se sienta cada vez más responsable de la conservación y la protección de su hábitat y del ecosistema.

En la actualidad la realización de la consulta pública es un paso indispensable para su aprobación ya que las personas que viven en la comunidad tienen mejor conocimiento del medio ambiente local. Además, para la mayoría de las personas que viven en el área, la protección del lugar donde coexisten y la ordenación de sus recursos de forma sostenible adquieren una gran importancia.

Las autoridades encargadas de la aprobación de la EIA deben tener en cuenta en sus análisis los criterios que sobre el proyecto tiene la población que vive en la zona que puede tener cierta afectación. Para ello deben utilizar las formas de organización comunitaria que existe en cada región.

### Monitoreo ambiental

Es imprescindible garantizar la vigilancia o monitoreo sistemático del cumplimiento de las sugerencias y recomendaciones que emanan de la EIA. Los elementos a monitorear pueden surgir en el propio proceso de EIA o emanar de la Licencia Ambiental.

#### ***2.1.3.2 Auditoria ambiental***

Se diferencia de la EIA en que la misma se realiza en un proyecto ya ejecutado. Esto hace que existan algunas variaciones en el proceso de realización, las que se explicarán en el tema correspondiente a este aspecto.

#### **2.1.4 Inspección estatal ambiental y licencia ambiental**

La EIA debe someterse a un proceso de aprobación por las autoridades competentes. El análisis de los resultados de la EIA tendrá en cuenta si ésta se ha desarrollado con el rigor requerido, si se han tenido en cuenta todos los elementos que pueden influir y cuáles son las conclusiones y recomendaciones. Es posible que las autoridades competentes no otorguen la licencia ambiental. En tal caso, el inversionista debe reanalizar y rediseñar el proyecto, el que luego se someterá a una nueva EIA. Por otra parte, la licencia puede otorgarse incluyendo algunas recomendaciones de obligatorio cumplimiento antes de la ejecución del proyecto.

### **2.1.5 Programa Nacional de Investigaciones Científico-Técnicas**

Los programas de investigación para perfeccionar la gestión ambiental deben desarrollarse teniendo en cuenta las características naturales, sociales y económicas de cada región específica y su implementación debe realizarse con la participación de las instituciones científicas más capacitadas para ello y con la contribución de la comunidad, incluyendo los sectores industriales, comerciales y los responsables de mantener la higiene de las áreas urbanas, semi-urbanas y rurales. La contribución directa de la población y sus criterios para mejorar los programas contribuirán sin duda al éxito de los mismos.

### **2.1.6 Sistema nacional de áreas protegidas**

Áreas protegidas son aquellas áreas que por alguna razón (de índole biológica, geológica, paisajística, entre otros elementos) son sustraídas a la acción humana con objeto de mantenerlas en sus condiciones originales. Sobre esta idea básica se han desarrollado innumerables interpretaciones que se reflejan en la gran variedad de denominaciones y grados de protección de que gozan dichas áreas. Una primera división nos permite diferenciar entre parques nacionales y reservas, por un lado; y parques naturales por el otro.

Los parques nacionales son áreas naturales de grandes dimensiones, controladas y gestionadas por las autoridades gubernamentales y provistas de medios adecuados para que los visitantes puedan disfrutar de la naturaleza y al mismo tiempo aprender a conocerla.

Disponen pues, de uno o varios centros de recepción donde se facilita material informativo (libros, medios audiovisuales, mapas, entre otros) y disponen de senderos señalizados o autoguiados desde los que es posible contemplar los puntos de mayor interés. Dentro del parque puede haber reservas integrales, a las que está prohibido el acceso, y áreas de observación de fauna (amplios recintos vallados con especies autóctonas) o flora (jardines botánicos integrados en el paisaje).

La reserva tiene un carácter menos didáctico y divulgativo que el parque nacional y sus fines y medios pueden ser muy diversos. Cabe distinguir entre reservas generales, donde se conserva el conjunto de la naturaleza; reservas integrales, donde la protección es absoluta no permitiéndose ningún tipo de intervención humana (se restringe incluso, en casos muy limitados, la visita de los científicos); reservas orientadas hacia algún aspecto de la naturaleza (botánico, zoológico, geológico, etc.), que se favorece mediante medidas concretas, y reservas de caza, donde lo que se intenta es fomentar el desarrollo de las especies cinegéticas.

También reciben la denominación de espacios protegidos los parques naturales, áreas de especial interés naturalista en las que se permite un cierto grado de intervención humana (explotación ganadera, agricultura, obtención de madera, pesca, caza, etc.) Estos parques pueden tener una gran extensión, abarcando dentro de sus límites poblaciones y vías de comunicación. Es frecuente también que los parques naturales se establezcan alrededor de los parques nacionales, actuando como zonas intermedias de protección.

Además de estos tipos de áreas protegidas existen otros como son los parques regionales, los parques de interés nacional, etc., que brindan un grado limitado de protección. Por otra parte, organismos internacionales o conferencias mundiales de expertos han declarado a su vez espacios protegidos, determinadas áreas, como son las Reservas de la Biosfera (ecosistemas importantes y característicos de una región), las áreas de especial protección para las aves o



los humedales de importancia internacional, que han quedado incluidas en una lista elaborada en el Convenio de Ramsar.

### **Vigilancia ambiental**

A diferencia de las formas de gestión que se presentaron anteriormente y que son realizadas como actividad profesional por entidades especializadas, la vigilancia ambiental puede ser ejercida también por la ciudadanía.

Los problemas ambientales pueden parecer, a simple vista, muy alejados de la competencia del ciudadano común. Sin embargo, el deterioro del medio ambiente afecta nuestro quehacer cotidiano y la calidad de vida de los seres humanos. En nuestro entorno inmediato se pueden encontrar algunos problemas ambientales que las personas con conocimiento pueden detectar fácilmente y realizar acciones para su eliminación o mitigación:

- Micro basureros
- Expendio de alimentos mal elaborados o en lugares indebidos
- Industrias contaminantes
- Aguas contaminadas
- Malos olores
- Aparición de plagas
- Áreas verdes mal diseñadas o ausencia y escasez de áreas verdes
- Ruidos excesivos
- Calles sin pavimentar
- Monumentos en proceso de deterioro.

Una vez percibido el problema ambiental, el ciudadano puede actuar y ejercer sus derechos ambientales y contribuir con su gestión a la protección del ecosistema. Las organizaciones sociales, las estructuras del Poder Popular, los órganos locales de administración, las organizaciones estudiantiles, etc., también deben actuar concientemente para preservar el medio ambiente.

Se pueden emprender distintas acciones como reclamos, denuncias y gestiones de saneamiento o mejoramiento con la participación popular. Los reclamos se pueden hacer al Delegado de Circunscripción y, si la situación no es de su competencia, el Delegado debe servir como intermediario con la entidad competente y dar respuesta de su gestión a la ciudadanía.

La denuncia se realiza ante el órgano de justicia competente u órgano de prensa cuando se ha detectado una infracción de la legislación ambiental vigente o un daño causado por personas jurídicas o naturales. Lógicamente, esto requiere de la ciudadanía el conocimiento esencial de la legislación ambiental y la capacidad para reconocer cuando se está en presencia de un problema ambiental.

#### **2.1.7 Educación y divulgación ambiental**

La educación ambiental no es solamente una tarea del Ministerio de Educación. Todos los centros productivos y de servicios, industrias, entidades estatales, hospitalarias, etc., deben cooperar con los servicios comunales para contribuir a garantizar la higiene y salud de las comunidades y la protección del medio ambiente. En Cuba se trabaja para lograr la cooperación estrecha entre las instituciones arriba mencionadas.

### 3 Los residuos sólidos urbanos: Generalidades



*Figura 3. Vertedero*

La degradación ecológica actual, tiene su comienzo en la concepción antropocéntrica del hombre, agudizándose en los últimos decenios del siglo pasado a causa del acelerado desarrollo tecnológico de algunos países a costa de los recursos naturales de todo el planeta. Olvidar o ignorar los daños que el hombre hace hoy a la naturaleza, hará que, más temprano que tarde, tenga que sufrir las consecuencias de los daños infringidos.

El deterioro del medio ambiente tiene como efecto el surgimiento de situaciones o estados no satisfactorios con respecto a una parte o a la totalidad de sus componentes. A este fenómeno le llamamos problema ambiental, el cual puede tener alcance global, regional, nacional y/o local. Entre los problemas medioambientales con mayor alcance en la actualidad, está el relacionado con el aumento incontrolado de los residuos sólidos urbanos.

#### **¿Qué son los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)?**

Normalmente nos referimos al término de residuo, a todo lo que es generado, producto de una actividad y no es de nuestro interés, ya sea por la acción directa del hombre o por la actividad de otros organismos vivos, formándose una masa heterogénea que, en muchos casos, es difícil de reincorporar a los ciclos naturales.

Los residuos han existido siempre sobre la Tierra, pero desde el mismo momento en que comienzan a acumularse en el medio ambiente ya sea por la velocidad con la que se generan, como por la naturaleza química de estos; haciendo que se dificulte su descomposición e incorporación a los ciclos naturales, entonces comienzan a ser un problema ambiental.

Los residuos son originados por:

<b>Los organismos vivos</b>	Este grupo incluye todos los residuos generados por los seres vivos como desechos de las funciones que estos realizan, por ejemplo; la caída de hojas, flores y frutos de las plantas, los residuos generados por las excretas de los animales, la descomposición de organismos muertos, etc.
-----------------------------	---

<b>Los fenómenos naturales</b>	Aquí se incluyen todos los residuos derivados de los ciclos o fenómenos naturales, por ejemplo; la erupción de un volcán, la sedimentación y la erosión de suelos producto del viento o de la lluvia, entre otros.
<b>La acción directa del hombre</b>	En este grupo se encuentran los residuos más peligrosos para el medio ambiente pues muchos de ellos tienen un efecto negativo y prolongado en el entorno, lo cual viene dado en muchos casos por la propia naturaleza físico-química de los desechos; como ejemplo de esto tenemos los residuos domésticos, los hospitalarios, los constructivos, etc.

## 4 Gestión de los residuos sólidos urbanos

De una u otra forma, todos generamos residuos sólidos, de ahí que debemos cooperar si pensamos en solucionar los problemas ambientales que estos producen. A su vez, los residuos sólidos originan impactos económicos importantes asociados a los costos para su tratamiento y disposición final. La manera de encarar la problemática está relacionada con los conceptos actuales de evitarlos y minimizarlos.

Por el efecto negativo que tienen los residuos en el medio ambiente, no se puede permitir que su acción se haga persistente. Se necesita del montaje de un sistema de acciones ambientales planificadas, que abarquen desde el momento de la generación del residuo, hasta su disposición final más adecuada. Se deben tener en cuenta las características de los residuos: socioeconómicas y de volumen, su procedencia, costos de emisión y tratamiento, directrices administrativas y posibilidades de recuperación y comercialización. A este sistema de acciones u operaciones se le conoce como **Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos**.

La gestión de los residuos sólidos urbanos, presupone la aplicación de técnicas, tecnologías y programas específicos que permitan el logro de los objetivos trazados y el cumplimiento de las metas propuestas, teniendo en cuenta, en primer lugar, las características de cada localidad en particular.

Lo anterior implica que es necesario formular la visión para el manejo de los RSU que considere los factores propios de cada zona de trabajo, para asegurar la sostenibilidad de la gestión y garantizar el alcance de los beneficios esperados. Después, se debe establecer e implementar un programa de manejo para lograr esta visión.

Para la realización adecuada de esta actividad, es preciso conocer los elementos que la condicionan, lo cual nos permitirá darles un mejor destino; la clasificación de los RSU según su naturaleza y origen, las características que se derivan de sus propiedades, su composición, así como las etapas del ciclo de vida de estos.

### 4.1 Clasificación de los residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos se pueden clasificar de diversas formas y criterios, en dependencia de la importancia que revisten la utilidad, la peligrosidad, fuente de producción, posibilidades de tratamiento, tipo de materiales, entre otros.

En el esquema siguiente, se resumen las distintas terminologías que se les aplican a los RSU, según el criterio de clasificación que se tome como referencia y la interconexión que existe entre ellos, pues para una mejor comprensión de su importancia en el manejo, se hace necesario integrar los distintos criterios de clasificación.

Por su **composición química**, los residuos orgánicos generalmente tienen un origen biológico, el agua constituye su principal componente y están formados por los residuos y los desechos de origen alimenticio, estiércol y/o animales pequeños muertos; también proceden de las actividades domiciliarias, comerciales u hospitalarias. Estos productos, todos putrescibles, originan, durante el proceso de fermentación, malos olores y representan una fuente importante de atracción para los vectores.

*Tabla 1. Clasificación de los residuos sólidos urbanos (RSU)*

Por su composición química	Orgánicos
	Inorgánicos
Por su utilidad o punto de vista económico	Reciclables
	No reciclables
Por su origen	Domiciliarios
	Comerciales
	Constructivos
	Industriales
	Agrícolas
Por el riesgo	Peligrosos
	No inertes
	Inertes

Aproximadamente el 70% de los RSU que se generan en las ciudades, son de naturaleza orgánica, pero estos también pueden clasificarse atendiendo a su origen, como se indica a continuación:

<b>Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos según su origen</b>	
<b>Domiciliarios</b>	Son originados por la actividad doméstica, como residuos de cocina, restos de alimentos, embalajes y otros. Se incluyen dentro de este grupo los procedentes de residencias colectivas como albergues, hoteles, etc. Por ejemplo: cáscaras, hojas, tallos, restos de comidas, huesos, carnes, pescados, vegetales cocidos y demás. Todo esto mezclado con restos de materiales usados como papel, trapos, maderas, cueros, etc., y con una pequeña proporción de objetos determinados, tales como: vidrios, frascos, trozos de loza, latas, pedazos de metal, juguetes rotos, etc.; constituyen los residuos domésticos. A este grupo se adicionan un conjunto de desechos voluminosos, también de origen doméstico, como grandes embalajes y muebles, que debido a sus dimensiones, no son adecuados para su recogida por los servicios municipales
<b>Comerciales</b>	Son generados por las actividades comerciales y del sector de servicios dentro del área urbana. En este grupo, por sus características especiales, no se incluyen los residuos de los hospitales.

<b>Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos según su origen</b>	
<b>Hospitalarios</b>	Son aquellos desechos producidos en centros de salud, generalmente contienen vectores patógenos de difícil control. El manejo de estos residuos debe ser muy controlado y va desde la clasificación de los mismos, hasta la disposición final de las cenizas pasando por el adecuado manejo de los incineradores y el correcto traslado de los residuos seleccionados para este fin.
<b>Constructivos</b>	Son originados por las construcciones, las remodelaciones, las excavaciones u otro tipo de actividad destinada a estos fines. Esta categoría incluye los grandes volúmenes de escombros y los restos de materiales en cada obra, que en ocasiones son depositados incorrectamente en lugares como cauces de ríos, generando daños a estos ecosistemas y sus respectivas consecuencias a los restantes componentes del medio ambiente.
<b>Industriales</b>	Son muy variados en dependencia del tipo de industria, pueden ser metalúrgicos, químicos, entre otros; y se pueden presentar en diversas formas como cenizas, lodos, plásticos y restos de minerales originales. El control de los depósitos de estos residuos, es muy importante ya que en ocasiones, en el proceso intervienen minerales como plomo, cadmio o mercurio, muy letales para los componentes vivos del medio ambiente.
<b>Agrícolas</b>	Por lo variado de su composición pueden ser clasificados como orgánicos o inorgánicos, puesto que mayormente son de origen animal o vegetal y son el resultado de la actividad agrícola. En este grupo se incluyen los restos de fertilizantes inorgánicos que se utilizan para los cultivos.

Muchos de los residuos mencionados pueden ser reutilizables en otras actividades económicas o sencillamente para la obtención de sustancias orgánicas que se incorporan nuevamente a los ciclos naturales de ahí que por su utilidad los residuos urbanos puedan clasificarse en:

<b>Reciclables</b>	Pueden ser reutilizados como materia prima al incorporarlos a los procesos productivos.
--------------------	---

<b>No reciclables</b>	Por su característica o por la no-disponibilidad de tecnologías de reciclaje, no se pueden reutilizar. El tratamiento, en ambos casos, es distinto, cuanto más recuperable pueda hacerse el procesamiento de los RSU, tanto mejor será su disposición sanitaria y cuanto más rentable sea o menos gastos implique el proceso, mayor habrá de ser el uso que podamos dar a sus componentes.
-----------------------	--

En cualquier medida tanto los residuos orgánicos como los inorgánicos, constituyen un problema de alta peligrosidad la que se hace mayor cuanto más sea el volumen de residuos que se generan, de ahí que los residuos peligrosos son los que representan mayor riesgo para la salud humana, los seres vivos y/o los restantes componentes del medio ambiente, si no se manejan adecuadamente, tienen características tales como inflamabilidad, corrosividad, reactividad, y toxicidad. Dentro de este grupo, existen algunos que son muy difíciles de degradar, por lo que se les considera como **inertes o persistentes**.

Otro elemento de gran importancia a tener en cuenta en la gestión de los residuos sólidos urbanos es, sin duda la composición de los mismos. Los grandes volúmenes de residuos sólidos que se generan en las comunidades son muy heterogéneos, de ahí que el conocimiento de los elementos presentes en los mismos se debe tener en cuenta para poder procesar los RSU de forma eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

#### **4.2 Características de los residuos sólidos urbanos.**

Las propiedades químicas de los componentes de los RSU, constituyen un elemento de significativa importancia para el uso y manejo que se haga de ellos. A partir de las características de los RSU, se toman las decisiones pertinentes relacionadas con el sistema de tratamiento más adecuado para cada caso. Valoremos a continuación la *relación propiedad/característica/manejo de los residuos sólidos urbanos*.

<b>Densidad</b>	Este parámetro influye sobre los medios de recogida y sobre las posibilidades de tratamiento. El peso específico de las sustancias que encontramos en los RSU, varía notablemente de unos a otros de ahí que existan diferentes técnicas para la separación y clasificación de los elementos, así como de los medios de transportación más idóneos para cada caso, según las dimensiones del volumen de recogida.
<b>Solubilidad</b>	Se debe tener en cuenta esta propiedad ya que puede considerarse una vía de ingreso de contaminantes al suelo y acuíferos, en dependencia de la solubilidad en agua de los productos que forman los RSU. Otros productos son liposolubles y se acumulan en el tejido adiposo de ciertos animales incluyendo el hombre, provocando efectos negativos en estos que pueden durar varios años pues quedan insertados en las cadenas de alimentación, provocando su acumulación y la generación de enfermedades.

<p><b>Humedad</b></p>	<p>El grado de humedad de los RSU depende, además del propio residuo, del clima y de las estaciones del año. Los residuos orgánicos, son los más húmedos y se descomponen con facilidad y por la cantidad de materiales que incorporan al medio se utilizan generalmente para tareas de compostaje. Los inorgánicos por el contrario, son generalmente secos aunque algunas sustancias químicas que los componen, tienen un alto poder higroscópico por lo que absorben la humedad, favoreciendo el proceso de descomposición de otros elementos que estén a su alrededor y provocando reacciones químicas colaterales en las que se pueden formar otros agentes contaminantes. Debido a esta propiedad de los RSU es que se requiere rapidez en su recogida.</p>
<p><b>Poder calorífico</b></p>	<p>Parámetro fundamental para decidir sobre el sistema de tratamiento a emplear para los RSU, especialmente si es factible o no emplear el proceso de incineración. Durante la descomposición de los RSU, el desprendimiento de energía en forma de calor es elevado y su valor depende de la cantidad y el tipo de sustancia que se descompone, este aumento de temperatura promueve otras reacciones colaterales en la que otros elementos, térmicamente inestables, también se descomponen, contribuyendo a la putrefacción de los residuos y generando condiciones de insalubridad. El poder calorífico inferior (PCI) de los RSU varía entre 800 y 1600 kcal/kg, elemento a tener en cuenta para la generación de energía eléctrica a partir de éstos.</p>
<p><b>Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)</b></p>	<p>La materia orgánica está constituida fundamentalmente por carbono, hidrógeno y otros elementos como el nitrógeno y el oxígeno. En dependencia de la proporción en que se encuentren el carbono y el nitrógeno en los residuos, serán sus propiedades ácidas o básicas, esto definirá la calidad del compost que se produzca con estos residuos y su potencial uso en dependencia de los requerimientos del tipo de suelo o cultivo que se vaya a tratar. El valor óptimo de la relación Carbono/Nitrógeno para labores de compostaje está entre 25 y 30, puesto que con valores superiores a esta cifra, el compost resultante no es óptimo para el desarrollo de los cultivos.</p>

Otros productos presentes en los RSU, tales como papeles, cartones, cueros, gomas, botellas, metales, tierra, etc. no presentan peligro sanitario de consideración, aunque su acumulación en grandes cantidades sirve de refugio a ratas, cucarachas, moscas y de depósitos para larvas de mosquitos. También se incluyen en este grupo los residuos recogidos durante el barrido de calles, los que generalmente están constituido por cajetillas de cigarrillos, cerillas, polvo y papeles, entre otros.

Las cenizas, por su parte, son productos de desecho del carbón y otros combustibles usados con fines industriales o domésticos para cocinar y/o calentar, se consideran molestas por el polvo que producen el que, en alguna medida, puede afectar la salud de los ciudadanos.



Finalmente, las excretas que se encuentran excepcionalmente en los residuos, son procedentes de gatos, perros y otros animales, pero estas se descomponen rápidamente, por lo que no se considera que tengan un efecto negativo en el medio ambiente, todo lo contrario, cuando son bien depositados contribuyen a la incorporación de nutrientes al suelo.

### ***4.3 Composición de los residuos sólidos urbanos***

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

- Estar determinada por las características de la población que los genera: Así por ejemplo, difieren grandemente según las particularidades poblacionales de las distintas áreas en las que se generan, como son la urbana, la rural, la turística, la industrial, etc.
- Estar determinada por la época del año en que se generan: En tal sentido, la influencia de las variaciones del clima en la agricultura, los cambios de actividad en períodos vacacionales, entre otros, inciden en la composición de los residuos.
- Estar determinada por el nivel cultural y económico de la población que los genera: Lo anterior está muy relacionado con las características de los productos del primer grupo. Las características de los productos dependen de los hábitos de consumo y generación de residuos de los habitantes de las determinadas zonas.

La caracterización de los residuos es la clave para su manejo y disposición responsables. Al cuantificar las concentraciones de elementos potencialmente dañinos se pueden tomar decisiones acerca de su reutilización, reciclaje, tratamientos y/o eliminación. El conocimiento de la composición de estos es importante al decidir sobre la elección del sistema de tratamiento. La composición de los residuos sólidos urbanos es enormemente variable y en ella influyen una serie de factores muy diversos.

#### 4.4 Ciclo de vida de los residuos sólidos urbanos

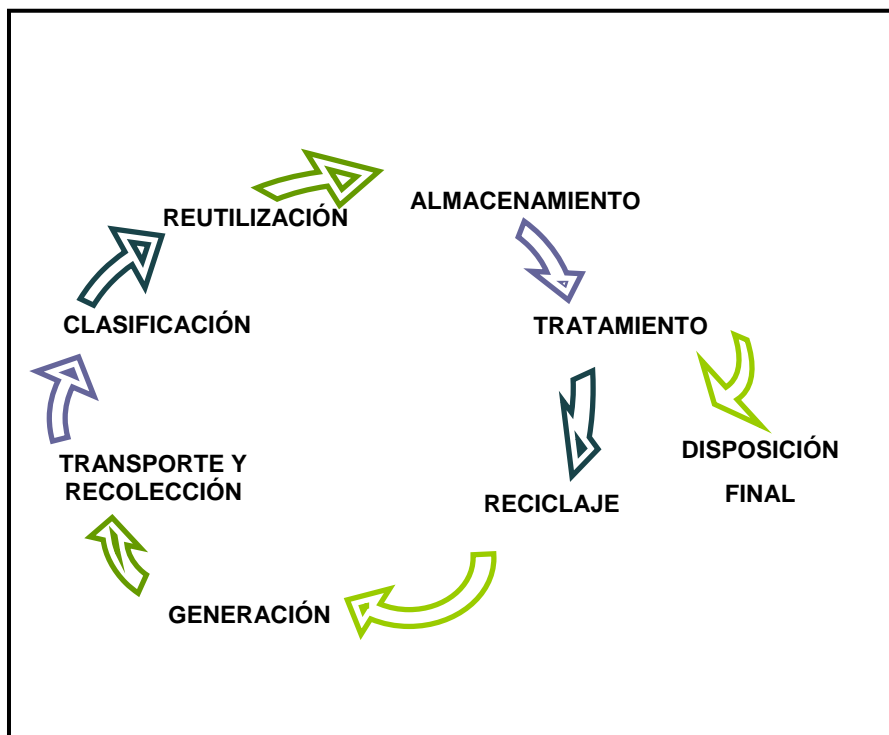


Figura 4. Ciclo de vida de ocho fases de los RSU

Los sistemas naturales que operan en los ecosistemas, lo hacen en forma cíclica, así por ejemplo, los especialistas han determinado las regularidades inherentes a los ciclos del agua, el carbono, el nitrógeno y el relacionado con las grandes cadenas de alimentación basadas en las relaciones tróficas que se establecen entre los organismos, evidenciándose la estrecha dependencia entre, productores, consumidores y descomponedores, en la que cada uno de ellos juega el rol protagónico.

De igual forma ocurre en las sociedades, desde el punto de vista dialéctico, el desarrollo social es comparado con una espiral ascendente, en la que cada etapa es cualitativamente superior a la anterior, llevando al incremento en los niveles de la producción material y la calidad de vida, pero inevitablemente, a este progreso se suma el aumento en los volúmenes de RSU que se generan en la sociedad, cuyos parámetros de cantidad, también presentan variaciones cíclicas.

El ciclo de vida de los residuos, está compuesto de una serie de etapas que abarcan desde la generación, el transporte, el almacenaje y la disposición final de estos. El conocimiento de este ciclo, nos permite determinar los momentos en los que podemos actuar correctamente en el manejo y gestión de los residuos, nos ayuda además, a tomar conciencia sobre nuestra responsabilidad ciudadana al respecto. Una representación esquemática del ciclo de vida de los residuos sólidos urbanos y sus etapas, puede ser la que se representa en la Figura 4, en la que:

**Generación:** Es la primera etapa del ciclo de vida de los residuos y está estrechamente relacionada con el grado de conciencia de los ciudadanos y las características socio-económicas de la población.

**Transporte y recolección:** En esta etapa los residuos son retirados de la vía mediante la recogida manual o mecanizada y transportados hacia las plantas de clasificación o hacia los vertederos de disposición final. Consiste en el proceso de recolección separativa por unidades vehiculares motorizadas o no. Las ventajas de esta forma de trabajo, son la optimización del personal y el vehículo de transporte. La experiencia indica un aumento considerable de la velocidad de recolección de hasta 80 kg/min y permite que el personal operativo aprenda trabajando. En las áreas de difícil acceso o en pendientes pronunciadas, los residuos deben ser transportados en contenedores asignados a tal propósito.

**Clasificación:** Los residuos útiles como fuente de materia prima son clasificados según su composición e incluye además la separación selectiva de los residuos según su naturaleza y/o su destino final.

**Reutilización:** Es el uso que podemos darle a algunos residuos antes de confinarlo a la etapa de almacenamiento, logrando alargar su ciclo de vida y el ahorro de materiales.

**Almacenamiento:** Es una etapa muy importante, ya que en dependencia de cómo depositamos los residuos, los mismos podrán ser usados como materia prima en la etapa de reciclaje. El almacenamiento se realiza primeramente en nuestras casas, centros de trabajo o escuelas para después ser colocados en los depósitos públicos y retirados en la etapa de recolección y transportación.

**Tratamiento:** Consiste en la transformación de los residuos orgánicos e inorgánicos en instalaciones destinadas a este fin y con la tecnología apropiada, en base al volumen de productos y a las demandas del comprador de estos una vez transformados. Por ejemplo:

- A los residuos orgánicos, se les aplican distintas técnicas de separación de las impurezas para que puedan ser reciclados.
- Los residuos inorgánicos son seleccionados, triturados, lavados y embolsados según las demandas del comprador. Las latas sólo serán comprimidas y embaladas.
- Los residuos tóxicos y de alta peligrosidad como los hospitalarios se eliminan, con las debidas medidas de seguridad, en los rellenos sanitarios u otro sitio seleccionado para ello.

Las ventajas del tratamiento son: aumentar el valor agregado de las materias recuperadas, generación de empleos, prolongación de la vida útil del relleno sanitario y posibilidades de mejoramiento continuo del proceso.

**Reciclaje:** Es el aprovechamiento de los RSU como materia prima y su incorporación nuevamente a los ciclos tecnológicos de la industria. Incluye además el tratamiento que reciben algunos desechos orgánicos al ser reutilizados como alimento para animales.

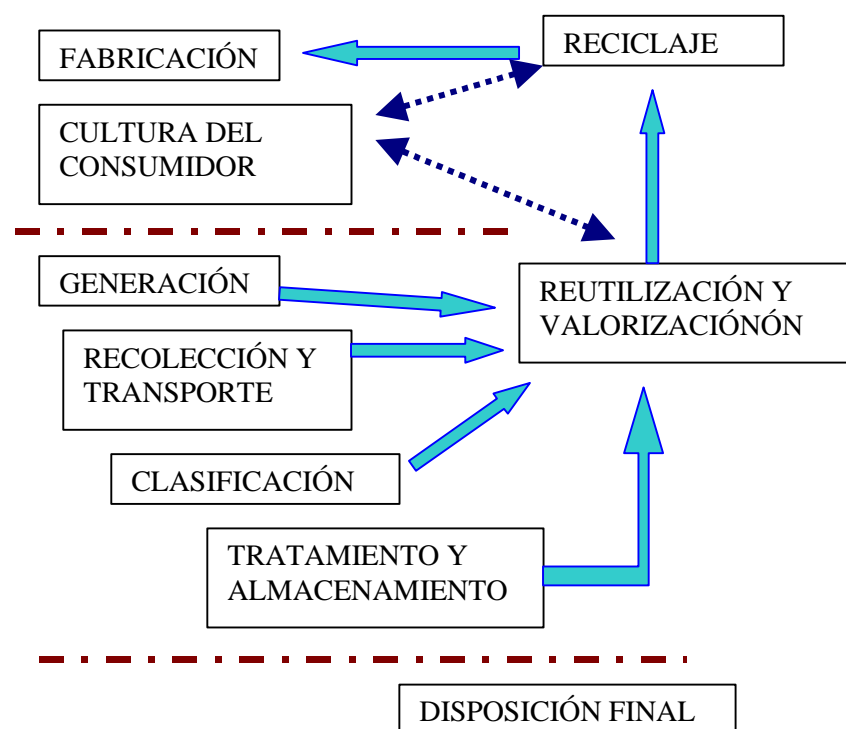
**Disposición final:** Es el confinamiento y encapsulamiento de los RSU inservibles, tóxicos y peligrosos, para evitar el contacto eventual de estos residuos con el exterior, principalmente con los organismos vivos. La disposición final de los residuos se realiza en los vertederos o rellenos sanitarios, de forma tal que los productos no presenten riesgos para la salud ni para los componentes de los ecosistemas.

Para la localización de los rellenos sanitarios se deben evaluar 3 ó 4 áreas alternativas aplicando un método de criterios múltiples que tenga en cuenta los aspectos económicos, los impactos ambientales, la cercanía a la ciudad, la accesibilidad, los criterios de vida útil de entre 10 y 15 años, y finalmente las condiciones climáticas. En la fase de puesta en marcha del sistema, se prevé un determinado porcentaje de residuos orgánicos e inorgánicos que

llegarán al relleno sanitario y que serán confinados conjuntamente con los desechos tóxicos y peligrosos.

Para garantizar el diseño correcto y eficiente operación de cualquier relleno sanitario deben observarse los requisitos listados a continuación: Vías de acceso bien definidas y transitables de las áreas de relleno y los suelos, una cerca de protección adecuada, un método correcto de disposición de celdas, existencia de canales de lixiviación y de canalización, cantidades y calidades adecuadas de los materiales de recubrimiento, construcción de chimeneas de gases, pozas de lixiviados y adecuado sistema de protección y control de la zona.

El personal que trabaja en el relleno, debe contar con ropa y herramientas de trabajo apropiadas, equipos de seguridad y todos los demás medios según lo estipulado en las leyes de protección e higiene laboral aprobadas por el Estado.



*Figura 5. Ciclo de vida de nueve fases de los RSU desde el punto de vista social*

Al analizar el ciclo de vida de los residuos desde el punto de vista social, vemos que éste es más amplio, pues comienza desde la producción de los bienes incluyendo los materiales para envases y embalajes, los que posteriormente se convertirán en desechos. Se debe tomar en consideración además la cultura del consumidor, ya que es él quien decide en que momento se deshace del producto y lo desecha.

Obsérvese además la interconexión entre cada etapa y de estas con la de reutilización y valorización de los residuos.

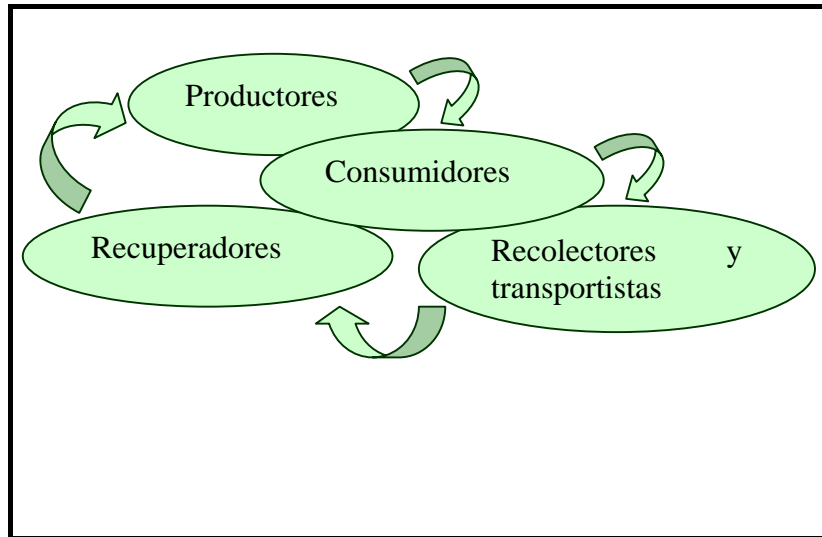
Según las características de este nuevo ciclo, se pueden distinguir cuatro tipos de actores en el proceso, ellos son:

Los productores: Son los responsables de la elaboración del producto nuevo o recuperado y de ponerlo a disposición de los consumidores.

Los consumidores: Quienes, voluntariamente, deciden hacer uso del producto por el tiempo que estimen necesario y luego desecharlo.

Los recolectores y transportistas: Son el personal autorizado y debidamente capacitado para la recogida y transportación de los desechos.

Los recuperadores: Son los que con variada dificultad, extraen de los desechos aquella porción reutilizable de estos y la ponen nuevamente a la disposición del primer actor.



*Figura 6. Principales actores en el ciclo de vida de los residuos*

Hoy más que antes, existe en Cuba una creciente preocupación por reducir los daños ambientales que producen los vertederos o los rellenos sanitarios y se ha hecho cada vez más difícil seleccionar y decidir sobre los sitios donde disponer de los residuos de manera segura. Para contribuir a optimizar la gerencia de los residuos sólidos urbanos se debe tener en cuenta y aplicar los principios siguientes:

1. Evitar el derroche de materias primas y energía;
2. Pasar de un sistema de producción, consumo y eliminación lineal a un proceso circular reintroduciendo los materiales en los ciclos productivos;
3. Evitar sistemas de eliminación de residuos que supongan un riesgo para el medio ambiente y la salud de la población.

De una forma u otra, a través de las diferentes actividades cotidianas consumimos productos y, por lo tanto, también contribuimos a la generación de residuos. Continuamente compramos, usamos y desecharnos bienes de consumo; si todos los productos que utilizáramos fueran biodegradables y libres de sustancias tóxicas, los procesos naturales los podrían degradar y devolver a la naturaleza, sin embargo, éste no es el caso.

Una vez los desechos hayan sido depositados en los vertederos o en los rellenos sanitarios, la descomposición de los residuos sólidos urbanos, conduce a la emisión de variados compuestos químicos, provocando la migración de sustancias peligrosas resultantes del proceso de acidificación de la degradación biológica.

Estos métodos de eliminación de los RSU contribuyen a la contaminación del aire, la tierra y las aguas. Los residuos emitidos también provocan efectos perjudiciales para la salud y la degradación del medio ambiente en general, además de impactos paisajísticos. Asimismo,

suponen un derroche de recursos naturales y humanos, que podrían aprovecharse en un espacio que ya no logrará ser recuperado.

Los gases emitidos por los rellenos y vertederos están compuestos por una mezcla de sustancias que incluyen el metano, el dióxido de carbono y otros compuestos orgánicos, como el tricloroetileno, el tolueno y el benceno. Algunas de estas sustancias son tóxicas y/o cancerígenas.

El gas metano es producto del proceso de fermentación anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de la materia orgánica presente en el relleno y supone aproximadamente el 50% de las emisiones de gases producidas en los rellenos. El gas metano es el responsable de los incendios accidentales que se producen en los rellenos. Los rellenos sanitarios contribuyen aproximadamente en un 20% a las emisiones antropogénicas globales de metano. (*Amigos de la Tierra, 1996*). El metano es uno de los gases que contribuyen a incrementar el efecto invernadero en el planeta, junto al dióxido de carbono.

Durante los incendios accidentales o provocados, y durante la combustión de compuestos clorados eventualmente depositados en los rellenos sanitarios, en especial los plásticos compuestos por cloruro de polivinilo (PVC) de amplio uso (envases de alimentos y bebidas, embalajes, juguetes, caños, etc.), se liberan a la atmósfera sustancias altamente tóxicas como las dioxinas y los furanos, catalogados como contaminantes orgánicos persistentes (COPs). En un estudio realizado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos en el año 1998, se identificaron las principales fuentes de dioxinas al aire de ese país. Se determinó que del total de emisiones, el 20% de estos provenía de incendios accidentales en rellenos y el 23% de la quema a cielo abierto de la basura domiciliaria.

La emisión de gases es particularmente preocupante debido a que los basureros y rellenos, son el destino de diferentes sustancias tóxicas de uso doméstico o industrial. Donde por ejemplo desde envases de pinturas o de solventes y hasta cáscaras de frutas son depositados indistintamente.

Los efectos sobre la salud debido a la exposición prolongada a niveles bajos de gases emitidos por un relleno sanitario no son de fácil estudio y evaluación, en gran parte por la falta de datos e información estadística. Nadie puede asegurar con rigor científico que los gases de un determinado relleno no afectan la salud de la comunidad vecina si no se ha realizado un estudio de ésta. Las personas que habitan en las cercanías de los rellenos no están expuestas solamente a las emisiones de un solo gas por vez sino a una mezcla de gases; lo cual dificulta realizar los estudios al respecto, así como la predicción de posibles afectaciones en el futuro.

La lluvia, los residuos líquidos eliminados en el relleno y, a veces, las capas subterráneas que entran en contacto con el relleno tienen un papel importante en la generación de lixiviados que arrastran las sustancias tóxicas presentes en los residuos.

Estudios realizados por el Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental de Estados Unidos, indican que se han encontrado altos niveles de metales pesados como plomo, cadmio, arsénico y níquel en los lixiviados provenientes de los rellenos. La exposición a estos metales puede provocar enfermedades en la sangre y los huesos, así como daños en el hígado, reducción de las capacidades mentales y otros daños neurológicos a los humanos. También se han encontrado compuestos orgánicos volátiles como benceno y cloro bencenos, tetracloroetileno, tricloroetileno, xileno y tolueno. La exposición a estas sustancias ha sido asociada con enfermedades como cáncer, leucemia, y daños neuronales y hepáticos. Por otra parte es importante señalar que debido a la acidez de la masa de los rellenos sanitarios, los metales pesados allí presentes puedan disolverse y migrar con el lixiviado.

Otras reacciones químicas que se producen en el relleno pueden también influir para que los metales allí presentes formen diferentes sustancias químicas que pueden desplazarse hacia las capas internas del suelo. Cuando los lixiviados llegan a los acuíferos o a los cursos de aguas superficiales, las sustancias tóxicas contenidas en los lixiviados contaminan las aguas con consecuencias perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. Actualmente algunos de los rellenos y vertederos existentes están completamente saturados y las autoridades confrontan dificultades para encontrar sitios nuevos para ubicar rellenos sanitarios, entre otras causas debido al impacto social de los RSU.

Por otra parte, la incineración no ha resultado ser la alternativa óptima, desde los puntos de vista económico y medioambiental, para tratar los enormes volúmenes de residuos que se generan. Esta situación *-claramente insostenible-*, es el resultado de años sin políticas serias para solucionar el problema ambiental generado por los RSU.

#### 4.5 *¿Qué son los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)?*

Son productos contaminantes, químicamente estables que se liberan al medio y se caracterizan por su alta peligrosidad debido al carácter tóxico, persistente, semivolátil y bioacumulable de estos productos.

**Tóxicos:** Por la cantidad de efectos perjudiciales que producen en los seres vivos, lo cual impone un alto índice de riesgo.

**Persistentes:** Porque al no ser biodegradables, soportan por largos períodos condiciones severas de temperatura, humedad y presión.

**Semivolátiles:** Porque presentan un elevado potencial de transporte al ser capaces de trasladarse a largas distancias por aire y por agua, prueba de ello es que se han encontrado COPs en los cascos polares.

Son además **bioacumulables** por su poca solubilidad en agua y alta solubilidad en la ‘grasa’ del tejido adiposo de muchos animales incluido el hombre. Por tal motivo es frecuente encontrar estas sustancias en la cadena alimenticia de los humanos.

Los efectos principales de los COPs para la salud humana y el medio ambiente son:

- La elevada lipofilia determina su acumulación y persistencia en el medio.
- El derrame o combustión de estos productos, además de afectar al medio ambiente, provocan la formación de nuevas sustancias aún más tóxicas.
- Altas dosis de COPs en el organismo, ocasionan varios tipos de cáncer y en bajas dosis, afectan el sistema inmunológico.
- Se transmiten de madre a feto y de madre a lactante, lo que los hace aún más persistentes.
- Provocan desequilibrios hormonales al imitar, sustituir o inhibir la acción de alguna hormona, ocasionando reacciones no controladas en el organismo como, malformaciones congénitas, problemas de esterilidad; daños en los sistemas urinario y respiratorio; disfunciones de los sistemas inmunológico, nervioso y reproductivo.

#### 4.6 *Importancia del manejo integral de los residuos sólidos urbanos*

La problemática del manejo integral de los residuos sólidos urbanos, está acompañada de oportunidades para el desarrollo sostenible, no sólo por el ahorro de los pasivos ambientales y los gastos en salud mencionados, sino por las ventajas económicas y sociales producidas por la recuperación de materiales comerciales, la generación de nuevas fuentes de empleo y el aumento de la gobernabilidad.

Se debe modificar el concepto de “... *tanto consumes tanto vales*”. Se ha tergiversado el concepto de calidad de vida; asociándolo al consumismo y al poder adquisitivo. Sin embargo, los ciudadanos que más consumen no necesariamente disfrutan de una mayor calidad de vida, esta actitud irresponsable promueve un desarrollo insostenible.

Paradójicamente, la inequívoca interpretación del concepto de desarrollo y calidad de vida, ha convertido las ciudades más grandes e industriales en colosales fábricas de desechos; aumentando en las mismas proporciones las consecuencias negativas a la salud, al medio ambiente y el acelerado agotamiento de los recursos naturales. Este “progreso industrial” ha impuesto el consumo de productos con empaques o envases desechables, llegando a índices de producción de desechos domésticos superiores a 2 kg por habitante al día.

Aproximadamente el 75% de la población mundial, reside en ciudades con tendencia al crecimiento, y por consiguiente también repercute en el aumento de los RSU; siendo estos uno de los factores que influyen negativamente en el deterioro del medio ambiente. Debido a la generación de gases y otras sustancias derivadas del proceso de descomposición de las fracciones orgánicas y a la combustión espontánea de estos gases, se producen sustancias altamente nocivas para la salud y el medio ambiente.

Los RSU contribuyen también a la contaminación de los ríos y acuíferos subterráneos *-por la infiltración en el suelo de los lixiviados y por el arrastre de las lluvias-*, llegando a incidir en la calidad de las aguas marítimas, contaminando las reservas disponibles de agua y provocando el agotamiento de los espacios para disponer los residuos así como el encarecimiento de los costos de tratamiento, entre otros efectos.

A modo de resumen podemos plantear que las opciones identificadas para el establecimiento de prioridades en la gestión de los RSU se concretan en la:

1. *Prevención y minimización;*
2. *Reutilización (especialmente para envases);*
3. *Reciclado (papel, vidrio, plásticos, etc.);*
4. *Valorización de la materia orgánica;*
5. *Valorización energética;*
6. *Eliminación de vertederos, cumpliendo los requisitos técnicos establecidos.*

La preferencia en el manejo de los residuos sólidos urbanos, es hacia la minimización de las fracciones a depositar en los vertederos, otorgando una alta prioridad a la recogida selectiva y al reciclado de diversos tipos de residuos como son: los papeles, vidrios, plásticos, escombros, materia orgánica, etc.

Se hace entonces necesario que, a partir del conocimiento de las normativas que rigen las acciones relacionadas con la correcta gestión de los residuos sólidos urbanos, se establezcan los principios para la elaboración de modelos útiles en el manejo adecuado de los mismos.



#### 4.7 Principios que sustentan un manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos:

Todo modelo de gestión de los RSU(Figura 7) debe contener elementos de políticas económicas y sociales.

Política – Lineamientos – Acciones	
<b>Política</b>	¿Aceptamos el desafío o no?
<b>Impulsora</b>	¿Nos decidimos a recuperar?
<b>Lineamientos</b>	¿En qué dirección?
<b>Orientadores</b>	¿Todos o nadie?

Figura 7. Bases del modelo de gestión de los RSU

**Una política impulsora**, capaz de despertar la conciencia ciudadana y la toma de decisiones pertinentes para cada caso, donde la comunicación y la sensibilización son capaces de promover el cambio de la percepción ciudadana respecto al problema.

**Lineamientos orientadores** que determinan la dirección de trabajo, los principales participantes y el rol de cada cual en la actividad.

**Acciones concretas** dedicadas a la ciudadanía las cuales se planifican según lo establecido en los principios para el manejo de los residuos, ellos son:

<b>Reducción en la fuente</b>	Minimizar la generación de RSU tanto en cantidad como en su potencial de causar contaminación al medio ambiente, entre otros, utilizando diseños adecuados de procesos y productos.
<b>Inventario del ciclo de vida</b>	Realizar un inventario a fin de que las sustancias y productos, se diseñen y manejen de manera que se reduzcan al mínimo sus impactos adversos al medio ambiente, en cada una de las fases de su ciclo de vida: Generación, Uso, Recuperación y Disposición final.
<b>Precaución</b>	Adoptar las medidas preventivas, considerando los costos y beneficios de la acción o la inacción, cuando exista evidencia científica, para sospechar que la liberación al medio ambiente de una sustancia, residuo o energía, pueden causar daños a la salud y al resto de los componentes.

<b>Control integral de la contaminación</b>	Realizar el manejo integral de los RSU, con un enfoque multifactorial, evitando la transferencia de contaminantes de un medio a otro.
<b>Estandarización</b>	Utilizar estándares o normas que permitan el manejo ambiental adecuado de los RSU en todas las fases de su ciclo de vida.
<b>Autosuficiencia</b>	Contar con la infraestructura necesaria para asegurar que los RSU que se generen, se manejen de forma adecuada en cada territorio.
<b>Proximidad</b>	Buscar que el acopio, tratamiento o disposición final de los RSU tengan lugar tan cerca de la fuente generadora como sea posible y que sean técnica y económicamente factible.
<b>Soberanía</b>	Tomar en consideración las condiciones políticas, sociales y económicas del país, al establecer la estructura nacional de manejo integral de RSU.
<b>El que contamina, paga.</b>	Hacer responsable de remediar las consecuencias de la contaminación a quien la produzca, teniendo en cuenta que de cualquier manera se producen afectaciones en los componentes del medio ambiente.
<b>Participación pública.</b>	Asegurar que al diseñar e instrumentar los sistemas de manejo integral de RSU, se informe e involucre al público.

Derivado de lo anterior se establece la existencia de tres principios generales y básicos para la adecuada gestión de los residuos sólidos urbanos ellos son:

**Principios básicos para una adecuada gestión de los residuos sólidos urbanos.**

**Reducir**

**Reusar**

**Reciclar**

## **Reducir**

La definición de este principio aparece en el primero de los puntos que resumen las bases que sustentan el manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos, no obstante, no podemos ver la reducción solamente como el diseño de procesos y productos, nuestra actitud, nuestros esquemas o nuestras formas de vida y comportamiento, inciden grandemente en la reducción en la emisión de residuos y obliga a los productores a realizar producciones más limpias.

El ciudadano debe aprender a reducir al mínimo la cantidad de residuos sólidos que genera. Debe entender que ello no significa que deba mantener una forma de vida menos agradable. Es, simplemente, estudiar alternativas para reordenar los materiales que usamos a diario. Una de las formas de intentar reducir la cantidad de desechos es combatir el desperdicio de productos y alimentos consumidos. A menor cantidad de residuos sólidos generados corresponderá una estructura menor para la recolección, y una reducción proporcional de costos en la disposición final.

Las autoridades responsables del manejo de los residuos deben contribuir a la correcta educación ambiental de la ciudadanía, para crear la conciencia social sobre la enorme responsabilidad de cada uno en el cuidado del hábitat, el entorno y la naturaleza en general. En Cuba se han creado las bases socioeconómicas, ideológicas y educativas para que los ciudadanos entiendan la esencia social, noble y humana de una conducta responsable ante sus semejantes y el medio ambiente.

En Cuba se trabaja para reducir la generación indiscriminada de residuos urbanos a través de campañas educativas hacia la población. En Cuba, la recogida de los RSU y la conservación de la higiene de las áreas urbanas y las zonas destinadas a la colección y disposición de los RSU está bajo la total responsabilidad del estado. En las condiciones actuales, educar a la población en reducir la generación de RSU, aumentará las posibilidades de la economía nacional para mantener una recolección estable y al mismo tiempo involucrará de forma más activa a todos los ciudadanos en el cuidado de la higiene comunitaria y el medio ambiente. Las campañas educativas contribuirán a que la mayoría de la población tome acciones específicas para reducir la emisión de residuos.

## **Re-usar**

Se recomienda la reutilización de todo producto o envase que lo admita, como por ejemplo, el vidrio. Además, se requiere que estos resistan un mínimo de diez años. Por su parte, el papel y el cartón, también son materiales reciclables, es decir, se emplean como sustitutos de materia prima virgen para hacer nuevos productos, por ejemplo, es posible armar cuadernos con los restos útiles de otros ya usados, también, las hojas de papel utilizadas en informes u otro tipo de escritos por una de sus caras, pueden emplearse para notas o borradores, en la medida de lo posible.

Existe un sinnúmero de formas de reutilizar los mismos objetos, hasta por motivos económicos. Escribir en ambas caras de la hoja de papel, usar de nuevo las bolsas plásticas, y aprovechar para otros fines los sobres ya usados, son solo algunos ejemplos de cómo reutilizar ciertos materiales y objetos. Desafortunadamente, en sentido general, en las sociedades actuales (la cubana incluida) se han hecho presentes algunos malos hábitos de despilfarro de recursos. Es necesario insistir en enseñar al ciudadano a reutilizar cada vez más los bienes que de lo contrario se convertirían en RSU para ser sometidos a procesos de tratamiento o depositados en rellenos sanitarios.

## **Reciclar**

Reciclar tiene como objeto la recuperación de forma directa o indirecta de determinados componentes de los RSU. Permite por una parte el ahorro de recursos naturales y por otra, la disminución del volumen total de los residuos sólidos urbanos a eliminar con el consiguiente ahorro energético y beneficio ambiental. Es el proceso de recuperación y valorización de recursos y materias primas producidas y desechadas que se pueden volver a utilizar, representando una fuente importante de ahorro, de recursos, de energía y de materiales.

Reciclar los recursos disponibles es una actividad que el ciudadano común puede realizar en la vida cotidiana. Es mas, el reciclaje como actividad económica y social, tiene como primer objetivo educar a los habitantes de las ciudades sobre las posibilidades personales y familiares para reciclar sus RSU a nivel del hogar. El procesamiento de determinados residuos permite reincorporar parte o todos sus componentes a la actividad económica de formas diferentes. Cada institución, familia, persona, educada en los principios del cuidado del medio ambiente y la higiene personal y familiar puede identificar productos con potencialidades para ser reciclados de una forma u otra y proponer las formas alternativas de hacerlo en su entorno y con ello contribuir notoriamente a la formación, sobre todo en los niños, de hábitos y costumbres propias de una actitud responsable e higiénica.

En Cuba, la gestión de las actividades de reciclaje lo dirige la Empresa de Recuperación de Materias Primas con la participación activa de muchas instituciones y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, como los CDR, los Servicios Comunales y los centros educacionales escolares, entre otros.

## 5 Sistema de manejo de los residuos sólidos urbanos (SMRSU)

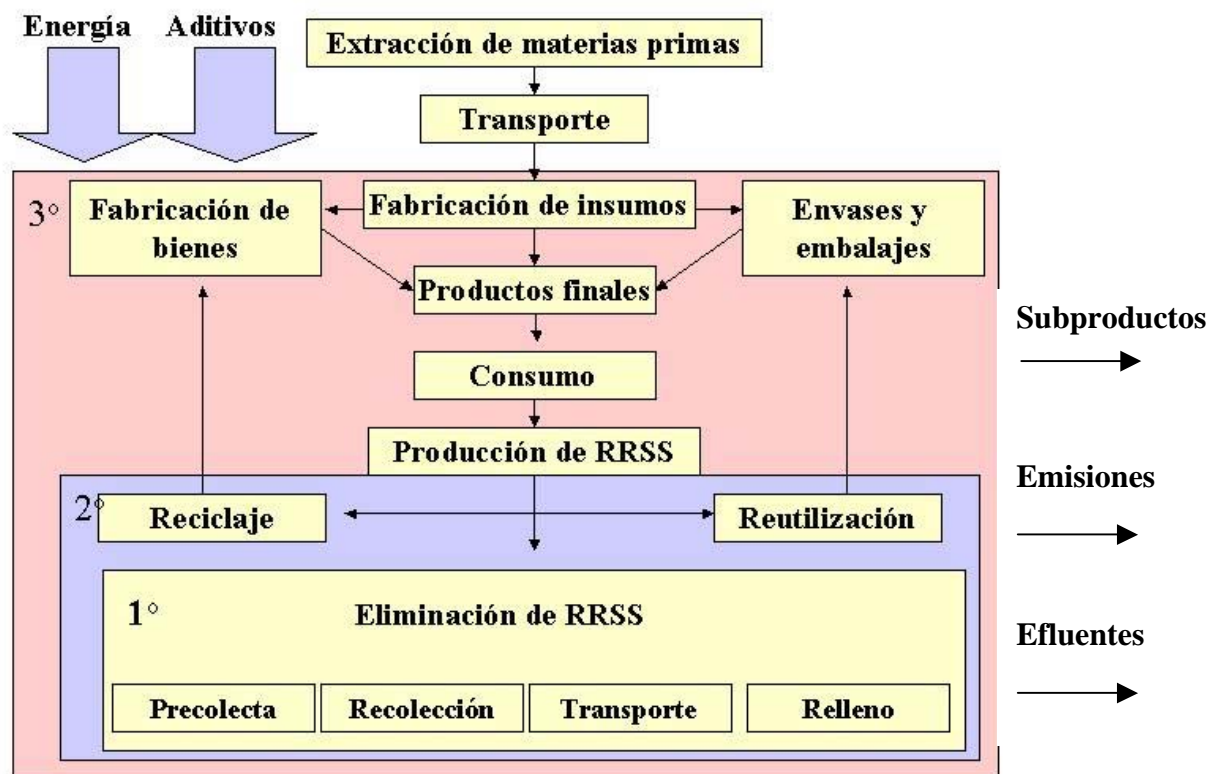


Figura 8. Sistema de manejo de los residuos

Cuanto más la sociedad reutiliza y recircula los productos catalogados como “desechos”, menos recursos naturales provenientes del medio ambiente utiliza y sobre todo, menos cantidades de residuos dispone en los ecosistemas. Los residuos generados, durante la producción de bienes, no deben incorporarse al entorno natural convertidos en desechos, sino que deben ser considerados (o valorizados) como “*materia prima reutilizable*”

En el proceso de valorización de los residuos orgánicos, los cuales representan el mayor porcentaje del total de desechos que se generan en Cuba y en la mayoría de los países, existen distintas vías para su procesamiento, pero su aplicación práctica depende de la disponibilidad de la tecnología requerida para el correcto tratamiento que se seleccione para las diferentes fracciones de los RSU desde el mismo lugar y momento en el que se generan. Los procesos de clasificación, separación, almacenamiento y transportación de la fracción orgánica de los RSU adquieren una connotada importancia para su reciclaje y en ello influye mucho la cultura del consumidor y el nivel de conciencia de la sociedad.

Para ilustrar lo anterior, se analizará a continuación cuáles son las principales vías para la valorización de la fracción orgánica de los RSU en Cuba.

## Principales vías de valorización para la fracción orgánica de los RSU

**Compostaje:** Proceso de destrucción y consumo de los almidones, proteínas y grasas contenidas en la materia orgánica, en presencia de oxígeno para transformarlos en abono. (Glosario Eco-portal, 2003)

**Biometanización:** Proceso realizado por microorganismos en ausencia de oxígeno, para producir metano (CH<sub>4</sub>), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y un producto orgánico (lodos) que una vez estabilizado se puede utilizar para el mejoramiento de los suelos principalmente para el cultivo de aquellos productos que no vayan a ser destinadas al consumo directo como productos alimentarios, tales como floricultura, madera, productos ornamentales, etc.

**Incineración con aprovechamiento energético:** Es un proceso de oxidación térmica que ocurre a altas temperaturas en el cual los residuos (peligrosos o no), son convertidos en presencia de oxígeno, en gases y residuos sólidos incombustibles. Los gases generados son emitidos a la atmósfera y los residuos sólidos son depositados en un relleno de seguridad. (Glosario Eco-portal, 2003)

**Vertederos:** Terrenos carentes de sistemas de protección y que se destinan para depositar RSU. Los líquidos residuales y los resultantes de la descomposición de los residuos sólidos pueden llegar hasta las aguas subterráneas y superficiales. Los vertederos no se tratan con capas de cobertura, lo que produce malos olores y contribuye a aumentar la presencia de vectores con el consecuente riesgo para la salud de la población.

**Rellenos sanitarios:** Son obras de ingeniería construidas normalmente sobre tierra, en la que los RSU son depositados en celdas provistas de capas de impermeabilización y capas de cobertura con tierra para evitar malos olores o la proliferación de vectores. Cuentan además con sistemas de evacuación de líquidos residuales y gases.

Dado que un alto porcentaje de los bienes de producción se convierten en residuos, después de satisfacer las necesidades para las que fueron producidos, los elementos del sistema de manejo de residuos incluyen un conjunto de operaciones de producción, recolección, transporte, mantenimiento, tratamiento, eliminación y/o valorización, derivadas del propio ciclo de vida del residuo.

Es importante tener en cuenta que el sistema de manejo de los residuos sólidos urbanos que se implemente no debe ser copiado o aplicado como una receta rígida, sino que debe partir de pautas y lineamientos que emanen de la realidad local, y debe ser evaluado y comparado con otros sistemas alternativos existentes en el país y en la región. Dicha evaluación debe ser realizada con criterios sociales, económicos y ecológicos.

El sistema que finalmente se seleccione para ser implementado puede ser ajustado y consolidado hasta alcanzar el estado óptimo de funcionamiento y operación. Para ello se realizarán acciones de monitoreo, documentación y análisis de los resultados, evaluación de los procesos, toma de medidas complementarias que permitan hacer los ajustes pertinentes y garantizar su eficiencia y sostenibilidad.

La dimensión del sistema de manejo de residuos sólidos que se diseñe debe tener en cuenta el volumen y composición de los residuos, la extensión y las tendencias de crecimiento poblacional, el nivel sociocultural y hábitos de consumo de sus habitantes, así como el rol que los líderes sociales desempeñan para garantizar el éxito de las actividades de saneamiento y protección ambiental.

El manejo integral de los RSU, es un proceso de mejoramiento continuo que no necesariamente aportará beneficios económicos e impacto medioambiental inmediatos. Sin embargo, es fundamental iniciar esta actividad sobre bases sólidas enmarcadas en los principios del desarrollo sostenible: progreso económico, equidad, justicia social y manejo racional de los recursos naturales.

La recuperación de las diferentes fracciones de los RSU es una decisión política que debe contar con el apoyo de toda la colectividad, estas decisiones deben ir acompañadas de acuerdos y compromisos que pueden no ser acatados en el corto plazo, debido a factores de cambio de actitud económicos y culturales, pero que si conducen al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad.

Finalmente, la gestión ambiental de los residuos sólidos urbanos, puede ser el instrumento para aprender a rehabilitar otros sistemas de servicios públicos dentro de la ciudad y por qué no, del país.

### ***5.1 Saneamiento ambiental, aseo urbano y gestión de residuos sólidos urbanos.***



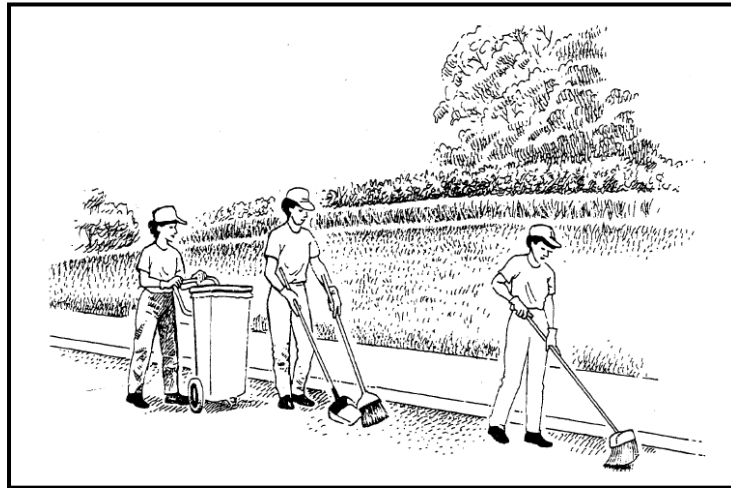
***Figura 9. Desagüe***

Durante milenios las comunidades humanas han generado residuos, comúnmente denominados basura, término que en la actualidad ha alcanzado dimensiones mucho más amplias, ya que prácticamente todo lo que se desperdicia en una vivienda, una industria, en una escuela, o en otra dependencia, puede ser recuperado y reutilizado en diferentes actividades.

Con la industrialización, la sociedad ya no pudo ignorar un problema que, si bien empezó por dañar la salubridad urbana, en pocos decenios acabó por afectar diferentes componentes del medio ambiente y cuya solución requiere técnicas avanzadas, ya sea para eliminar los residuos sólidos urbanos, o para reducir su volumen.

El **saneamiento ambiental**, aseo o saneamiento urbano y manejo integral los residuos sólidos comprende una serie de acciones tendientes a reducir o a eliminar aquellos elementos que afectan el medio ambiente y perjudican la salud humana. Entre las acciones que es necesario realizar, podemos mencionar las siguientes:

- 1) *Limpieza de vías públicas*
- 2) *Recogida y transporte de los residuos*
- 3) *Tratamiento de residuos sólidos urbanos.*
- 4) *Reciclaje de residuos sólidos urbanos.*
- 5) *Uso de tecnologías limpias.*



*Figura 10. Limpieza de vías públicas: barrido manual*

### **5.1.1 Limpieza de vías públicas**

#### *Barrido*

La recolección de residuos de las calles y lugares públicos (plazas, playas, parques), se puede hacer manual o mecánicamente.

El barrido tiene como objetivo:

- Minimizar riesgos a la salud pública;
- Mantener limpia la ciudad;
- Prevenir inundaciones y desbordamientos de ríos y cursos de aguas.

El costo del barrido, realizado por la administración pública puede ser significativamente alto. El desarrollo de un plan de barrido de acuerdo a un mapa diseñado previamente contribuye a la reducción de los costos. El plan de barrido debe definir:

- Los sectores de la ciudad con las respectivas frecuencias de barrido;
- Las rutas de barrido y el número necesario de barrenderos y equipos;
- La productividad esperada por equipo y operario;
- Análisis de costos.

*Conciencia ciudadana:* Limpiar las calles es algo diferente a mantenerlas permanentemente limpias.



Calles limpias, cestos para residuos colocados en sitios convenientes, campañas permanentes de educación y una rigurosa fiscalización del cumplimiento de las ordenanzas municipales funcionan como elementos inhibidores para quienes están acostumbrados a tirar residuos, indiscriminadamente por todas partes.

La limpieza de las veredas y calles no depende solo de las iniciativas de la administración pública, sino principalmente, de la educación y conciencia ciudadana.

Se deben promover campañas educativas para la ciudadanía, en cooperación con la municipalidad, para que los residuos sólidos sean colocados en tachos. Papeles, embalajes, palitos, cigarrillos y otros objetos que suelen echarse a la acera, pueden ser fácilmente colocados en cestos especialmente ubicados en lugares específicos para ellos, para mantener las calles limpias y valorizar la ciudad como un todo. El grado de limpieza de las calles y ciudades es inmediatamente notado por los turistas, que suelen valorar positivamente esos detalles en los lugares que visitan.

Existen países donde las personas que tiran residuos fuera de los cestos son penalizadas con multas que pueden ascender a cientos de dólares. Estas medidas coercitivas generalmente se aplican conjuntamente con campañas de concienciación.

Además de contribuir al bienestar de las áreas urbanas, la realización de campañas del tipo "mantenga limpia su ciudad" reduce los costos del barrido, ya que entonces los residuos sólidos se encontrarán concentrados en los cestos especialmente destinados para ello.

#### *Barrido manual*

Para la elaboración de un plan de barrido, es necesario disponer de información gráfica sobre la:

- Delimitación de las áreas;
- Topografía;
- Tipo de pavimentación.
- Uso de los suelos;
- Extensión de las vías;
- Circulación de peatones;
- Localización de los cestos de basura.
- Cualquier otra información que pueda tener relación con el barrido, como, por ejemplo, localización de los mercados, parques, paradas de ómnibus, etc.

#### *Barrido mecánico*

Se realiza con máquinas barrenderas, las cuales, según el chasis, pueden ser:

- Normales, -con cuatro ruedas;
- Triciclos -más fáciles de manejar y con posibilidades más amplias para alcanzar áreas de difícil acceso.

En cuanto al sistema para recoger los residuos sólidos, las máquinas barrenderas se pueden clasificar en:

- Mecánicas - recogen los desechos por medio de una escoba que barre y acumula los residuos dentro de la máquina;
- Aspiradoras - absorben los residuos directamente hacia la máquina.

### 5.1.2 Recogida y transporte de los residuos

La recolección de los RSU y su transporte a las áreas de tratamiento o destino final, son actividades realizadas por el servicio público municipal, muy a la vista de la población, con el objetivo de impedir el desarrollo de vectores transmisores de enfermedades, los que generalmente encuentran alimento y protección en los depósitos de residuos sólidos.



*Figura 11. Recolección rural*

Los residuos sólidos urbanos pueden ser transportados mecánicamente o por tracción animal, desde el lugar en que son generados hasta su destino final. Ese servicio se caracteriza por la participación directa de los ciudadanos, quienes deben acondicionar los residuos sólidos adecuadamente y sacarlos a la calle para su recolección en los días, sitios y horarios preestablecidos.

Las normas técnicas para la recolección de los RSU vigentes en muchos países de nuestra región, definen los diferentes tipos de servicios de recolección de residuos en la siguiente forma:

- Recolección domiciliaria (o convencional), que consiste en la recolección de los residuos sólidos de residencias, establecimientos comerciales e industriales, cuyo volumen no sobrepase al previsto en la correspondiente legislación;
- Recolección de mercados, playas, calles y demás sitios públicos;
- Recolección de residuos de servicios de salud, los que incluyen los residuos de hospitales, ambulatorios, puestos de salud, laboratorios, farmacias, clínicas veterinarias, etc.

La recolección especial o saneamiento se refiere a aquella organizada para coleccionar los residuos no recogidos por el sistema regular, tales como escombros, animales muertos y poda de jardines y árboles. La recolección especial puede ser regular o programada para los lugares donde existan residuos que deban ser retirados con urgencia.

### 5.1.2.1 Recolección selectiva

La recolección selectiva consiste en la clasificación, en origen de los componentes, que pueden ser recuperados, mediante un acondicionamiento diferente para cada uno o grupo de ellos. La recolección selectiva está precedida de la clasificación de los residuos sólidos urbanos por la población y los usuarios en general, en depósitos previamente establecidos. Por lo que cuando se realiza la recolección, ésta debe efectuarse de forma tal, que mantenga la selección hecha previamente sin mezclar los diferentes tipos de materiales, imponiéndose la condición de disponer anticipadamente de los tres factores siguientes:

- **Tecnología**, para efectuar la recolección, clasificación y el reciclaje.
- **Información**, para motivar al ciudadano.
- **Mercado**, para que absorba el material recuperado.

Entre las ventajas de la recolección selectiva de los RSU se puede mencionar la optimización de los servicios del personal recolector y del vehículo dedicado al transporte de los residuos.

La recolección selectiva en áreas de difícil acceso se puede realizar utilizando diferentes cilindros o contenedores identificados correctamente.

La **recolección y el transporte**, se pueden llevar a cabo en unidades vehiculares motorizadas o no, para lo cual se pueden utilizar cualquiera de los sistemas abajo mencionados:

- Uso de vehículos adaptados con compartimientos separados o con una carreta adosada al vehículo.
- Recolección de los RSU colectados separadamente utilizando diferentes vehículos. Para lo cual se proponen las siguientes frecuencias de recolección: los residuos orgánicos cada 48 horas como máximo. Los residuos no orgánicos una vez a la semana como máximo y los residuos inservibles, tóxicos o peligrosos (domésticos) cada 48 horas como máximo. Los residuos de establecimientos de salud o industrias, se sugiere sean colectados cada 24 horas
- Recolección de cilindros o contenedores en una misma unidad de recolección.

Independientemente de la forma en que se lleve a cabo la recogida de los RSU, la selección del tipo de vehículo o medio a utilizar para este fin, siempre responderá a criterios preestablecidos que se relacionan a continuación:

- De acuerdo a la cantidad de residuos generados: Para ciudades de baja densidad poblacional, los vehículos sin compactador pueden transportar, por viaje, hasta 15 m<sup>3</sup>, ó 3.7 t de residuos. Se estima que el peso específico medio de los residuos sólidos sueltos es aproximadamente de 250 kg/m<sup>3</sup>.
- De acuerdo a la forma de acondicionamiento de los residuos: En caso de que los residuos sólidos estén acondicionados en contenedores, será necesario que estos últimos sean compatibles con el sistema de basculamiento del vehículo.
- De acuerdo con las condiciones de acceso al punto de recolección: Vehículos como un tractor agrícola, una motocicleta o vehículos de tracción animal, son algunas alternativas para el acceso a áreas restringidas a los vehículos tradicionalmente utilizados para la recolección de los RSU.

La aplicación de los criterios arriba mencionados contribuirá al éxito del sistema de recolección seleccionado.

### **Ventajas de la recolección selectiva**

- Óptima calidad de los materiales recuperados pues no están contaminados con otros materiales presentes en los residuos sólidos;
- El estímulo a la ciudadanía refuerza el sentimiento de pertenencia de la comunidad;
- Alta flexibilidad del proceso, pues permite comenzar en pequeña escala y ampliar los servicios gradualmente;
- Alta posibilidad de organizar la recolección selectiva a nivel de empresas, organizaciones ambientalistas, escuelas, etc.;
- Reducción del volumen de los residuos sólidos que deben ser eliminados.

### **Desventajas de la recolección selectiva**

- Mayor costo en la recolección y transportación de las diferentes fracciones de RSU;
- Necesidad, inclusive con la clasificación en origen, de un centro donde los materiales reciclables sean separados por tipo;
- La operación de recolección selectiva puede ser:
  - Domiciliaria, realizada por un camión que recolecta algunos materiales bien definidos. Esta operación se le identifica como preclasificación domiciliaria;
  - Centros de Entrega Voluntaria, donde la población pueda llevar los materiales previamente separados.

#### ***5.1.2.2 Enfoque económico-financiero de la recolección selectiva***

Desde el punto de vista estrictamente financiero, la viabilidad de un sistema de recolección selectiva se puede determinar a través de un análisis costo-beneficio. Los costos de recolección se clasifican en: costos de inversión o capital y costos de operación y mantenimiento (O&M).

Los costos de inversión o capital incluyen los costos de terrenos, instalaciones, vehículos, de recipientes para la recolección selectiva, el diseño del sistema y otros.

Los costos de O&M incluyen: salarios y cargas sociales, combustibles y lubricantes, agua, energía, mantenimiento, administración, propaganda, servicios a terceros, alquiler y contratación de equipos, entre otros.

Los beneficios se clasifican en ingresos y ahorros. Los ingresos son el resultado de la venta de las materias primas recolectados. Los ahorros incluyen la reducción en el costo de traslado y disposición final de esos materiales en los rellenos sanitarios. El ahorro en costos de eliminación es inversamente proporcional a la reducción de la cantidad de material a eliminar.

#### ***5.1.2.3 Beneficios de la recolección selectiva***

Como la meta principal de un programa de recolección selectiva es la reducción de la cantidad de residuos sólidos enterrados, es importante medir su impacto. El número que resulta de ese cálculo se llama "tasa de recuperación de residuos sólidos".

Para calcular la tasa de recuperación se debe usar como base la generación de residuos sólidos domiciliarios de los barrios donde hay recolección selectiva y compararla con el total recuperado

Es importante observar que el análisis costo-beneficio no es el único indicador de factibilidad, ya que no toma en cuenta el bien social y ambiental que se deriva del subsiguiente reciclaje.

Lo que hasta aquí se ha expuesto, recoge de modo general, las particularidades del proceso de recogida de los residuos en las comunidades. Es válido destacar que no en todos los casos ocurre en la misma forma, pues existen algunos, como los hospitalarios, por ejemplo, que requieren de condiciones especiales para su recolección, transporte y almacenamiento.

La recolección de los residuos de los servicios de salud debe ser hecha de forma diferenciada, procurando:

- Un destino apropiado para ellos;
- Evitar la contaminación de los residuos comunes;
- El manejo seguro de los residuos contaminantes.
- La gestión adecuada de la recolección, en especial para los residuos más peligrosos (infecciosos, químicos o radioactivos), lo cual es fundamental, para evitar riesgos a la salud de los trabajadores y de la población.

De igual modo, se deben clasificar aquellos residuos que, a fin de prevenir la contaminación del medio ambiente y/o por sus potenciales ventajas económicas, justifican la recuperación de materiales, tales como: películas de radiografía y productos de revelado, termómetros, papeles, cartones y restos de alimentos. Al proceso que permite la recuperación y reutilización de dichos materiales se le denomina **reciclaje**.

### **5.1.3 El reciclaje de residuos sólidos urbanos**

El reciclaje es el proceso mediante el cual se realiza la recuperación de determinados recursos para volver a utilizarlos. El rescate de residuos y materiales usados es congénito a toda sociedad cuya capacidad de producir bienes sea muy limitada. Hace menos de dos siglos, en los países hoy desarrollados, los tejidos viejos, los escombros o el estiércol eran materiales valiosos para la fabricación de papel, la construcción o la agricultura, respectivamente. Pero a partir del último cuarto del siglo XX, la práctica cada vez más extendida de recuperar lo usado, responde a la disponibilidad limitada de parte de los recursos naturales para la fabricación en serie de productos necesarios y de corta duración.

En el desarrollo e implementación de las prácticas de reciclaje influyen, entre otros, los elevados costos económicos y sociales de reparar los efectos de una presión humana excesiva sobre otros componentes del medio ambiente, la sensibilidad de la opinión pública que obliga a las grandes empresas a presentar otra imagen de sí mismas, y, lógicamente también, por un ahorro directo e inmediato en los costos de los fabricantes que utilizan los residuos.

El reciclaje es una forma de procesamiento de los RSU, bien conocida por el público en general, sin embargo, sus implicaciones y los requerimientos para su organización, así como el grado de participación de la población y los costos relacionados con el personal dedicado a esta actividad requiere de un estudio integral detallado antes de decidir sobre la implementación de proyectos de reciclaje de RSU.



*Figura 12. Separación de residuos*

El reciclaje no debe ser considerado como la principal solución para el manejo de los residuos sólidos urbanos. El reciclaje es una actividad económica que se debe abordar como un elemento más dentro de un conjunto de soluciones integradas de la gestión o manejo de los residuos sólidos, ya que no todos los materiales son técnica o económicamente reciclables.

La clasificación de componentes de los residuos sólidos aumenta la oferta de materiales reciclables, sin embargo, si por parte de la sociedad no existe demanda para los productos reciclados, el proceso se interrumpe, los materiales se amontonan en los depósitos y finalmente son enterrados o incinerados como desechos.

Mediante **el reciclaje** algunos materiales que de no ser reciclados pasarían a ser residuos, son separados, recolectados y procesados para ser usados como materia prima en la manufactura de artículos que anteriormente se elaboraban solamente con materia prima virgen.

El reciclaje tiene como objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de determinados componentes de los residuos. El reciclaje permite, por una parte, ahorrar recursos naturales y por otra, disminuir el volumen total de los residuos sólidos a eliminar, con el consiguiente ahorro energético y beneficio ambiental.



*Figura 13. Papel embalado para reciclaje*

Las ventajas principales del reciclaje se enumeran a continuación:

- Disminuye la cantidad de los RSU a ser depositados en los rellenos sanitarios (por lo tanto aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios);
- Preserva los recursos naturales;
- Economiza energía;
- Disminuye la contaminación del aire, las aguas y el suelo;
- Genera empleos, mediante la creación de industrias dedicadas al reciclaje de las fracciones seleccionadas de los RSU.

El reciclaje requiere de una **clasificación** previa de los RSU y esto constituye, quizás, una de las actividades más complejas del proceso de reciclaje. Existen dos formas de organizar la clasificación de los RSU: Una forma de trabajar es cuando la clasificación de los residuos se realiza directamente por la población en sus hogares o en puntos donde deben ser llevados ya organizados, disponiendo para ello, en ambos casos, de los depósitos requeridos tanto en las casas como en el punto de recolección. Otra forma es realizar la clasificación directamente en los centros destinados para ello, para lo que se requiere disponer de una potente infraestructura de clasificación que incluye áreas extensas habilitadas al efecto, personal suficiente y maquinarias y mecanismos adecuados para dar abasto al trabajo manual inherente al proceso de reciclaje.

Antes de decidir si estimular la clasificación de materiales con miras al reciclaje, es importante verificar si existen las condiciones necesarias para su implementación. El análisis del mercado indicará cuáles son los productos de los residuos sólidos urbanos que se podrán reciclar industrialmente. De nada servirá proceder a la selección del vidrio, por ejemplo, si no existe demanda para el aprovechamiento de ese material. Reciclar vidrio exige la existencia de una industria del vidrio, de elaboración de productos de este material o al menos de un mercado para su venta a terceros países, que dispongan de la infraestructura industrial necesaria para su aprovechamiento.

Los retornos monetarios directos, obtenidos de la venta de los materiales reciclados, cubren sólo parcialmente los costos del tratamiento aplicado a ellos.

#### ***5.1.3.1 Papel de la educación en el reciclaje de los RSU: Consumir productos reciclados***

El correcto tratamiento de los RSU es un importante problema de la modernidad, que data del surgimiento de las ciudades y que requiere, como todas las actividades ciudadanas, del auxilio imprescindible de la educación. Sin educación no se puede vivir armónicamente en una comunidad medianamente civilizada. Las relaciones sociales que imponen las ciudades, tanto en el plano económico, productivo como de las relaciones humanas descansan en la educación de sus miembros.

La falta de educación y de infraestructura motivó en el pasado desastrosas epidemias en las ciudades de las cuales la humanidad guarda tristes recuerdos.

La educación que se ofrece a la ciudadanía sobre el manejo sostenible de los RSU pretende hacer consciente al ciudadano común sobre su responsabilidad como generador de residuos sólidos. Las campañas educativas están dirigidas principalmente a todos los sectores de la comunidad: la escuela, los centros productivos y de servicio y la población en general. En este sistema, la escuela es uno de los centros estratégicos para llevar a toda la ciudadanía la información requerida y crear los hábitos necesarios para la participación activa de todos en la clasificación domiciliar de los RSU.

Si la población sea consciente de su poder, y deber, de separar los RSU, podrá contribuir más activamente al éxito de los programas establecidos para el manejo de los mismos. Por medio de sus acciones responsables, los ciudadanos participarán directamente en el cuidado de su ciudad y su entorno logrando, al mismo tiempo, mayores niveles de satisfacción al contribuir a reducir las cantidades de residuos emitidos y depositados en los rellenos, y a garantizar la higiene tanto personal como urbana, para los miembros de su familia y de toda la comunidad.

Otro nivel de la actividad que justifica el reciclaje es el educar a las personas en el uso del material reciclado. Las iniciativas para promover el reciclaje deben comenzar en los municipios, en los centros laborales, instituciones escolares, etc., y crear en los ciudadanos hábitos y costumbres sobre el uso preferencial de materiales reciclables. Algunos ejemplos de materiales que se podrían utilizar son: papel reciclado, usado en las oficinas públicas como papel borrador, papel para oficios, folletos diversos, cuadernos para las escuelas; escombros de obras luego de triturados, para agregarlos en la confección de piezas de mobiliario urbano y habitacional o de relleno y material para complemento constructivo en determinadas operaciones; residuos sólidos transformados en abono orgánico mediante el proceso de producción de compost que podrá utilizarse para abonar áreas verdes en parques, plazas, paseos, etc.



*5.1.3.2 Equipos y medios utilizados mundialmente en la recogida y transportación de los residuos*





#### **5.1.4 El tratamiento de los residuos sólidos urbanos**

El sistema de tratamiento que se seleccione para los RSU estará condicionado por el grado de dispersión territorial de estos últimos y por factores técnicos y económicos.

Un aspecto fundamental que debe resolverse para garantizar el correcto tratamiento de los RSU es el de la correcta recogida y transporte. En las ciudades, junto al modelo más extendido (contenedores públicos, camiones para la transportación hasta los centros de transferencia cercanos a la ciudad, trailers para el transporte a las plantas o vertederos), aparecen sistemas automáticos que simplifican la recogida, como la concentración de residuos en depósitos de barrio mediante redes de conducción neumática desde las viviendas. En general, el tratamiento de los residuos consiste en:

- Convertirlos en materias relativamente inocuas para la vida y la salud (por estabilización, mineralización, aislamiento o dilución);
- Aprovecharlos para obtener energía o reintroducirlos en los ciclos productivos mediante el reciclaje.

En los últimos años se han desarrollado numerosos sistemas que permiten el tratamiento integral y racional de los RSU, estos procesos de tratamiento consisten en transformar los residuos en instalaciones apropiadas y con las tecnologías óptimas, tomando en consideración el volumen de desechos que se generan y la demanda en el mercado de los productos transformados. Los procesos indicados contribuyen a reducir la cantidad y la peligrosidad de los materiales desechables.

La necesidad de tratamiento de los residuos sólidos se debe a los siguientes factores:

- Limitado espacio para la disposición final de los residuos sólidos;
- Disputas por el uso de los espacios disponibles para la disposición final de los RSU con las poblaciones vecinas a ellos;
- Valorización de los componentes de los residuos sólidos como forma de promover la conservación de los recursos naturales;
- Necesidad de reducir el impacto negativo de los residuos contaminados sobre el medio ambiente

Entre las ventajas del tratamiento de los residuos sólidos urbanos podemos mencionar las siguientes: aumentar el valor agregado de las materias recuperadas, generar empleos estables, formalizar el trabajo de los “buzos” o traperos, aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios y facilitar los trabajos de investigación y desarrollo de tecnologías propias para el manejo de residuos.

Para la disposición final de los residuos tóxicos y peligrosos se utilizan rellenos sanitarios especiales que deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Los rellenos sanitarios especiales deben ser suficientemente espaciosos para poder almacenar los residuos generados por las diferentes comunidades durante el plazo de tiempo definido por el diseño y de acuerdo a las características de los residuos que se depositen;
- Los rellenos sanitarios especiales deben ser diseñados, localizados y operados de forma que se garantice la salud de la población y de los trabajadores. Las condiciones de operación de estos rellenos sanitarios deben ser respetuosas con el medio ambiente y no conspirar contra el bienestar de las comunidades;

- Los rellenos sanitarios especiales deben estar localizados de forma que permitan disminuir la incompatibilidad con las características de los alrededores y minimizar el eventual efecto negativo hacia los suelos y los terrenos aledaños;
- Los planes de operación de los rellenos sanitarios especiales deben elaborarse para garantizar minimizar el riesgo de fuegos, derrames y otros accidentes operacionales que puedan afectar los alrededores;
- El diseño de los planes de acceso a los rellenos sanitarios especiales debe contribuir a minimizar los impactos eventuales de los flujos de los productos que vayan a depositarse en ellos.

#### ***5.1.4.1 Disposición final de los residuos sólidos urbanos***

La disposición final de los residuos sólidos urbanos puede afectar de forma general a las comunidades y sus actividades, socio-económicas. La disposición final de los RSU se ha convertido en un problema económico y medioambiental no sólo por lo que representa en términos de recursos abandonados sino por la creciente dificultad para encontrar lugares que permitan su acomodo correcto, seguro y confiable.

Los residuos sólidos urbanos comúnmente son depositados en:

- Vertederos;
- Rellenos sanitarios;
- Depósitos de seguridad.

#### ***5.1.4.2 Vertederos.***

Los vertederos son áreas utilizadas para la disposición final de los residuos sólidos urbanos. La disposición final en vertederos se caracteriza generalmente por la simple descarga (vertido) de los residuos sobre el terreno, sin medidas de protección para el medio ambiente o la salud pública. Simplemente se descargan los residuos a cielo abierto sin haber sido sometidos a tratamiento alguno.

Los residuos así eliminados contribuyen a provocar problemas de salud ambiental, como proliferación de transmisores de enfermedades (moscas, mosquitos, cucarachas, ratas, entre otros vectores), generación de malos olores y, principalmente, la contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas a través del lixiviado, comprometiendo la calidad de los recursos hídricos y de las superficies destinadas a la agricultura y por tanto de todos los productos que en ellos se cultiven.





*Figura 14. Vertedero*

A esta situación se añade la absoluta falta de control en cuanto a los tipos de residuos recibidos en estos sitios, donde se acumulan inclusive desechos originados por los servicios de salud y las industrias. Comúnmente se asocian a los vertederos situaciones altamente indeseables, como la cría de cerdos y el desarrollo de actividades ilícitas por personas que, muchas veces, son residentes de la localidad.

#### **5.1.4.3 Rellenos sanitarios**



*Figura 15. Relleno sanitario*

Los rellenos sanitarios se utilizan para la disposición final de RSU en el suelo sin perjudicar al medio ambiente y sin producir molestias o peligro para la salud y seguridad pública. Este método utiliza los principios de la ingeniería sanitaria para confinar los RSU en un área lo más pequeña posible, reducir el volumen de los residuos al mínimo practicable y posteriormente cubrir los residuos depositados con una capa de tierra que debe ser compactada con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.

Como puede apreciarse de la definición anterior, un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los RSU, los cuales se eliminan en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población.

Esta obra de ingeniería consiste en preparar el terreno correctamente seleccionado, colocar los residuos y extenderlos en capas delgadas, aplanarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado.

El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y a la vez de disposición final de los RSU bajo condiciones controladas para que la actividad microbiana que ocurrirá para la descomposición de los residuos sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno). Este método de tratamiento de residuos sólidos es el más recomendado para realizar la disposición final de los RSU en países con condiciones climáticas similares a las existentes en Cuba, siendo la composición y características de esos RSU similares a las de los RSU generados en Cuba.

### Métodos para la construcción de rellenos sanitarios

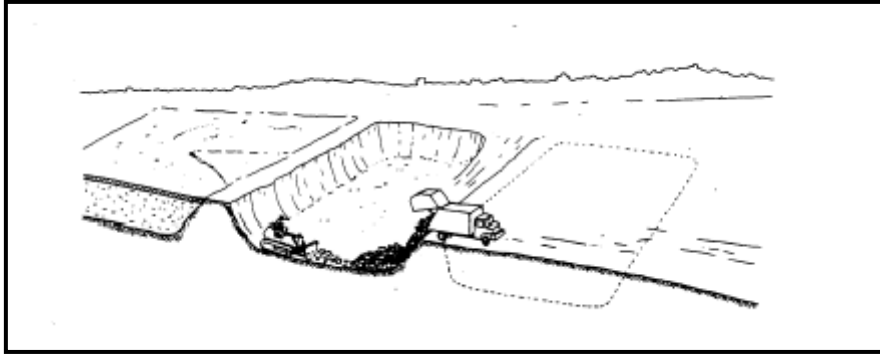
El parámetro básico a tener en cuenta para diseño de un relleno sanitario es el volumen. Este depende del área cubierta, de la profundidad a la cual los residuos son depositados, de la cantidad de material de cobertura y de residuos. Debido a que la cantidad de residuos a tratar en los rellenos sanitarios es usualmente definida en unidades de masa, la densidad in situ de RSU y las características del material de cobertura son parámetros adicionales que influirán en la capacidad del relleno sanitario específico.

Generalmente todo diseño de relleno sanitario incluye algunas obras comunes. Zonas búfer y pantallas perimetrales son necesarias para aislar el área seleccionada y evitar el acceso de intrusos. Son necesarias cercas que impidan la entrada de personas no autorizadas al lugar y también es necesario un cuidadoso mantenimiento del área de trabajo. Cuando sea necesario trabajar bajo condiciones climáticas extremas (lluvias persistentes, tormentas, huracanes, etc.) podría ser necesario contar con tractores para apoyar el trabajo de los camiones. El barro y suciedad que se adhieren a los camiones que operan en el relleno sanitario deben ser retirados de los equipos antes de que éstos abandonen el relleno sanitario.

Entre los métodos más utilizados para la construcción de rellenos sanitarios podemos mencionar los métodos de trinchera y de área.

#### a) Método de trinchera o zanja

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos a tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor oruga. Existen experiencias de excavación de trincheras de hasta 7 metros de profundidad para la construcción de rellenos sanitarios. La tierra que se extrae se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos urbanos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con tierra. La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados para rellenos tipo trinchera por el riesgo de que puedan ocurrir contaminaciones de los acuíferos. Los terrenos rocosos no son apropiados para la construcción de trincheras para rellenos sanitarios debido a las dificultades para los trabajos de excavación en ellos.

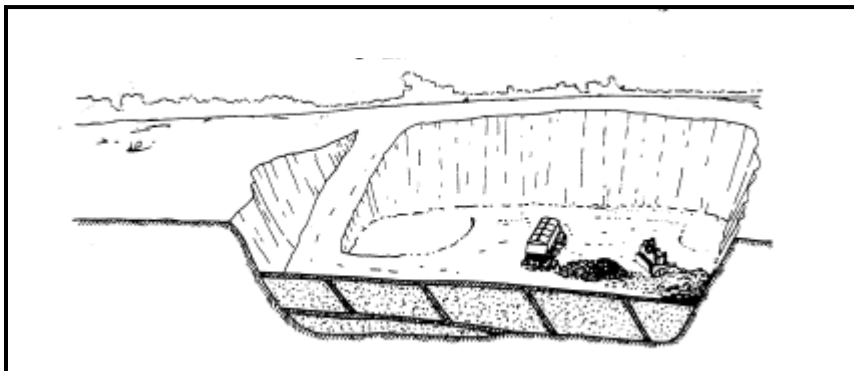


*Figura 16. Método de trinchera*

b) Método de área

En áreas relativamente llanas, donde no sea posible excavar fosas o trincheras para enterrar los RSU, estos pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras celdas se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el terreno.

Este método se adapta también para rellenar depresiones naturales o canteras de algunos metros de profundidad ya abandonadas. El material de cobertura se excava en las laderas del terreno, o de no ser posible se debe obtener de lugares en la proximidad del relleno para reducir el peligro de afectar el medio ambiente y evitar el encarecimiento de los costos de transporte. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.



*Figura 17. Método de área*

#### 5.1.4.4 Criterios para la clasificación de los rellenos sanitarios

<b>Clasificación de los rellenos sanitarios según las clases de residuos depositados</b>	
Tradicional con residuos sólidos urbanos seleccionados	No acepta ningún tipo de residuo de origen industrial, ni tampoco lodos
Tradicional con residuos sólidos urbanos no seleccionados	Acepta además de los residuos típicos urbanos, residuos industriales no peligrosos y lodos previamente acondicionados
Para residuos triturados	Recibe exclusivamente residuos triturados, los que aumentan la vida útil del relleno y disminuyen el material de cobertura
De seguridad	Recibe residuos que por sus características deben ser confinados siguiendo estrictas medidas de seguridad
Para residuos específicos	Son rellenos que se construyen para recibir residuos específicos (cenizas, escorias, borras, etc.)
Para residuos de construcción	Son rellenos que se hacen con materiales inertes y que son residuos de la construcción de viviendas u obras industriales

<b>Características de los rellenos según los terrenos utilizados</b>	
En áreas llanas	Más que un relleno es un depósito en una superficie. Las celdas no tienen una pared o una ladera donde apoyarse, por lo que es necesario construir pendientes adecuadas. No es conveniente hacer este tipo de relleno en zonas con alto riesgo de inundación.
En quebrada	Se debe acondicionar el terreno estableciendo niveles para brindar una base adecuada que sustente las celdas. Se deben realizar las obras necesarias para captar las aguas que normalmente escurren por la quebrada y entregarlas a su cauce aguas abajo del relleno.
En laderas de cerros	Normalmente se construyen partiendo de la base del cerro y se va ganando altura poco a poco apoyándose en sus laderas. Este tipo de relleno es similar al relleno de quebrada. Se deben aterrizar las laderas del cerro aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de evitar que las aguas de lluvias ingresen al relleno.
En ciénagas, pantanos o marismas	Método muy poco usado por lo difícil de llevar a cabo la operación, sin generar condiciones insalubres. Es necesario aislar un sector, drenar el agua y una vez seco proceder a rellenar. Se requiere equipo y mano de obra especializada.



<b>Características de los rellenos según los terrenos utilizados</b>	
En depresiones	Se realiza la acumulación normal de los residuos en el área. Se debe evitar el ingreso de las aguas a la depresión, tanto las provenientes de la superficie como las que se puedan infiltrar por las paredes. La forma que se seleccione para la construcción del relleno dependerá de la solución que se pretenda dar al biogás y a los lixiviados.

#### ***5.1.4.5 Criterios ambientales en la construcción de rellenos sanitarios***

Los problemas sanitarios causados por la eliminación de los RSU en el suelo se deben fundamentalmente a la reacción de los residuos con el agua y a la producción de gases, así como al riesgo de incendios y explosiones.

Los RSU contienen aproximadamente un 50 - 60% de productos tales como agua, residuos vegetales, animales, plásticos, desechos combustibles y vidrios. Químicamente, los RSU están formados por sustancias orgánicas, compuestos minerales y residuos sólidos peligrosos.

Las sustancias líquidas y los sólidos disueltos y suspendidos tienden a percolarse a través de la masa de residuos y posteriormente a través del suelo. Éste está constituido por materia sólida, aire y agua. A partir de determinada profundidad del suelo, se encuentra el manto freático donde el agua se mueve horizontalmente a baja velocidad de alta a baja presión y en dirección vertical por efecto de la gravedad entre los granos del suelo.

Las sustancias contaminantes contenidas en el lixiviado al percolarse a través del suelo, adquieren gran movilidad al llegar al nivel del manto freático y pueden contaminar las aguas de los manantiales. Las aguas subterráneas al pasar por las fisuras de las rocas pueden, a la vez causar un efecto negativo en la calidad del suelo.

Es importante también tener en cuenta las características del microclima de la zona de ubicación del relleno sanitario. Así por ejemplo la lluvia influye en la velocidad y desarrollo de los fenómenos biológicos y químicos en el transporte de contaminantes y puede ocasionar dificultades para el óptimo funcionamiento de las vías de acceso y dificultar el desempeño del trabajo en el relleno sanitario. Por lo tanto, el relleno debe ser drenado superficialmente por la periferia y el fondo. En ocasiones, el viento también causa molestias, llevando los malos olores y el polvo a las vecindades. Es muy importante tener en cuenta la dirección predominante de los vientos durante el diseño y construcción de los rellenos sanitarios.

<b>Principales factores involucrados en la selección de los sitios para rellenos sanitarios</b>	
<b>Criterios</b>	<b>Detalle</b>
<b>Factibilidad técnica</b>	Volumen y morfología del sitio adecuado Distancia al centro generador Fuera de zonas de exclusión
<b>Riesgo ambiental</b>	Contaminación de las aguas subterráneas Calidad del aire Transporte de materiales
<b>Aspectos económicos</b>	Efectos en la propiedad Costos de construcción y operación Impacto en la industria local Planes de compensación
<b>Aspectos sociales</b>	Equidad en la selección del sitio Efecto en la imagen de la comunidad Fuera de zonas de exclusión
<b>Aspectos políticos</b>	Elecciones locales Intereses inversionistas de grupos locales Responsabilidad para el manejo del relleno sanitario Control local

#### **5.1.4.6 Zonas de exclusión**

Se entenderá por zona de exclusión cualquier área, que por alguna característica, tanto humana, social, ecológica, política o económica, no pueda ser considerada para la habilitación de un relleno sanitario. Los casos más típicos son los siguientes:

**Distancias mínimas:** La distancia mínima del sitio de disposición a la residencia más cercana, pozo de suministro de agua, fuente de agua potable, hotel, restaurante, procesador de alimentos, colegios, iglesias o parques públicos debe ser como mínimo de 300 metros o la indicada por la regulación vigente. En ocasiones, y en contra de las regulaciones, se establecen áreas de rellenos en lugares donde se han creado pozos.

**Distancias a aeropuertos:** La distancia entre el aeropuerto comercial y el punto seleccionado es importante si en el relleno sanitario van a recibirse residuos de alimentos (tanto domiciliarios como de algún proceso industrial), pues estos pueden atraer aves en un radio de varios kilómetros. Si la operación del relleno es correcta, el riesgo de impacto con aves se reduce. Se recomienda establecer distancias de 8 kilómetros desde los rellenos hasta el aeropuerto más cercano, sin embargo, este valor puede reducirse si se presentan elementos que así lo justifiquen.

- **Distancias a cursos de agua superficial:** La distancia entre la carga de los residuos y el curso de agua superficial más cercano debe ser a lo mínimo de 100 m (o la establecida por la regulación correspondiente). Este parámetro dependerá fundamentalmente de las condiciones hidrogeológicas del sitio.

- **Distancias a áreas inestables:** El sitio seleccionado debe estar a un mínimo de 100 m de áreas inestables (por ejemplo área de derrumbes) para asegurar la estabilidad estructural del sitio.
- **Distancias a áreas de exclusión:** El sitio debe estar localizado fuera de los límites de cualquier área de exclusión delimitada por la autoridad correspondiente.

#### Actividad biológica dentro del relleno sanitario

La actividad biológica dentro de un relleno sanitario se presenta en dos etapas relativamente bien definidas:

<b>Fase aeróbica</b>	Inicialmente, parte del material orgánico presente en los RSU es metabolizado aeróbicamente (mientras exista oxígeno libre disponible), produciéndose un fuerte aumento de la temperatura de la masa de residuos. Los productos resultantes que caracterizan la fase aeróbica son el dióxido de carbono, agua, nitritos y nitratos.
<b>Fase anaeróbica</b>	A medida que el oxígeno disponible se va agotando, los organismos facultativos y anaeróbicos empiezan a predominar y proceden con la descomposición de la materia orgánica, pero más lentamente que la primera etapa. Los productos resultantes que caracterizan la fase anaeróbica son el dióxido de carbono, ácidos orgánicos, nitrógeno, amoníaco, hidrógeno, metano, compuestos sulfurados (responsables del mal olor) y sulfitos de hierro, manganeso e hidrógeno.

Algunos de los productos arriba mencionados pueden reaccionar químicamente entre ellos dentro y fuera del relleno. También pueden ocurrir simultáneamente reacciones químicas similares como resultado de la interacción de algunos subproductos de descomposición, entre ellos mismos o con los RSU con que entran en contacto. Muchos de estos productos, en la eventualidad de emerger libremente del relleno, como gases o líquidos, podrían provocar serios trastornos ambientales.

#### **5.1.4.7 Lixiviados o líquidos percolados**

Los RSU, especialmente los orgánicos, al ser compactados por maquinaria pesada liberan agua y otros líquidos orgánicos, contenidos en su interior. Estos líquidos se escurren preferentemente hacia la base de la celda. Los RSU, que actúan en cierta medida como una esponja, recuperan lentamente parte de estos líquidos al cesar la presión de la maquinaria, pero una parte de los líquidos permanece en la base de la celda.

Por otra parte, la descomposición anaeróbica comienza a actuar rápidamente en un relleno sanitario, produciendo cambios en la materia orgánica, primero de sólidos a líquido y luego de líquido a gas, pero es la fase de licuefacción la que produce el aumento del contenido de líquido en el relleno, contribuye a aumentar su potencial contaminante. En ese momento se puede considerar que los RSU están completamente saturados y cualquier agua, ya sea subterránea o superficial, que se infiltre en el relleno, lixiviará a través de los desechos arrastrando consigo sólidos en suspensión, y compuestos orgánicos en solución. A esta mezcla heterogénea, con un elevado potencial contaminante, se denomina lixiviado o líquidos percolados.



*Figura 18. Corriente de lixiviados*

#### **5.1.4.8 Impermeabilización del fondo del relleno**

Teniendo en consideración las características de los contaminantes en los líquidos percolados, es indiscutible que estos pueden contaminar las aguas y los suelos con los cuales entran en contacto.

Sería ideal evitar todo tipo de contacto entre líquidos percolados, el agua y suelos subterráneos, pero, para ello habría que realizar inversiones considerables que encarecerían la construcción del relleno en tal forma que sería imposible construir este tipo de obras. Sin embargo, es posible tomar algunas medidas que posibiliten reducir la contaminación del medio ambiente con los percolados a niveles mínimos durante la operación de los rellenos sanitarios. Estas medidas evitarían que los contaminantes sean diluidos en las aguas subterráneas y afecten las fuentes de abasto de agua, ya que una vez que las aguas y suelos han sido contaminados es extremadamente difícil remediar el daño que puedan causar al medio ambiente. El escurrimiento de las aguas subterráneas, por lo general, es laminar, lo que hace que la dispersión de los contaminantes sea por difusión y no por dilución. Las tasas de difusión son generalmente bajas, lo que hace que se configuren zonas de contaminación bastante peligrosas.

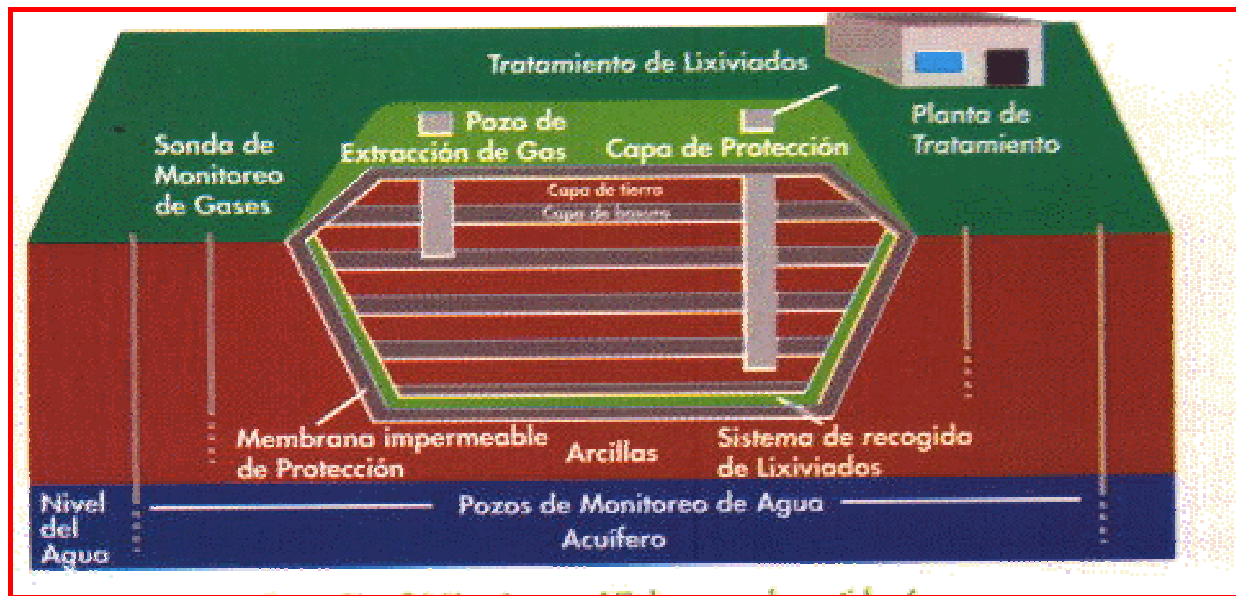
Los contaminantes de origen orgánico son los más abundantes en los líquidos percolados, pero ellos van perdiendo esa característica en el transcurso del tiempo. Por otra parte, es un hecho comprobado que gran parte de los contaminantes quedan retenidos al tener que pasar por un medio arcilloso, contribuyendo en gran medida a aumentar la impermeabilidad del medio.

El uso de arcilla como medio impermeabilizante es bastante común en América Latina. A continuación se describe una forma alternativa eficiente de colocar la arcilla para lograr esta condición impermeabilizante.

Sobre el terreno emparejado se colocarán 60 cm de material arcilloso, homogéneo, sin contenido de materia orgánica, este material se colocara en capas de 20 o 30 cm, compactándose cada capa hasta obtener una densidad no inferior a 90% de la densidad seca

del material. La capa de arcilla compactada deberá mantenerse permanentemente húmeda para evitar su agrietamiento, hasta que se cubra con basura, por lo que se recomienda impermeabilizar solamente la extensión necesaria para construir el relleno sanitario requerido.

Últimamente se ha empleado bastante la arcilla en espesores de 20 a 30 cm y se colocan capas de entre 1 y 2 mm de polietileno de alta densidad entre las capas de arcilla para construir rellenos sanitarios que operan generalmente de forma eficiente.



*Figura 19. Empleo de arcilla para impermeabilizar el relleno sanitario*

#### **5.1.4.9 Control de los lixiviados o percolados**

Como consecuencia de la impermeabilización de los rellenos sanitarios, se acumulan en ellos volúmenes importantes de líquidos percolados, los cuales deben ser manejados correctamente. Es importante que los rellenos sanitarios cuenten con los elementos necesarios para mantener el control total de los lixiviados. Entre las formas de control de lixiviados se pueden mencionar las siguientes: almacenamiento en lagunas para luego recircularlos con equipos de bombeo, sistemas de drenaje al interior del relleno, depósitos de almacenamiento y tratamiento químico y/o biológico de lixiviados.

Es importante establecer un sistema de monitoreo rutinario que permita detectar y anticipar el eventual paso de líquidos percolados a través del terreno y subsecuentemente adoptar las medidas preventivas y correctivas que corresponda para evitar riesgos a la población, por consumo de agua de mala calidad.

#### **5.1.4.10 Producción de biogás**

Como resultado de la descomposición de los RSU en condiciones anaeróbicas, se generan ciertos gases de mayor o menor utilidad económica e impacto sobre el medio ambiente. En un relleno sanitario, la cantidad de gases producidos y su composición depende de las características de los residuos orgánicos, de su estado y de las condiciones del medio que pueden favorecer o desfavorecer el proceso de descomposición.

Por lo general, los componentes principales del biogás son el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), en proporciones de aproximadamente 65-35%. Estos gases constituyen aproximadamente el 97% del gas. Tanto el metano como el dióxido de carbono son incoloros e inodoros, siendo otros gases, tales como el ácido sulfhídrico y el amoníaco los que le otorgan el olor característico al biogás y permiten su detección por medio del olfato.

El gas metano se produce en los rellenos en concentraciones dentro del rango de combustión, lo que confiere al biogás ciertas características de peligrosidad con riesgos de incendio o explosión y de ahí, la necesidad de mantener un control estricto sobre él.

#### Algunos componentes del biogás:

- Metano ( $\text{CH}_4$ )
- Dióxido de Carbono( $\text{CO}_2$ )
- Ácido sulfhídrico
- Amoníaco
- Otros

#### Control del biogás

En los rellenos sanitarios, se utilizan varios niveles de celdas para la disposición de los residuos, a fin de lograr una producción continua de biogás en el transcurso de algunos años. Por esta razón resulta conveniente instalar chimeneas de drenaje, distantes entre si a unos 20 ó 25 metros. En realidad la distancia exacta entre las celdas debe ser definida una vez que se hayan realizado estudios detallados de los terrenos seleccionados para la construcción de los rellenos sanitarios, lo que permitirá determinar el llamado “radio de influencia” (distancia medida desde el centro de la chimenea que es influenciada por el drenaje).



*Figura 20 y Figura 21. Ejemplo del aprovechamiento del biogás en los rellenos sanitarios*

#### **5.1.4.11 Impactos ambientales de los rellenos sanitarios**

Los impactos que puede sufrir el medio ambiente como resultado del desarrollo de las tres etapas de los rellenos sanitarios pueden ser diversos y quizás el impacto más relevante es el que se produce en las etapas de operación y construcción de los rellenos. Los efectos de los variados impactos pueden verse incrementados o disminuidos por las condiciones climáticas del lugar y por el tamaño de la obra que se ejecute.

a) Impactos ambientales en la etapa de construcción

- Remoción de la capa superficial del suelo (alteración de la vegetación y la fauna);
- Movimientos de tierra;
- Interceptación y desviación de aguas de lluvias superficiales;
- Interferencia al tránsito (efectos barreras);
- Alteración de la permeabilidad propia del terreno;
- Alteración del paisaje;
- Fuente de trabajo (corto plazo);
- Actividades propias de las faenas de obras civiles: ruido, polvo, tránsito, movimiento de maquinaria pesada.

b) Impactos ambientales en la etapa de operación

- Impactos por incremento del movimiento;
- Contaminación atmosférica: malos olores y ruidos;
- Contaminación de aguas: líquidos percolados;
- Contaminación y alteración del suelo: diseminación de papeles, plástico, y materiales ligeros, extracción de tierra para ser utilizada como material de cobertura;
- Impacto paisajístico: cambio en la topografía del terreno, modificación en la actividad normal del área;
- Impacto social: fuente de trabajo, efecto NIMBY (nadie lo quiere), incremento de la actividad vial.

c) Impactos ambientales en la etapa de clausura

- Impacto paisajístico; recuperación de la vegetación y de la fauna.
- Impacto social; integración de las áreas a la comunidad, disminución eventual de fuentes de empleo.

#### ***5.1.4.12 Medidas de mitigación***

Las medidas de mitigación empleadas para reducir los impactos ambientales negativos de un relleno sanitario dependen de una serie de factores, entre los cuales destacan: las características del proyecto, la tecnología usada, la localización y el tamaño del relleno, las condiciones de operación y las características del clima, entre otras. No obstante, es posible identificar los impactos más frecuentes de los rellenos sanitarios y las medidas que normalmente se emplean para su mitigación.

*Tabla 2. Medidas de mitigación*

<b>Olores</b>	Utilización de pantallas vegetales, (árboles y arbustos) Tratamiento de los líquidos percolados Quema del biogás cuando se genere suficiente cantidad de metano
<b>Ruidos</b>	Pantallas vegetales Utilizar equipos de baja emisión de ruidos
<b>Alteración del suelo</b>	Adecuada impermeabilización del relleno sanitario, para evitar filtraciones Vegetación para evitar erosión y material de relleno para nivelar zonas con asentamiento diferencial o pendientes fuertes
<b>Diseminación de materiales</b>	Configurar barreras para evitar que el viento incida sobre el frente de trabajo. Utilizar mallas interceptoras. Desprender los residuos de camiones antes de que estos abandonen el relleno.
<b>Control de vectores</b>	Mantener aislado sanitariamente el recinto mediante la formación de un cordón sanitario que impida la infestación del relleno por roedores y el paso de especies animales desde y hacia el relleno sanitario. Realizar fumigaciones y desratizaciones, como mínimo cada 6 meses. Los elementos químicos que se empleen en esta actividad, deben estar aceptados por la legislación.
<b>Incremento del movimiento vehicular</b>	Tratar de que la recolección se haga en horas diferidas. En caso de que se reciban vehículos de estaciones de transferencia tratar que estos lleguen en forma secuencial.
<b>Líquidos percolados</b>	Almacenamiento en depósitos cerrados. Recirculación. Tratamiento físico, químico y/o biológico.
<b>Biogás</b>	Extracción con fines de utilización. Quema controlada.

#### **5.1.4.13 Depósitos de seguridad**

Son cámaras altamente controladas en las que se almacenan residuos, que por su alto nivel de peligrosidad, es imprescindible que sean controlados y aislados correctamente, y que se garantice su eliminación en condiciones seguras. Es necesario realizar la identificación y evaluación de los sitios contaminados, con miras a la aplicación de medidas de mitigación.

#### **5.1.5 El uso de tecnologías limpias**

Las tecnologías limpias, denominadas también, tecnologías alternativas son aquellas que son diseñadas para obtener mayor rendimiento de los recursos utilizados reduciendo o eliminando los daños al medio ambiente. Entre estas tecnologías limpias se encuentran las desarrolladas para producir energías alternativas.

¿A qué se denomina fuentes renovables de energía?



Son las fuentes de energía no agotables, nada o poco contaminantes, tan conocidas como la radiación solar, el viento, los combustibles vegetales, las mareas o las aguas termales y que vuelven hoy a ser la reserva más importante de energía. Entre ellas también se puede mencionar el hidrógeno y la fusión nuclear.



*Figura 22. Colectores solares*

Exceptuando la termal o geotérmica, tales fuentes de energía son denominadas inagotables. Sin embargo, es necesario detenernos en un ejemplo para entender mejor lo importante de la evolución de estos conceptos y cómo deben ser interpretados. Si la ya escasa agua que existe en el planeta para el consumo humano se contamina, ¿podemos continuar diciendo que este recurso es inagotable? Claro que no, por lo que hay que redimensionar estos términos y hacer un uso adecuado de los recursos naturales, porque al final, todos se pueden agotar si pierden sus cualidades.

Los biocombustibles y el hidrógeno son fuentes de alta densidad energética y, por consiguiente, pueden sustituir los combustibles fósiles en la producción de calor y electricidad o como carburantes para vehículos, con la ventaja de no ser contaminantes. Las dificultades técnicas que plantea su uso son mínimas en cuanto a la adaptación de quemadores, calderas y motores, pero ya no lo son tanto en lo que respecta a la obtención eficiente de hidrógeno.

La energía del mar se puede convertir en electricidad siguiendo los mismos principios que en las centrales hidroeléctricas; ahora bien, aún están por desarrollar soluciones apropiadas a las condiciones de dureza del medio marino y mejorar el conocimiento de la dinámica del mar en las zonas litorales. En cambio, la energía geotérmica y, sobre todo, la solar y la eólica ya tienen una aplicación inmediata a gran escala para calefacción e instalaciones eléctricas de baja potencia, o sea, para usos locales y descentralizados.

## 6 Reciclaje y valorización de la materia orgánica. Compostaje

### 6.1 La materia orgánica en la naturaleza



Figura 23. El ciclo de vida

La capacidad de la naturaleza de dotarse de un poderoso mecanismo para reciclar constantemente la materia viva a través del proceso de descomposición y mineralización, ha permitido que la vida en la Tierra haya perdurado durante millones de años gracias a la transformación continua de la materia viva. El calcio proveniente de caracoles marinos y acumulado por millones de años se ha convertido en rocas y es hoy día el sustrato de muchos bosques. La actividad de los microorganismos consigue arrancar el poder vital de estas rocas y las convierte en suelo útil para el crecimiento de las plantas.

Cuando fabricamos y usamos un producto, variamos la forma física o química de sus compuestos o elementos, pero nunca creamos a partir de la nada. Esta realidad se conoce como ley de conservación de la materia. La naturaleza muestra de modos diversos cómo la materia y la energía son sometidas a procesos de renovación cíclicos constantes y dinámicos.

Todo organismo se convierte en la fuente potencial de alimento para otro. Así se establecen lo que se llaman cadenas o redes tróficas. Cada organismo ocupa una posición o escalón que llamamos nivel trófico de acuerdo con la cantidad de materia que aporta y de cómo esta materia crece. Cada nivel trófico produce residuos como resultado de la transformación energética de los alimentos o materia nutritiva. Los residuos de las plantas y animales silvestres no son desechos inútiles sino una forma de materia que, aunque energéticamente pobre, sirve a otros organismos, que la vuelven a hacer aprovechable en el ciclo vital.

Los organismos que cierran y a la vez abren una red trófica son los descomponedores, los cuales se alimentan de materia orgánica muerta y que en el proceso metabólico la mineralizan, haciéndola útil de nuevo para las plantas. Lógicamente, las sustancias que forman un ser vivo no son las únicas que se reciclan.

En la naturaleza existen diversos elementos químicos como el agua, el oxígeno y el fósforo que, pese a formar parte de la estructura de los seres vivos, también describen su propio ciclo. En definitiva, la naturaleza nos muestra que, ayudada por la energía solar, se puede luchar

contra la progresiva degradación de la materia, sintetizando nuevas sustancias vitales, haciendo crecer organismos y manteniendo lleno de vida el planeta Tierra.

En todo este proceso la aparición de la especie humana aporta una importante diferencia, en la medida en que su capacidad racional le permite sintetizar compuestos nuevos para los que la naturaleza no dispone de procesos fáciles de degradación, y por tanto se acumulan sin posibilidad de reincorporarlos en ningún ciclo natural. Por otro lado, estos compuestos más o menos persistentes, pueden convertirse incluso en tóxicos y peligrosos para el propio desarrollo de la vida en la medida en que son extraños a la bioquímica de la vida.

La capacidad de generar sustancias contaminantes por parte de la familia humana en los últimos siglos, pero muy especialmente desde el siglo XX, se ha convertido en el principal problema para propiciar una civilización sostenible, es decir, capaz de perpetuarse en el tiempo. Actualmente, hemos creado decenas de miles de sustancias, y algunas de ellas se han convertido en auténticas pesadillas por su capacidad de destrucción de la vida (cancerígenas, mutagénicas, etc.)

Conocer y adaptar nuestro ingenio para mejorar la calidad de vida en los ciclos naturales es el principal reto del siglo XXI. El ecodiseño como concepto que explica esta nueva tendencia de crear materiales y objetos reciclables y no tóxicos representa una esperanza para el futuro de la humanidad, esperanza que no será posible sin un estilo de vida más modesto.

## 6.2 *Proceso de compostaje*



*Figura 24. Pila de compost*

La palabra *compost* deriva del latín *compositus* y su significado sería «poner junto». Los términos *compost*, *compostaje* o *compostar*, han pasado a ser habituales en nuestro lenguaje y abrevian con precisión el concepto de materia orgánica descompuesta.

El compostaje es un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica por la acción de los microorganismos que actúan sobre la materia orgánica.

La degradación ocurre debido a la acción de una gama de microorganismos y sus productos metabólicos, los cuales en condiciones adecuadas de pH, oxígeno, temperatura, fuentes de nutrientes y energía, actúan conjuntamente realizando el proceso de compostaje natural que produce como resultado final el *compost*; producto de gran utilidad para mejorar las

características físicas de los suelos tales como textura, retención de humedad, nivel nutricional, etc.

Puede definirse como una transformación mediante fermentación aerobia de la materia orgánica presente en los desechos sólidos, donde se obtiene como producto final el compost.

El proceso de compostaje consiste en la ruptura de los materiales orgánicos por la acción de un gran número de variados microorganismos, en un ambiente húmedo y tibio, para producir humus como producto final. Esta descomposición a través del compostaje es acompañada por la digestión enzimática de los materiales orgánicos por microorganismos del suelo.

A medida que el proceso de compostaje continúa la ruptura de materias crudas hacia formas simples de proteínas y carbohidratos, estas se hacen más disponibles para una amplia variedad de hongos – actinomicetos y especies de bacterias que los llevarán a estados mayores de descomposición.

Mediante la ruptura de los carbohidratos (almidones y azúcares) se producen, a través de un proceso rápido y completo azúcares simples, ácidos orgánicos y dióxido de carbono. Cuando se produce la descomposición de las proteínas, estas rápidamente se degradan en péptidos, aminoácidos, y entonces en compuestos amonio nitrogenados asimilables y nitrógeno atmosférico. Finalmente, especies de bacterias “nitrificadoras” transforman los compuestos amoniacales en nitratos, los cuales son más asimilables para las plantas. Descomposición aeróbica significa que los microbios activos en la pila de compost requieren oxígeno. Mientras los microbios anaeróbicos no requieren oxígeno para vivir y desarrollarse.

En un proceso de compostaje termofílico y bio-oxidativo, adecuados niveles de oxígeno son esenciales para el desarrollo de los microorganismos. Un exceso de humedad reducirá los niveles de oxígeno, aumentando los de dióxido de carbono.

La adhesión de humedad como parte del proceso de compostaje es necesaria para mantener la vida microbiana.

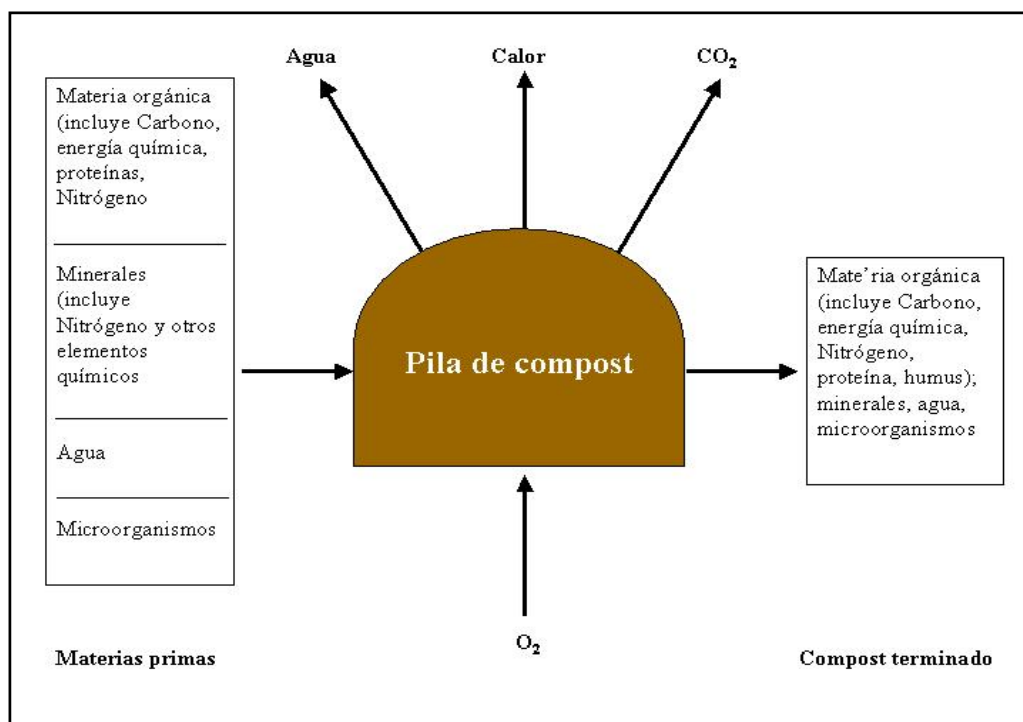


Figura 25. Transformación de la materia orgánica en compost

La transformación de los residuos ocurre principalmente a través de la acción de los microorganismos, pudiendo ser subdividida en dos etapas: una física (desintegración) y otra química (descomposición). En la primera ocurre la quiebra mecánica de los residuos y en la última primeramente los desperdicios se descomponen en sus unidades estructurales básicas por la acción de enzimas extracelulares que posteriormente son absorbidas y oxidadas por los microorganismos a fin de obtener energía y nutrientes inorgánicos para su desarrollo, con la consecuente producción de biomasa.

La descomposición de la materia orgánica puede ocurrir por dos procesos:

- En presencia de oxígeno (aerobio);
- En ausencia de oxígeno (anaerobio)

De acuerdo con la disponibilidad de oxígeno libre, predominan los microorganismos aerobios o anaerobios, siendo los agentes más destacados los hongos, bacterias y actinomicetos, entre otros.

### **6.2.1 Precompostaje**

Se denomina precompostaje, a todos aquellos procedimientos que se realizan antes de la conformación de las parvas o camellones, que tienen como objetivo acondicionar la masa de residuos para optimizar el proceso. Algunos de estos procedimientos ya se han mencionado: Balance de nutrientes (corrección de la relación C/N), corrección del pH, chipeado, triturado y molienda.

Algunos tipos de residuos, pueden presentar poca carga biológica o masa microbiana. En estos casos es conveniente aplicar técnicas de bioaumentación. Las más sencillas de estas técnicas consisten básicamente en inocular artificialmente los desechos con una carga de microorganismos.

### **6.2.2 Factores que condicionan el proceso de compostaje**

El proceso de compostaje se basa en aprovechar, monitorear y dirigir la actividad de los microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para éxito de la actividad de degradación de los microorganismos es necesario mantener las condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación.

- **Temperatura:** La temperatura óptima para el proceso de compostaje debe mantenerse entre 35-55° C a fin de facilitar los procesos de eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, algunos de los microorganismos necesarios para un eficiente proceso de compostaje mueren y otros no pueden intervenir en el proceso de compostaje por encontrarse en forma de esporas;
- **Humedad:** Para la realización óptima del proceso, la humedad del medio debe oscilar entre 40 - 60%. Si el contenido de agua es mayor, ésta ocupará todos los poros y espacios y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica y la materia orgánica se pudriría. Si la humedad es excesivamente baja el proceso se hace más lento. Los niveles de humedad a mantener en el medio para optimizar la eficiencia del proceso dependerán de las características

de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible se encuentra entre 75 - 85% mientras que para material vegetal fresco debe mantenerse entre 50 - 60%;

- pH: El pH del medio debe ser controlado y ajustado ya que puede afectar la supervivencia de los microorganismos y la eficiencia del proceso. La tolerancia de los hongos a las variaciones de pH está entre 5 - 8, mientras que las bacterias pueden sobrevivir entre márgenes de pH de 6.0 – 7.5;
- Oxígeno: Por ser el compostaje un proceso aeróbico, la presencia de oxígeno es esencial para su éxito, por lo que la masa debe voltearse con frecuencia. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada;
- Relación C/N: Para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre el carbono y el nitrógeno. Se estima que una relación C/N de 25 - 35 es la más adecuada, pero en realidad la proporción C/N depende directamente de las materias primas que integran la masa a compostar. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Cuando la relación C/N es muy baja se pierde el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Productos aptos para compostar ricos en carbono y pobres en nitrógeno son: paja, heno seco, hojas y ramas de árboles, turba y aserrín. Productos aptos para compostar pobres en carbono y ricos en nitrógeno son: vegetales jóvenes, deyecciones de animales y residuos de mataderos;
- Población microbiana. Intervienen en el proceso una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos, los que desempeñan funciones específicas en las diferentes etapas del proceso.

### 6.2.3 Materias primas a compostar

- Desechos de podas.
- Desechos de agro mercados.
- Desechos orgánicos domiciliarios.

Durante el compostaje ocurren desprendimientos de gas carbónico, agua (vapor) y energía, debido a la acción de los microorganismos. Parte de esta energía es utilizada para el crecimiento de los microorganismos, mientras que el resto de la energía es liberada en forma de calor, que se procura conservar en la pila de compost. Como resultado, la pila se calienta, variando posteriormente su temperatura en dependencia de la etapa del proceso en que se encuentra la pila. El compost final (humus), esta constituido por fracciones de residuos orgánicos, productos descompuestos y microorganismos muertos o vivos.



#### 6.2.4 Períodos del proceso de compostaje

El proceso de compostaje ocurre a través de las cuatro etapas siguientes: mesofílica, termofílica, de enfriamiento y maduración (cura). El desarrollo de estas etapas está íntimamente relacionado con la evolución de la temperatura en la pila.

En cada etapa predominan los microorganismos que se adaptan a sus condiciones de desarrollo. Los principales factores que afectan la velocidad del proceso son aquellos que influyen en la actividad biológica.

Al inicio del compostaje, existe un predominio de bacterias, hongos y actinomicetos mesofílicos que descomponen proteínas, almidones y azúcares (productos fácilmente degradables). Con el aumento de la temperatura a niveles superiores a 50° C debido a la liberación de calor por las reacciones exotérmicas, surgen los microorganismos termofílicos, en tanto que los mesofílicos disminuyen sensiblemente en cantidad. En esta fase, las bacterias y los actinomicetos son predominantes, siendo favorecidos tanto por la temperatura como por el elevado pH.

Los hongos termofílicos actúan en la superficie de la pila, las bacterias atacan los lípidos y las fracciones de hemicelulosa, en tanto que la celulosa es descompuesta por los actinomicetos y hongos, principalmente por los primeros debido a su población. Con la reducción de la temperatura los microorganismos mesofílicos reaparecen.

Atendiendo a la evolución de la temperatura el proceso de compostaje se desarrolla en cuatro estadios o etapas:

1. Mesofílico: La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica (predominan las bacterias) la temperatura se eleva a gran velocidad hasta alcanzar aproximadamente los 40° C y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH, entre 5.0 – 5.5.
2. Termofílico: Se caracteriza por la presencia de elevadas temperaturas (por encima de los 40° C), donde los microorganismos termófilos (predominan los hongos termófilos y actinomicetos) actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino, oscilando entre 8 y 9 a causa del consumo de los ácidos orgánicos por parte de los microorganismos y se origina la producción de iones, como potasio, magnesio y calcio. Por encima de los 65° C desaparecen los hongos termófilos y preponderan las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer y transformar las ceras, proteínas, celulosa y hemicelulosas.
3. Enfriamiento: En esta etapa ocurre un descenso paulatino de la temperatura hasta alcanzar los 40° C, reactivándose los microorganismos mesófilos; cuando la temperatura se encuentra por debajo de los 60° C reaparecen los hongos termófilos que re-invasen el mantillo y descomponen otra parte de la celulosa como la lignina y la lignoproteína y el pH del medio desciende ligeramente.
4. Maduración: Es un período que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus. En esta etapa la temperatura de la pila disminuye continuamente hasta niveles cercanos a la temperatura ambiente. Se produce la madurez o el enfriamiento del compost. Ocurre la disminución de las poblaciones microbiana. El pH del compost terminado oscila entre 7 y 8.

Variación de la temperatura durante el transcurso de las cuatro etapas que tiene lugar en el proceso de compostaje.

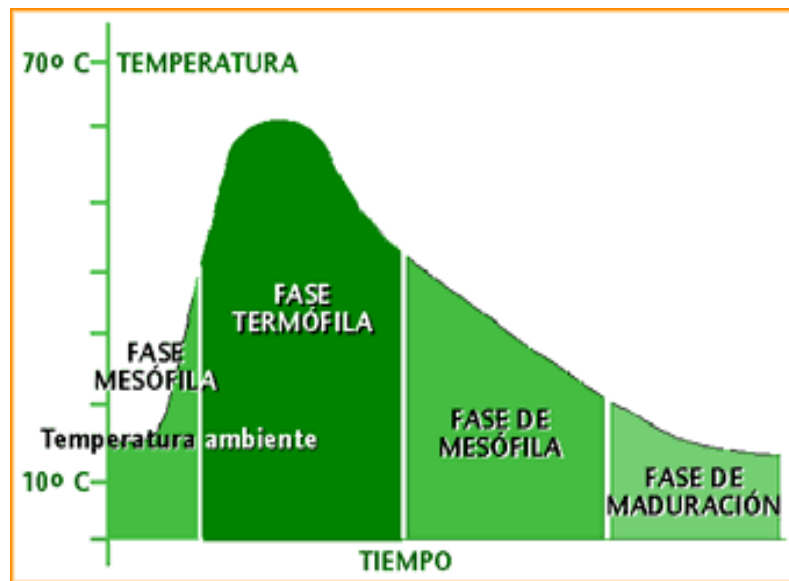


Figura 26. Períodos del proceso de compostaje

Representación de los diferentes tipos de microorganismos que participan en la degradación de la materia orgánica.

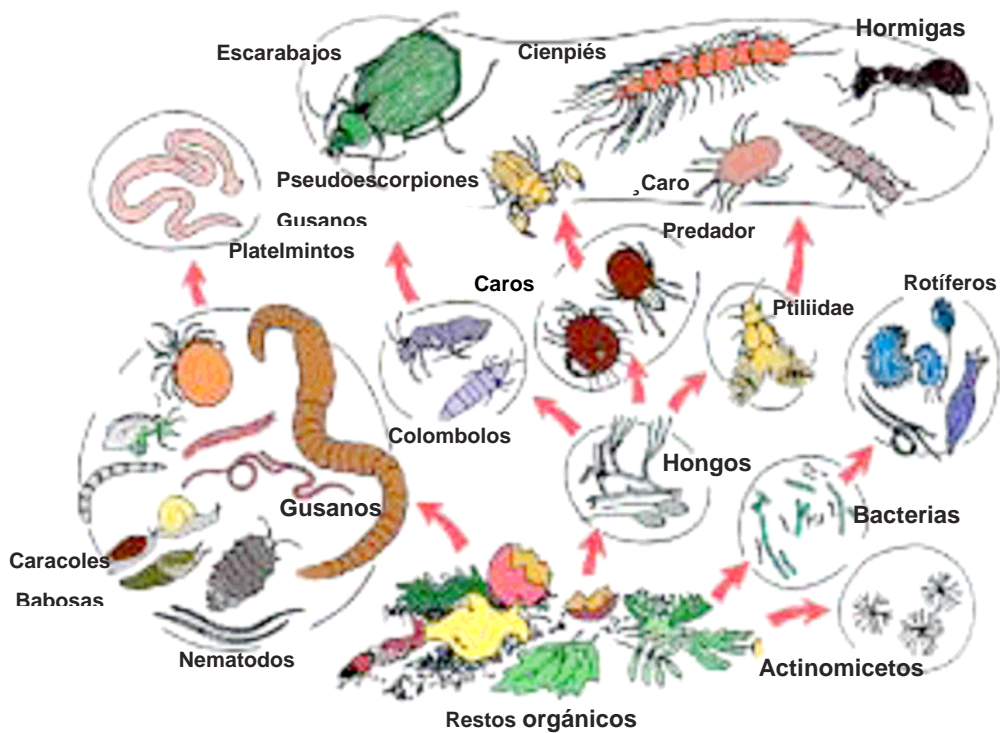
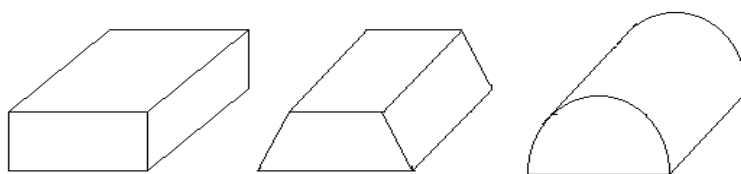


Figura 27. Insectos y microorganismos que participan en el proceso de compostaje



### 6.2.5 Producción de compost

La elaboración del compost se basa en la construcción de un montón formado por las diferentes materias primas, y en el que es importante realizar una mezcla correcta.



*Figura 28. Formas de pilas de materia orgánica*

Los materiales deben estar bien mezclados y homogeneizados, por lo que se recomienda una trituración previa de los restos de cosecha leñosos, ya que la rapidez de formación del compost es inversamente proporcional al tamaño de los materiales. Cuando los restos son demasiado grandes se corre el peligro de una aireación y desecación excesiva del montón lo que perjudica el proceso de compostaje.

El montón debe tener el suficiente volumen para conseguir un adecuado equilibrio entre humedad y aireación y deber estar en contacto directo con el suelo. Para ello se intercalarán entre los materiales vegetales algunas capas de suelo fértil. La ubicación del montón dependerá de las condiciones climáticas de cada lugar, en zonas más calurosas conviene situarlo a la sombra durante los meses de verano.

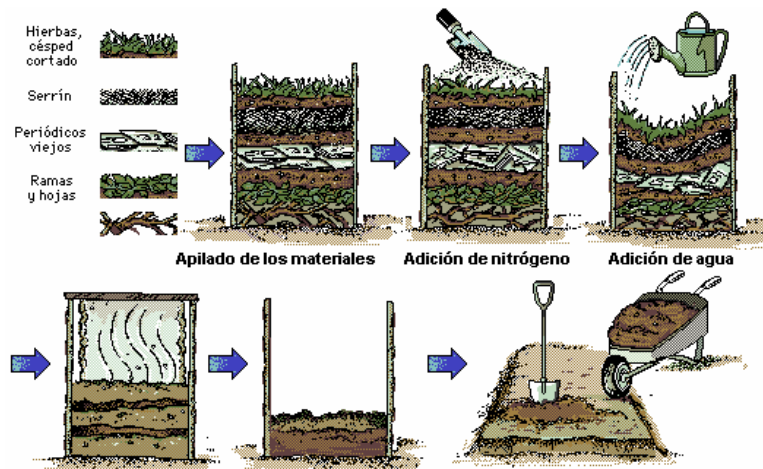


*Figura 29. Preparación de pilas de materia orgánica*

Se recomienda la construcción de montones alargados, de sección triangular o trapezoidal, con una altura de 1.5 metros, con una anchura de base no superior a su altura. Es importante intercalar cada 20 - 30 cm de altura una fina capa de 2 - 3 cm de espesor de compost maduro o de estiércol para la facilitar la colonización del montón por parte de los microorganismos.

El compost puede ser elaborado en silos, tubos alargados donde se depositan los desechos, con calados en toda la superficie para permitir las aireaciones, cajas o recipientes de madera

con facilidades para la aireación y para su volteo o en el suelo colocando por capas los diferentes desechos, como se muestra en la figura siguiente.



*Figura 30. Representación esquemática de la técnica de producción en pilas*

También se pueden emplear tecnologías más modernas con el uso de trituradoras, cargadores y volteadores, con inyección de aire, para mantener las condiciones aerobias que necesitan para su desarrollo los microorganismos que le dan origen, como se muestra en las figuras siguientes.



*Figura 31. Volteador de las pilas de compost*

El compost no se considera un abono sino un acondicionador del terreno, aunque en la práctica suele sustituir a abonos orgánicos (estiércol) debido a su calidad superior y propiedades físicas, químicas y biológicas.



*Figura 32. Cargador*



*Figura 33. Trituradora de materia orgánica*

#### ***6.2.5.1 Impacto del compost sobre las características físicas de los suelos***

- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos y ligando los sueltos y arenosos;
- Mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación;
- Reduce la erosión del suelo;
- Incrementa la capacidad de retención de humedad;
- Confiere al suelo un color oscuro ayudando a la retención de energía calorífica.
- 

#### ***6.2.5.2 Impacto del compost sobre las características químicas de los suelos***

La composición química del compost varía mucho en dependencia del tipo de material orgánico a comportar, por lo general el compost contribuye a:

- Incrementar la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, azufre, calcio, magnesio entre otros, en los suelos;
- Incrementar la eficiencia de la fertilización al añadir nitrógeno a los suelos;
- Estabilizar la reacción del suelo, debido a su alto poder de tampón;

- Inactivar los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción;
- Inhibir el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas;

### 6.2.5.3 *Propiedades biológicas*

- Constituye una fuente de energía la cual incentiva a la actividad microbiana.

Al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH, temperatura, humedad, entre otros, se incrementa la actividad microbiana, responsable de los procesos de mineralización de la materia orgánica, amonificación, nitrificación, fijación de nitrógeno, etc.

### 6.2.6 Operaciones básicas

Para lograr la descomposición de la materia orgánica y obtener un compost de alta calidad es necesario realizar las tres operaciones básicas siguientes:

1. Acondicionamiento de los RSU;
2. Fermentación aerobia;
3. Adecuación del producto final.

#### 6.2.6.1 *Acondicionamiento de los RSU*

Esta primera etapa incluye dos pasos fundamentales:

- Separación de la materia orgánica: La literatura reporta diversos métodos para realizar esta separación. En la mayoría de los casos la operación se realiza por métodos manuales empleando transportadores de banda, para extraer materiales tales como: vidrios, plásticos y algunos metales. Posteriormente la separación magnética se encarga de las fracciones de chatarra ferrosa presentes en los residuos;
- Acondicionamiento del material a compostar: Esta operación esta relacionada con las características propias de los residuales sólidos tratados. Según la bibliografía consultada, la mayoría de los autores coinciden en que los factores a tener en cuenta para iniciar un proceso óptimo de compostaje son:

a) Relación Carbono-Nitrógeno(C/N): Expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción de los microorganismos.

Una relación C/N óptima de entrada (material "crudo o fresco" a compostar) es de 25 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir  $C (25)/N (1) = 25$ . En términos generales, una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Si la relación C/N está en el orden de 10, nos indica que el material tiene relativamente más nitrógeno y si la relación es de 40, manifiesta que el material tiene relativamente más carbono.

Un material que presente una relación C/N superior a 30, requerirá para su biodegradación un mayor número de generaciones de microorganismos, y el tiempo necesario será mayor para alcanzar una relación C/N final entre 12-15, que es la considerada apropiada para uso

agronómico. Si el cociente entre estos dos elementos es inferior a 20 se producirán pérdidas importantes de nitrógeno.

Los residuos de origen vegetal, presentan por lo general una relación C/N elevada. Las plantas contienen más nitrógeno cuando son jóvenes y menos en su madurez.

Los residuos de origen animal presentan por lo general una baja relación C/N. Existen tablas, donde es posible obtener las relaciones de estos elementos para diferentes tipos de residuos.

La siguiente tabla da una indicación de los contenidos de nitrógeno y la relación C/N de diferentes residuos orgánicos.

Material	N (%)	C:N
Residuos animales		
Orines	15 – 18	0,8
Sangre	10 – 14	3
Residuos de pescado	6.5 – 10	5.1
Residuos de matadero	7 – 10	2
Estiércol de aves	6.3	-
Estiércol de caballos	2.3	25
Estiércol de vacas	1.7	18
Estiércol de corral	2.15	14
Residuos de plantas		
Viruta de pino	4	12
Recorte de césped	2.4	19
Amaranto	4.5	8
Residuos domiciliarios		
Basura	2.2	25
Pan	2.1	-
Papa	1.5	25

b) *Tamaño de partícula:* Para poder iniciar un proceso de compostaje, se recomienda un tamaño de partícula cuyos diámetros deben estar entre 25 y 75 mm, disminuyendo la velocidad de descomposición para rangos mayores debido a un descenso de la temperatura, mientras que para rangos menores la aireación puede verse desfavorecida. La literatura recomienda el uso de molinos de martillo (trituradoras de materia orgánica). En la trituración donde se obtengan diámetros inferiores a 3 mm, no son aconsejables, ya que la acumulación de materiales con estos diámetros tiende a compactarse en los asentamientos de las parvas, con lo que disminuye en forma importante la capacidad de intercambio gaseoso.

c) *Disponibilidad de fósforo y potasio:* El compostaje no ocurrirá en ausencia de fósforo y potasio ya que si bien el primero es un componente vital en los procesos de transferencia de energía celular, el segundo es el encargado de regular la presión osmótica de las células. El calcio y magnesio deben adicionarse de 1 a 2% en peso de residuos orgánicos. Cantidades superiores no deben ser utilizadas ya que conducen a una pérdida de N<sub>2</sub> en forma de NH<sub>3</sub>, además de alterar los niveles de población de microorganismos, causando perjuicios al proceso. El uso de fosfato de calcio aumenta la tasa de descomposición de los residuos, lo cual ocurre principalmente en las fracciones de celulosa y hemicelulosa al elevarse el número de organismos descomponedores de celulosa, además de causar una disminución en la

cantidad de bacterias desnitrificantes, por lo que esto contribuye a conservar el N<sub>2</sub>; debe adicionarse no más del 2% en peso de residuos.

d) *Humedad*: El contenido en humedad de los desechos orgánicos crudos es muy variable, tal es el caso de la excretas y estiércoles, donde el contenido en humedad está íntimamente relacionado con la dieta. Si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50%, necesariamente debe buscarse la forma de que el material pierda humedad antes de formar las pilas o camellones. Este procedimiento, puede realizarse extendiendo el material en capas delgadas para que pierda humedad por evaporación natural, o bien mezclándolo con materiales secos, procurando mantener siempre una adecuada relación C/N.

La humedad idónea para una biodegradación con franco predominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden del 15 al 35% (del 40 al 60%, si se puede mantener una buena aireación). Humedades superiores a los valores indicados producirían un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, con lo que el medio se volvería anaerobio, favoreciendo los metabolismos fermentativos y las respiraciones anaeróbicas. Si la humedad se sitúa en valores inferiores al 10%, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento.

El carácter osmótrofo de la gran mayoría de grupos fisiológicos, implica que con humedades inferiores al 20%, las poblaciones pasen a fases estacionarias o en condiciones extremas a fase de muerte, retardando o deteniendo el proceso de compostaje. La humedad adecuada para cada etapa, depende de la naturaleza, compactación y textura de los materiales de la pila. Los materiales fibrosos y finos retienen mayor humedad y aumentan la superficie específica de contacto.

e) *pH*: La gama tolerada por las bacterias en general es relativamente amplia, existen grupos fisiológicos adaptados a valores extremos. No obstante, pH cercano al neutro (pH 6.5 - 7.5) ligeramente ácido o ligeramente alcalino nos asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH inferiores a 5.5 (ácidos) inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores superiores a 8 (alcalinos) también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son asimilables por los microorganismos. Durante el proceso de compostaje se producen cambios de los valores del pH del medio.

f) *Aireación*: La aireación es, conjuntamente con la relación C/N, uno de los principales parámetros a controlar en el proceso de compostaje aeróbico. Cuando como consecuencia de una mala aireación la concentración de oxígeno alrededor de las partículas baja a valores inferiores al 20% (concentración normal en el aire), se producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones y las respiraciones anaeróbicas.

En la práctica, esta situación se diagnostica por la aparición de olores nauseabundos, producto de respiraciones anaeróbicas (degradación por la vía de putrefacción), generación de dihidruro de azufre (SH<sub>2</sub>) o fuerte olor a amoníaco producto de la amonificación. En una masa en compostaje con una adecuada relación C/N, estas condiciones de anaerobiosis se producen por exceso de humedad o bien por una excesiva compactación del material. En estas situaciones se debe proceder de inmediato a suspender los riegos, remoción del material y a la reconfiguración de los camellones.

### 6.2.6.2 Fermentación aerobia

Una vez concluido el proceso de adecuación de la materia prima se realizan los preparativos para iniciar la fermentación aerobia, lo cual incluye el montaje de la pila de fermentación y su manipulación, así como el chequeo de los parámetros requeridos en forma periódica durante el proceso.

⇒ *Montaje de la pila y su manipulación:* El lugar para montar una pila de compost debe estar protegido de las lluvias, radiación solar prolongada y la erosión. Debe tratarse de lugares que posean buena ventilación. Sobre el suelo, al levantar la pila deben situarse pedazos de madera o tubos plásticos para ayudar a ventilar las partes de la pila menos favorecidas a la entrada de aire; a continuación se vierte una capa de gravilla de 5 cm de espesor, quedando constituida de esta manera la base de la pila.

Posteriormente sobre la gravilla se coloca una capa de residuos de 15 cm de espesor, seguida de una capa de 5 cm de material iniciador de compostaje (tierra fértil, compost, estiércol de rumiantes o cachaza), el cual no es más que la fuente de microorganismos. Luego se repite esta operación hasta alcanzar una altura de 1.5 m, necesaria para conservar el calor. Comúnmente las pilas son de base rectangular de un ancho entre 2.5 y 3 m, no existiendo restricciones en cuanto al largo.

La forma de las pilas es un factor relacionado con la capacidad de la pila para retener la humedad. Una vez montada la pila, la misma debe ser volteada a los 15 días, después se repite esta operación al transcurrir otros 15 días, posteriormente se deben esperar 30 días más para el tercer volteo y 30 días más para el cuarto.

Según esta metodología el tiempo total del proceso es de tres a cuatro meses debiéndose controlar los factores que a continuación se analizan:

⇒ *Temperatura:* A los pocos días de montada la pila, la temperatura asciende de 40 a 45° C, correspondiendo esto a la fase mesofílica. Posteriormente se inicia el estadio termofílico, que puede durar más de 20 días, en esta fase la temperatura alcanza un pico de aproximadamente 70° C, en el cual los microorganismos patógenos son eliminados, luego la temperatura descende y a partir de 40° C comienzan las segundas fases mesofílicas para continuar con la fase de maduración.

Un pico de temperatura igual o mayor a 65° C es desaconsejable debido a una drástica disminución en la tasa de descomposición causada por la muerte de los microorganismos. Cuando la relación (C/N) en la pila es baja (menor de 20) puede ocurrir una autocombustión de la pila si esta situación es acompañada de baja humedad, transformándose los residuos en cenizas.

⇒ *Humedad:* El contenido de agua juega un papel importante en el proceso de compostaje. Los microorganismos encargados de la descomposición requieren condiciones de alta humedad, pero no pueden resistir la inundación completa ya que si todos los espacios de aire en la pila se llenan de agua puede ocurrir la lixiviación de los nutrientes, así como el desarrollo de condiciones anaeróbicas indeseables. Un aumento de la humedad por encima del 60% puede conducir a una drástica disminución de temperatura trayendo esto dificultades en el intercambio gaseoso con el exterior, lo que conlleva a la producción de olores desagradables.

Debido al calor generado por la acción de los microorganismos y las condiciones aerobias, la pila posee una tendencia natural a secarse, por tanto se debe humedecer la pila

periódicamente. Cuanto más avanzado esté el proceso de descomposición mayor capacidad de retención de agua poseerá la pila.

⇒ *pH*: El pH inicial de los residuos tiende a disminuir en los primeros días de iniciado el proceso de compostaje debido a la producción de ácidos orgánicos, luego este parámetro desciende desde valores iniciales de 5 a 6 hasta valores cercanos a 4.5. Posteriormente se aprecia una rápida recuperación hasta valores de 7 y 8 permaneciendo estable hasta el final del proceso.

Si la pila se recubre de hongos significa que el pH está por debajo de 4.5 y la velocidad de descomposición disminuye, debiendo ser añadidos materiales tales como conchas de moluscos y cenizas entre otros.

Es necesario señalar que las variaciones de pH ocurren de forma análoga a los cambios de temperatura.

⇒ *Aireación*: Es de vital importancia mantener altos niveles de aireación con el objetivo de suministrar el O<sub>2</sub> requerido empleado por los microorganismos para la degradación de la materia orgánica, así como reemplazar el gas carbónico producido.

Es aconsejable:

- Montar las pilas sobre pedazos de madera;
- Emplear tubos respiratorios, insertados en la pila;
- Incrementar los volteos de la pila;
- Analizar alternativas, como la aireación forzada.

⇒ *Capacidad de intercambio catiónico*: La capacidad de intercambio catiónico, en base libre de cenizas, puede ser utilizada en la determinación del grado de maduración del proceso de compostaje; estando la misma en los primeros días, alrededor de 4 meq/100 g, aumentando gradualmente hasta 70 - 80 meq/100 g en 60 días y permaneciendo prácticamente constante de ahí en adelante, marcándose así el inicio del proceso de maduración.

### 6.2.6.3 Adecuación del producto final

En las fuentes revisadas no se encontraron normas de calidad precisas para el compost, no obstante los productores recomiendan que el producto terminado debe tener las siguientes características:

- Aspecto: Mantillo negruzco, suelto y granulado;
- Olor: No debe desprender olores nauseabundos;
- pH: Al final de la mineralización el pH es ligeramente básico. Un pH más alcalino, si no es producido por un exceso de salinidad en el producto, no supone inconvenientes para su aplicación a suelos básicos, ya que la alcalinidad del compost es tamponizada.
- Densidad: La densidad debe estar cercana a los 400 - 500 kg/m<sup>3</sup>, que es la óptima para su transporte y aplicación. Valores altos de densidad pudieran deberse a un exceso de humedad;
- Humedad: Debe ser menor que un 40%;
- Impurezas: Puede contener fragmentos de vidrio y plástico. Otras impurezas tales como coronas metálicas, pilas eléctricas, agujas hipodérmicas, etc., son impropias y no aceptables en el compost urbano. Las impurezas vítreas no influyen negativamente por su cantidad como por el tamaño y forma del fragmento presente (6 mm, como valor máximo), por lo cual debe considerarse esto en el diseño de la operación de

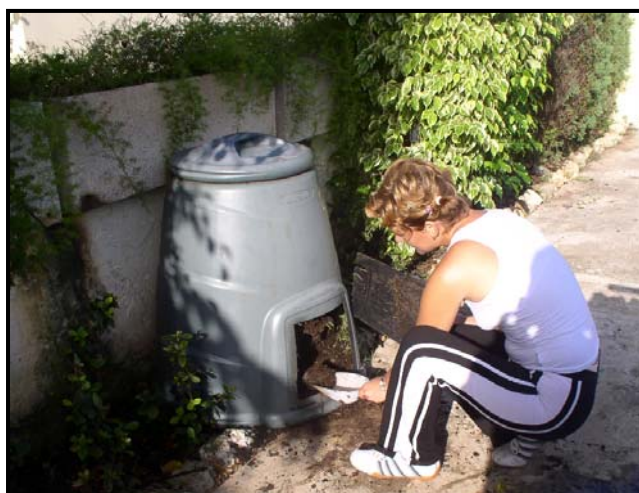


triturado. Fragmentos grandes de plástico producen trastornos en la utilización de maquinarias.

### 6.2.7 Compostaje doméstico

Los residuos orgánicos, es decir, aquellos que tienen su origen en los seres vivos, tanto animales como vegetales, constituyen entre el 40 y el 50% de los residuos urbanos. Su recogida y tratamiento en rellenos sanitarios son muy costosos y exigen importantes infraestructuras para minimizar las consecuencias ambientales negativas derivadas de su recolección, transporte, acumulación, enterramiento o incineración.

El compostaje es un proceso fácil de llevar a cabo y de relativamente bajo costo comparado con otros sistemas de tratamiento. Existen numerosas formas de preparar compost. Esta sección se ocupa específicamente del compostaje doméstico.



*Figura 34. Compostador doméstico*

Para poner en práctica el reciclaje de los residuos orgánicos en el hogar debe disponerse del espacio suficiente en el jardín, huerto o terraza. Aunque el compost puede hacerse en una simple pila de restos orgánicos, en situaciones de espacio limitado, resulta más práctico emplear contenedores llamados compostadores. Se recomienda ubicarlos en lugares sombreados, con buen drenaje y de fácil acceso. Conviene que estén resguardados de condiciones adversas para no exponer el material continuamente a la lluvia, al viento o al sol, evitando que los residuos se humedezcan o se sequen demasiado. Su colocación sobre la tierra, en vez de cemento, asfalto o pavimento favorece que los descomponedores presentes en dicho suelo colonicen el recipiente. Es recomendable poner el compostador doméstico sobre una superficie de tierra o césped de al menos 3 m<sup>2</sup>.

Una vez escogido el lugar, se recolecta la materia prima para la elaboración del compost, principalmente los restos de cocina y jardín. Los restos de jardín no compostan fácilmente por lo que pueden guardarse, apilados, para incorporarlos al proceso poco a poco, a medida que haya necesidad. Los restos de la cocina deben incorporarse al proceso lo antes posible, ya que se descomponen muy rápidamente y pueden llegar a producir malos olores.

Para favorecer la descomposición de los materiales y propiciar las mejores condiciones del proceso es importante que los materiales tengan un tamaño de partícula reducido y

homogéneo. La correcta mezcla de los materiales permitirá optimizar el proceso. Habrá que rellenar la base del compostador con una capa de material leñoso grueso, para asegurar la buena circulación del aire y el drenaje del material que se depositará encima. A partir de esta primera capa, se irán agregando capas sucesivas con un grosor aproximado entre 10 y 20 cm.

Para configurar una buena estructura deben tenerse en cuenta las diferentes propiedades de cada tipo de material. La mezcla correcta de los materiales aportará las condiciones óptimas de textura, humedad y nutrientes al proceso. Si se pretende compostar únicamente restos de jardinería, deben equilibrarse proporciones de las fracciones verde y marrón aportadas al compostador.

Cuando el proceso incorpora además residuos de la cocina, habrá que combinarlos con las fracciones verde y marrón de los residuos del jardín, procurando que queden enterrados y bien mezclados entre sí. El aporte de material húmedo ha de ser aproximadamente el doble que el de material seco.

Es aconsejable remover regularmente el material para asegurar que la transformación tenga lugar en condiciones aeróbicas, y además llegue el aire al centro del compostador acelerando el proceso. Para ayudar a airear el compostador se pueden agregar tiras de periódico que crearán bolsas de aire y es muy recomendable usar un removedor. Esta operación tiene dos funciones esenciales, por un lado la mezcla de los materiales, homogeneizando y poniendo en contacto todo el material con las diferentes zonas de temperatura, y por otro, airea toda la masa, evitando posibles zonas sin oxígeno.

Durante esta operación se podrá controlar que el proceso se desarrolle adecuadamente, y se podrán regar los materiales con agua si estuvieran muy secos, o añadir estructurante si están demasiado húmedos.

Normalmente al final del proceso de compostaje se encontrarán restos de ramas, piñas y huesos y otros materiales que compostan muy lentamente. Según el uso que a que se destine el compost, habrá que tamizarlo para obtener así un material más fino. El tamizado puede realizarse manualmente usando un tamiz de unos 10 mm. Se obtendrá una fracción fina y otra gruesa. Esta última se reincorporará al compostador como material estructurante y fuente de carbono.

#### ***6.2.7.1 Etapas del proceso***

##### 1ª Etapa: Descomposición y degradación:

Aunque los procesos de descomposición pueden ser aerobios o anaerobios, es decir, en presencia o ausencia de oxígeno, en el compostaje doméstico se utiliza el primero, dado que el segundo produce malos olores.

El trabajo de hongos y bacterias genera calor elevándose la temperatura de la masa hasta unos 60° C, variando según los materiales utilizados y disminuyendo en la medida en que la actividad biológica decrece. Si la humedad y la mezcla de materiales son adecuadas, el proceso de descomposición y degradación se llevará a cabo correctamente, y a los dos o tres meses se tendrá, en la parte inferior de la pila, lo que se llama compost fresco.

##### 2ª Etapa: Maduración:

Durante esta fase el compost está normalmente frío o tibio y en él se multiplican insectos, lombrices y otros pequeños animales que se nutren de los microorganismos, restos vegetales y diversos invertebrados, contribuyendo así a la formación de humus.

Para saber cuando el proceso de compostaje se puede dar por finalizado se tendrá como referencia el tiempo de duración del proceso y las características físicas o aspecto externo del compost.

La duración del proceso es variable, ya que depende de muchos factores como las condiciones climáticas, los cuidados o el tipo de material utilizado. Normalmente este tipo de compostaje transcurre entre 6 y 12 meses en total (incluye 1ª y 2ª etapa) para obtener el compost maduro. Si queremos acelerar el proceso podemos jugar con la frecuencia de riegos y volteos. Si se realiza esta operación una ó dos veces a la semana, el compost se formará en cuatro meses. Si no se hacen volteos, tardará unos 12 meses. Lo más recomendable es el equilibrio entre el esfuerzo de volteos, que sería una ó dos veces al mes, y el período de compostaje, de manera que el compost estaría listo en seis ó nueve meses.

Las características físicas de los materiales varían a medida que transcurre el tiempo, adquiriendo diferentes aspectos. El compost maduro lo reconoceremos por las siguientes características:

- Se ha enfriado y reducido el volumen de la masa original en aproximadamente la tercera parte;
- Es de color marrón oscuro o negro y con un olor agradable a tierra de bosque;
- Su aspecto es homogéneo y no se diferencian los restos orgánicos que se han incorporado;
- Es ligero y esponjoso. Se desmenuza fácilmente con las manos y no se compacta al presionarlo.

El compost inacabado generalmente contiene mayor humedad y no resulta tan ligero al tacto. A primera vista se diferencian algunos restos orgánicos añadidos. Incluso puede retardar o inhibir la germinación y desarrollo de ciertas plantas, debido a que las raíces jóvenes y tiernas son sensibles a las sustancias de carácter ácido que contiene el compost inmaduro.

#### ***6.2.7.2 Materias primas utilizadas en el compostaje doméstico***

Como consecuencia de las actividades cotidianas del hogar se produce una gran variedad de residuos orgánicos, inorgánicos y sintéticos, aunque no todos son apropiados para producir compost.

Los materiales que podemos compostar son los residuos de origen orgánico que se generan en las viviendas. Estos materiales pueden dividirse en dos grupos: los residuos producidos en la cocina y los producidos en jardines y huertos.

En general los residuos de la cocina se caracterizan porque:

- Aportan carbono y nitrógeno;
- Aportan humedad;
- No proporcionan mucha estructura;
- Se descomponen rápidamente

Los restos de jardines y huertos, pueden también dividirse en dos grupos: Material verde y material marrón (oscuro), cuyas características generales son las siguientes:

Material verde	<b>Material marrón</b>
Humedad moderada	Material seco
Aporta principalmente nitrógeno	Aporta principalmente carbono
Proporciona poca estructura	Proporciona estructura a la mezcla
Se descompone rápidamente	Se descompone lentamente

En la tabla siguiente se detallan las propiedades de algunos residuos específicos generados en el hogar que son apropiados para la elaboración de compost, aunque esta lista sólo pretende ser una fuente de información que permita elegir los materiales con los cuales se pueda producir compost. El abuso en el empleo de un residuo puede acarrear problemas, por lo que se recomienda utilizar en el proceso una mezcla de los mismos, de manera que las propiedades de cada uno de ellos se complementen.

<b>Residuo</b>	<b>Características</b>
Restos de verduras y frutas	Aportan nitrógeno y carbono, además de potasio y fósforo. Descomposición rápida
Huesos	Descomposición lenta. Mejoran la estructura
Pasta y arroz hervido	Producen compactación en mucha cantidad
Cáscaras de huevo machacadas	Aportan calcio. Descomposición lenta
Sedimento de café e infusiones	No generan problemas
Cenizas de madera no tratada	Aportan minerales al compost
Aserrín	Aporta carbono. Descomposición lenta. Absorbe humedad.
Pelos	Descomposición lenta.
Papel y cartulina suave	Aportan carbono. Agregar troceados en pequeñas cantidades
Cortes de césped	Rico en nitrógeno, excelente activador. Mezclar con hojas, ramas secas y desechos de cocina para evitar la compactación
Maleza	No se debe compostar enredaderas o gramas porque pueden enraizar en la masa
Restos de poda	Descomposición lenta, se deben añadir troceados y en pequeñas cantidades. Favorecen la aireación
Hojas	Aportan carbono. Descomposición lenta por la presencia de lignina
Estiércol animal	Rico en nitrógeno, buen activador. Mezclar con paja. Usar sólo estiércol de animales herbívoros: vacas, caballos y conejos

*Tabla 3. Propiedades de algunos residuos generados en el hogar*

### **6.2.7.3 Materiales que NO se pueden o NO se deben compostar:**

A este grupo pertenecen mayoritariamente los residuos de origen inorgánico, no biodegradables, o los que aún siendo orgánicos, suponen una fuente de contaminación para el compost que se aplicará a los suelos.

Cuando se opera con pequeños volúmenes y no hay seguridad de alcanzar altas temperaturas durante el proceso, pueden surgir problemas de higiene con algunos residuos. Por ejemplo, las semillas de frutas y plantas en caso de encontrar condiciones favorables podrían germinar y dar lugar a plantas no deseadas.

Por otra parte, los excrementos humanos y de animales domésticos, como el gato y el perro, pueden contener patógenos, al igual que los pañuelos de papel usados, por lo que no deberán usarse en el proceso.

La carne, el pescado, restos de mariscos y los productos lácteos pueden ocasionar problemas de olores no deseados y atraer a insectos u otros animales mayores.

Los restos de coníferas como el pino son muy ácidos y compostan mal, por lo que no deberán añadirse en grandes cantidades y siempre se añadirán bien trituradas.

Otros residuos como las hojas de castaño, nogal, roble o encina, contienen sustancias inhibitoras del crecimiento de los organismos que intervienen en el proceso del compostaje, por lo que, si se usan, deberán añadirse sólo pequeñas cantidades procurando mezclarlos bien con el resto de los materiales.

### **6.2.7.4 Residuos no compostables:**

- Pañales desechables;
- Tarjetas o papeles de colores brillantes o impreso con tinta de colores;
- Objetos duros (piedras, vidrio, metal, plástico, tetrabricks, baterías);
- Productos químicos del jardín o de la casa (pinturas, esmalte de uñas, etc.);
- Aceites;
- Medicamentos;
- Cenizas de madera tratada.

### **6.2.7.5 Sugerencias para obtener mejores resultados:**

Las condiciones ideales para el desarrollo y trabajo de los microorganismos se dan cuando el material se mantiene caliente, húmedo y oxigenado. Una manera sencilla de saber que estamos en el nivel de humedad adecuado es coger un puñado de material y apretarlo con la mano, éste deberá permanecer compacto. Si se desmenuza significa que está demasiado seco, y si se desprenden gotas de agua que está demasiado húmedo. No hay que dejar secar el compost, por lo que se debe añadir agua cuando sea necesario, en tiempo seco y caluroso.

El cubo o compostador debe permanecer tapado para conservar el calor y la humedad de la masa, además de protegerla de la lluvia. A su vez evitará insectos y otros animales no deseados. Como es necesaria una temperatura adecuada dentro del cubo, se colocará fuera del viento y en un lugar donde no reciba excesivamente el sol.

Los activadores o aceleradores artificiales, aunque no son absolutamente necesarios, calientan y aceleran el proceso de compostaje favoreciendo la actividad biológica de los microorganismos. Son particularmente útiles en los meses más fríos del invierno.

Entre los activadores naturales encontramos la hierba, las ortigas, las algas marinas, la orina, el estiércol de caballos, vacas, ovejas, cerdos y palomas así como los excrementos de conejos. Asimismo, se pueden comprar activadores que proporcionen al compost altas dosis de nitrógeno.

#### 6.2.7.6 Problemas y Soluciones:

En la siguiente tabla se indica una serie de posibles problemas que pueden ocurrir durante el proceso de producción de compost. La tabla también refleja las causas y propone soluciones.

*Tabla 4. Problemas, causas, soluciones*

<b>Problema</b>	<b>Causa</b>	<b>Solución</b>
Olores desagradables	Falta de oxígeno	Voltear con el removedor
Compost húmedo y oloroso	Excesiva agua Demasiado material verde (por ejemplo: hierba)	Voltear para favorecer la aireación Reducir la cantidad de material verde y añadir material seco (hojas secas, aserrín, paja)
Compost muy seco	Evaporación del agua por altas temperaturas	Regar hasta humedecer y mantener el cubo tapado
Vectores, moscas	Las larvas se alimentan de la vegetación, los adultos son atraídos por los restos de cocina	Evitar el uso de plaguicidas, cubrir la masa con tierra, papel, compost viejo u hojas secas Enterrar los restos de cocina
La masa no se calienta lo suficiente	La mezcla no es adecuada. Falta material verde. Bajas temperaturas ambientales	Añadir materiales ricos en nitrógeno, por ejemplo hierba, cortes recientes de pasto o restos de vegetales y frutas
El proceso se ralentiza en invierno	Los microorganismos se activan con el calor	Añadir activadores que aportan calor

#### 6.2.8 Aplicaciones del compost

El compost tiene una gran gama de aplicaciones en la horticultura, forestación y agricultura debido a sus efectos favorables sobre el suelo:

- Actividad física. Da consistencia a los terrenos ligeros y suelta a los demasiados compactos. Aumenta la retención de agua;
- Actividad química. Facilita el abonado químico y hace que los minerales se disuelvan mejor;
- Actividad biológica. Aumenta el contenido de materia orgánica del suelo. Aumenta la resistencia de las plantas a las enfermedades.

Entre los efectos que brinda el compost al suelo podemos mencionar el incremento en la actividad de la fauna del mismo, aumento de la densidad aparente y de la capacidad de intercambio catiónico, estabilización del pH, disminución del lavado de nitratos, eliminación de patógenos y semillas de malezas por las altas temperaturas generadas por la actividad microbiana y degradación de residuos de plaguicidas.

El compostaje como proceso ofrece ventajas en términos operativos porque disminuye la cantidad de biomasa a aplicar debido a la pérdida de carbono y agua del material, durante el

proceso de descomposición, lo cual representa un ahorro de dinero al productor. Es considerado como un mejorador de suelo porque la adicción de ácidos húmicos aumenta la capacidad de intercambio catiónico y mejora la capacidad de manejo de agua, aspectos esenciales para una finca sostenible. Pero también es usado como abono. La mayoría de los productores, durante el proceso de transición de agricultura convencional a orgánica, buscan alternativas al uso de fertilizantes sintéticos y utilizan el compost como abono orgánico.

#### **6.2.8.1 El compost como abono orgánico**

Muchos agricultores prefieren utilizar compost como fuente de nutrientes para sus cultivos en vez de aplicar residuos frescos, tales como excretas de animales, porque el compost no produce mal olor, reduce los efectos tóxicos sobre los cultivos, la contaminación de aguas y elimina patógenos y semillas de malezas.



*Figura 35. Compost maduro*

Si el compost es utilizado como abono es importante considerar que la disponibilidad de nutrientes varía mucho dependiendo de la materia prima utilizada, el método de compostaje, y el grado de madurez del producto final.

La velocidad con que el compost libera los nutrientes es una medida indirecta de la disponibilidad de ellos, ya que estos pueden ser liberados ya sea por volatilización y/o lixiviación. Sin embargo, la determinación de la cantidad de nutrientes retenidos en el compost permite estimar su efecto residual.

El compost cumple una función vital en las fincas durante el proceso de transición de la producción convencional a producción orgánica. El compost es importante, no tanto como fuente de nutrientes, sino para mejorar la capacidad del suelo para utilizar los nutrientes y el agua. La tasa de liberación de nutrientes de un compost es lenta y en el mejor de los casos (como el compost de lodos urbanos) llega a liberar un 50% de su contenido de nitrógeno, pero estos porcentajes disminuyen a 20 - 25% cuando las materias primas son residuos vegetales. Por tanto, si el compost se desea utilizar como abono en la producción orgánica es necesario realizar estudios sobre la tasa de liberación de nutrientes para determinar su aporte a corto y largo plazo.

El compost influye en forma efectiva en la germinación de las semillas y en el desarrollo de los plántones. Aumenta notablemente el porte de las plantas, árboles y arbustos en comparación con otros ejemplares de la misma edad. Durante el transplante el compost

contribuye a prevenir enfermedades y a evitar el shock por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad. El compost libre de nematodos se puede utilizar sin inconvenientes en estado puro.

El compost favorece la formación de micorrizas y por su acción antibiótica, aumenta la resistencia de las plantas a las plagas y agentes patógenos. Su pH neutro, lo hace sumamente confiable para ser usado con plantas delicadas. Aporta y contribuye al mantenimiento y desarrollo de la microflora y micro fauna del suelo. Favorece la absorción radicular. Facilita la absorción de los elementos nutritivos por parte de la planta. Transmite, directamente del terreno a la planta, hormonas, vitaminas, proteínas y otros nutrientes.

El compost aporta importantes elementos, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y boro, entre otros, liberándolos gradualmente y contribuye a mejorar la fertilidad del suelo porque aumenta la superficie activa del mismo. El compost absorbe los compuestos de reducción que puedan formarse en el terreno por compresión natural o artificial; mejora las características estructurales del terreno, desligando los arcillosos y agregando los arenosos. El compost neutraliza eventuales presencias de sustancias contaminantes, (herbicidas, esteroides, fosforitos); evita y combate la clorosis férrica, facilita y aumenta la eficacia del trabajo mecánico del terreno, mejora las características químicas del suelo y la calidad y las propiedades biológicas de los productos del agro, aumenta la resistencia a las heladas y la retención hídrica, disminuyendo el consumo de agua en los cultivos.

#### ***6.2.8.2 Ventajas y desventajas del compost***

##### *Ventajas*

- Reduce la cantidad de residuos sólidos hasta en un 30%;
- Aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y vertederos al reciclar los residuos en compost y reducir la cantidad de residuos enviados al vertedero;
- Contribuye a preservar los recursos naturales;
- Contribuye a disminuir las cargas contaminantes al aire y a las aguas;
- Contribuye a generar empleos;
- A través de la comercialización del compost se pueden recuperar parte de los costos de la recolección;
- El compost, utilizado como abono orgánico, es un mejorador de suelos.

Además de los efectos positivos y relativamente duraderos sobre la calidad de los suelos, el mal uso del compost también puede impactar negativamente sobre el medio ambiente:

##### *Desventajas*

- Altos costos de instalación y explotación;
- El compost no siempre es bien aceptado en el mercado;
- Incrementa el contenido de sales y la fitotoxicidad a niveles que pueden afectar el crecimiento de cultivos sensibles, especialmente cuando se emplean residuos con trazas de metales pesados o materiales no terminados;
- En el transcurso del proceso se pueden producir gases con olores desagradables si no se mantiene un buen monitoreo de las actividades productivas;
- Se requiere de espacio y organización.



## 6.2.9 Transformación o aprovechamiento por técnicas específicas.

### *Lombricultura*

El compostaje con lombrices, se basa en la ingestión de materia orgánica por parte de las lombrices que convierten los residuos orgánicos en humus ricos en nutrientes. El proceso se conoce también como vermicultura o vermicompostaje. Ocurre de forma natural en zonas donde existe vegetación en descomposición, como por ejemplo hojas caídas, estiércol o troncos en estado de descomposición.

Las lombrices se alimentan tanto de la materia orgánica en descomposición como de microorganismos (bacterias, hongos, protozoos) vinculados al proceso de descomposición que ocurre en el lugar.



*Figura 36. Lombricultura*

Durante el proceso, la materia orgánica pasa a través del tubo digestivo de las lombrices, hasta llegar a la excreción. El abono resultante está compuesto de estos nutrientes y de otros residuos orgánicos. Como productos secundarios resultantes de la transformación bioquímica de la materia original como la que ocurre en los bosques, se producen vapor de agua y dióxido de carbono. A diferencia del compostaje convencional, durante el proceso de transformación de la materia orgánica por la acción de las lombrices no se generan valores de temperatura elevados.

En este proceso las lombrices ingieren la materia orgánica contenida en los residuos transformándolos en un compost no contaminante que presenta características competitivas frente a los fertilizantes químicos tradicionales.

Las lombrices se pueden emplear para degradar y transformar restos de comida, periódicos y cartón en un abono orgánico excelente que se puede adicionar a macetas, prados, huertas o jardines. La lombricultura es un proceso de fácil ejecución y se puede realizar dentro de la casa (hasta en departamentos) o al aire libre.

### *6.2.9.1 ¿Por qué utilizar lombrices para producir abono orgánico?*

La producción de abono orgánico con lombrices tiene algunas ventajas sobre la producción de abono orgánico tradicional.

- Se necesita menos espacio. Se puede hacer en recipientes de 40 – 50 litros;

- Requiere menos trabajo;
- No es necesario construir grandes montones de residuos ni revolverlos;
- Es una forma más rápida de descomponer el papel. Es difícil convertir el papel en abono orgánico en un montón;
- Se obtiene tierra más rica en nutrientes;
- Facilita el suministro de una mayor cantidad de nutrientes a las plantas de una forma más rápida.

Para producir abono orgánico en recipientes mediante la utilización de gusanos, se recomiendan los de cabeza café o roja, no debe utilizarse gusanos grandes que viven en túneles muy hondos.

### **6.2.9.2 Humus de lombriz**

Se llama humus a la materia orgánica degradada a su último estado de descomposición por efecto de microorganismos. En consecuencia, se encuentra químicamente estabilizada como coloide, lo que regula la dinámica de la nutrición vegetal en el suelo. Esto puede ocurrir en forma natural a través de los años o en un lapso de horas, tiempo que demora la lombriz en "digerir" lo que come.



*Figura 37. Humus de lombriz*

El humus que se encuentra en los suelos procede generalmente de restos vegetales y de animales muertos. Al inicio de la descomposición de la materia orgánica, parte del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno se disipan rápidamente en forma de agua, dióxido de carbono, metano y amoníaco, pero los demás componentes se descomponen lentamente y permanecen en forma de humus.

La composición química del humus varía porque depende de la acción de organismos vivos del suelo, como bacterias, protozoos, hongos y ciertos tipos de escarabajos, pero casi siempre contiene cantidades variables de proteínas y ciertos ácidos urónicos combinados con ligninas y sus derivados. El humus es una materia homogénea, amorfa, de color oscuro e inodora. Los productos finales de la descomposición del humus son sales minerales, dióxido de carbono y amoníaco. Al descomponerse en humus, los residuos vegetales se convierten en formas estables que se almacenan en el suelo y pueden ser utilizados como alimento por las plantas. La cantidad de humus en los suelos influye también sobre los cambios en las propiedades físicas de los suelos como su estructura, color, textura y capacidad de retención de la humedad.

El desarrollo ideal de los cultivos, por ejemplo, depende en gran medida del contenido de humus del suelo. En las zonas de cultivo, el humus se agota por la sucesión de cosechas, y el equilibrio orgánico se restaura añadiendo humus al suelo en forma de compost o estiércol.

El humus se obtiene luego de un proceso, cercano a un año, en que la lombriz recicla a través de su tracto intestinal la materia orgánica, comida y defecada, por otras lombrices. Hay que resaltar que un alto porcentaje de los componentes químicos del humus es proporcionado, no por el proceso digestivo de las lombrices, sino por la actividad microbiana que se lleva a cabo durante el periodo de reposo que éste tiene dentro del lecho. Por ejemplo, el 50% del total de los ácidos húmicos que contiene el humus, es proporcionado durante el proceso digestivo y el 50% restante durante el período de reposo o maduración.

Para poder determinar que el producto que estamos cosechando es de buena calidad, tendremos en cuenta entre otras cosas parámetros como:

- pH neutro, oscilando entre 6.7 y 7.3;
- Contenidos de materia orgánica superiores a 28%;
- Nivel de nitrógeno superior a 2%;
- Relación C/N entre 9 y 13;
- Contenidos de cenizas no superiores a 27%.

Un alto contenido de cenizas indica que el manejo del proceso no ha sido el adecuado y que ha habido mucha contaminación con tierra.

El humus de lombriz además de ser un excelente fertilizante, es un mejorador de las características físico-químicas del suelo. El humus de lombriz de buena calidad debe ser de color café oscuro a negruzco, granulado e inodoro.

Las características más importantes del humus de lombriz son:

- Alto porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos. Su acción combinada permite una entrega inmediata de nutrientes asimilables y un efecto regulador de la nutrición, cuya actividad residual en el suelo llega hasta cinco años;
- Alta carga microbiana (40 mil millones por gramo seco) que restaura la actividad biológica del suelo;
- Opera en el suelo mejorando su estructura, haciéndolo más permeable al agua y al aire, aumentando la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas en forma sana y equilibrada;
- Es un fertilizante bioorgánico activo. Actúa en el terreno biodinámicamente y mejora las características organolépticas de las plantas, flores y frutos;
- Su pH es neutro y se puede aplicar en cualquier dosis sin ningún riesgo de quemar las plantas. La composición química del humus de lombriz es tan equilibrada y armoniosa que permite colocar las semillas directamente en él sin ningún riesgo;
- El humus es un producto con altas posibilidades de comercialización en el mundo entero, pero debe cumplir con parámetros de calidad óptimos como factor importante para obtener los mejores precios del mercado. El precio del humus puede fluctuar desde 100 USD a 250 USD por tonelada, dependiendo del mercado y de la relación oferta-demanda del producto.

### 6.3 Otras formas de utilización de los RSU

Otras de las vías para la obtención de materia orgánica a partir de la utilización de los RSU son:

#### 6.3.1 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia, constituye un proceso biológico en el cual se fermentan los residuos orgánicos produciéndose un gas conocido como biogás y un lodo digerido producto de la estabilización de la materia orgánica.

El proceso de transformación de la fracción orgánica contenida en los RSU por vía anaerobia puede ser llevada a cabo a bajas y altas concentraciones, es decir, entre un 4 – 8% y entre un 20 – 30% de sólidos respectivamente.

La conversión biológica de la fracción orgánica de los RSU bajo condiciones anaerobias se produce en tres pasos. El primero implica la transformación de los compuestos de masa molecular más alta a compuestos aptos para ser usados como fuente de energía y tejido celular. El segundo paso implica la conversión bacteriana de los resultantes del primer paso a intermedios de masa molecular más baja y por último la conversión a productos finales sencillos, principalmente metano y dióxido de carbono.



*Figura 38. Producción de biogás*

En la descomposición anaerobia de los residuos, algunos organismos trabajan juntos para llevar a cabo la conversión de la fracción orgánica de los mismos a un producto final estable. Un grupo de microorganismos se responsabiliza de hidrolizar los polímeros orgánicos y los lípidos en unidades estructurales como ácidos grasos, monosacáridos, aminoácidos y compuestos relacionados. Un segundo grupo de microorganismos fermenta los productos resultantes de la etapa de hidrólisis y los transforma en ácidos orgánicos simples, el más común es el ácido acético. Este segundo grupo de microorganismos está formado por bacterias anaerobias facultativas u obligadas conocidas como formadoras de ácidos. El tercer grupo convierte el hidrógeno y el ácido acético en gas metano y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de esta conversión son anaerobias estrictas llamadas metanogénicas y se conocen como formadoras de metano.

### 6.3.2 Cámaras isotérmicas

Este método se emplea para transformar los residuos de origen orgánico (animal o vegetal), fácilmente licuables y convertirlas en una especie de humus utilizable en el enriquecimiento de los suelos. Se obtiene de esta manera una sustancia inodora, de color oscuro, inocuo para la salud y similar a los abonos orgánicos.

La materia orgánica se coloca en cámaras especiales y se produce una fermentación anaeróbica. Estas cámaras pueden ser de distintos tipos, formas y capacidades. En otros casos se alternan fermentaciones anaerobias y aerobias utilizando distintas formas de inyección de aire u ozono. Al cabo de aproximadamente 30 días se obtiene el producto final. En la actualidad se continúan los trabajos de investigación sobre estos métodos a fin de reducir los costos de este proceso.

Mediante el sistema de cámaras isotérmicas, se consigue:

- Reducir a la tercera parte el volumen total de los residuos sólidos orgánicos;
- Reducir la humedad entre un 20 a un 60%, mediante el escurrimiento de un líquido similar al de las cloacas;
- Eliminación de las bacterias patógenas por calor mantenido (60 a 80° C) durante varios días;
- Modificación de los compuestos orgánicos transformándolos en sustancias húmicas.

## **7 Reciclaje y valorización de la materia inorgánica**

Hasta el momento se han hecho diferentes análisis y valoraciones sobre el destino o disposición final del componente orgánico de los RSU y de aquellos que pueden convertirse en energía. Pero ¿qué tratamiento se sigue con la fracción inorgánica de los RSU? ¿Qué recurso utilizar con aquellos volúmenes que por su naturaleza química no pueden ser incorporados al suelo u obtener energía de su descomposición?

Existen algunos RSU como el vidrio, los neumáticos, pilas, metales, escombros, plásticos y otros que en sentido general demoran mucho tiempo en degradarse y al entrar en contacto con algunos de los componentes del medio ambiente pueden alterarlos manteniendo los primeros, sin embargo, intactas sus propiedades contaminantes por muchos años. Es necesario informar a la comunidad sobre los efectos nocivos que pueden causar estos residuos sobre el medio ambiente y sobre el bienestar y la salud de la población a fin de motivarla a cooperar y participar con las autoridades y funcionarios de la municipalidad en el reciclaje y la correcta disposición de estos productos.

Este capítulo tratará sobre el reciclaje de algunas fracciones de los RSU.

### ***7.1 El reciclaje del vidrio***

El vidrio es un material no poroso, que resiste temperaturas de hasta 150° C (vidrio común), sin perder ninguna de sus propiedades físicas y químicas. Esta particularidad permite que los objetos de este material puedan ser reutilizados varias veces para un mismo propósito.

La posibilidad de poder lavar y esterilizar los envases de vidrio con un alto grado de seguridad, hace que su reutilización sea bastante difundida. El vidrio reutilizado se emplea para reenvasar diversos productos para las industrias alimenticias, farmacéuticas, cosméticas y otros. Ejemplo de ello son los envases para contener cervezas, refrescos y agua. Una vez consumido el producto, los envases son devueltos a las propias embotelladoras de bebidas para ser lavados y esterilizados, en instalaciones especialmente habilitadas al respecto, antes de ser utilizados de nuevo.

Las botellas de vidrio retornables que vuelven a las fábricas deben ser más resistentes, ya que se abren y sellan varias veces, y por lo tanto son más pesadas que los otros envases. Existe una tendencia, lenta pero bien definida, de ir sustituyendo progresivamente estas botellas por otras más livianas y desechables, destinadas a ser utilizadas una sola vez.

Es importante enfatizar que solamente los envases de vidrio retornables, fabricados específicamente para ser reutilizados, deben someterse a ese proceso. Todos los otros envases de vidrio deben ser obligatoriamente quebrados, para ser vendidos a las industrias del vidrio o para otros usos alternos, como los que se mencionan posteriormente.

La reutilización indiscriminada de botellas, frascos y otros recipientes de vidrio, que no hayan sido adecuadamente lavados y esterilizados, constituye un riesgo potencial para la salud de la población. Cabe recordar que la etapa más importante de la limpieza de envases de vidrio es la esterilización, que normalmente se hace a altas temperaturas (entre 100 y 150° C).

El vidrio es reciclable en un 100%, y durante el proceso de fusión no se produce pérdida de material. Con cada tonelada de fragmentos limpios, se obtiene otra tonelada de vidrio nuevo. Es más; se deja de utilizar 1.2 tonelada de materia prima virgen. En términos de petróleo

combustible y electricidad, y solamente en el proceso de fabricación, por cada 10% de vidrio molido en la mezcla, se economiza un 2.5% de la energía necesaria para la fusión en los altos hornos.

En el caso de los residuos domiciliarios, la situación es muy compleja, no siempre es posible conocer la procedencia y composición química de cada envase de vidrio encontrado. En este caso, la mejor alternativa es separar y clasificar el vidrio por producto, determinando luego su destino correcto.

Una de las principales ventajas económicas y ambientales del vidrio, es que puede ser reciclado infinitas veces para la producción de recipientes, que sirven para envasar los más nobles productos.

### **7.1.1 ¿Qué tipos de vidrios se encuentran en los residuos sólidos domiciliarios?**

El principal tipo de vidrio encontrado en los residuos sólidos domiciliarios es el de los envases. Estos son: botellas para bebidas alcohólicas, para agua, refrescos y jugos, vasos, jarras, potes y frascos para alimentos.

En los residuos sólidos domiciliarios se encuentra también residuos de componentes de vidrio de muchos otros productos domésticos, como por ejemplo, platos, ollas, ensaladeras, aceiteras, lámparas y partes de cristal de electrodomésticos, entre otros. La composición química de estos vidrios es, normalmente, muy diferente de la del vidrio común, usado en la fabricación de envases y de vidrio plano y, por consiguiente, es muy difícil, o casi imposible, separar y aprovechar el vidrio de estos artículos. En principio, todo este residuo podría ser reaprovechado. Sin embargo, en la práctica no resulta viable económicamente.

Por lo tanto, la mayor parte del vidrio contenido en los residuos sólidos domiciliarios que se puede reaprovechar, comprende: botellas, frascos, potes y otras vasijas para productos alimenticios, cosméticos, etc.

Envases retornables y reciclables:

- Botellas de vidrio ámbar para cervezas;
- Botellas de vidrio blanco para refrescos;
- Botellas de vidrio verde para refrescos.

Envases reciclables:

- Botellas desechables, de vidrio blanco, ámbar y verde, para cervezas y refrescos;
- Botellas para jugos y agua mineral;
- Frascos y potes para productos alimenticios;
- Botellas de vidrio verde y blanco para bebidas alcohólicas y vino;
- Frascos para cosméticos y medicinas.

Artículos de vidrio no reciclables<sup>1</sup>:

- Lámparas incandescentes;
- Lámparas fluorescentes;
- Tubos de televisión;

---

<sup>1</sup> El vidrio obtenido de estos artículos puede ser procesado para la fabricación de algunos de los productos mencionadas anteriormente.

- Vidrios de espejos;
- Vidrios domésticos (ollas de vidrio boro silicato y vidrios especiales).

### **7.1.2 Mercado del reciclaje y la reutilización del vidrio**

La mejor forma de realizar el reciclaje es la de quebrar los productos de vidrio (botellas, potes, frascos, etc.) y venderlos directamente, se debe realizar la entrega del mismo después de limpiarlo (remoción de aros, metales y material inorgánico) y luego de clasificarlo por colores antes de reprocesarlos.

## **7.2 Reciclaje de neumáticos.**

El neumático presenta una estructura compleja, y está formado por diversos materiales, como: hule, acero y tejido de poliamida o poliéster, que le confieren las características necesarias para desempeñar las funciones para los que fueron diseñados y garantizar la seguridad durante su uso. Los neumáticos usados pueden ser simplemente **desechados**, o destinados a la **reutilización** o para ser **reciclados**.

Se debe notar que la separación de los materiales que componen un neumático en sus componentes originales es difícil. Por tal motivo, el enfoque para reciclar estos materiales debe considerar la mejor manera de aprovecharlos en conjunto.

Entre los problemas que pueden causar los neumáticos al ser desechados pueden citarse contaminación de ríos y lagos, ocupación de grandes espacios en los vertederos, o amontonamientos en terrenos baldíos, con riesgo de favorecer la proliferación de insectos e incendios. Sin embargo, el principal problema que provocan los neumáticos al ser desechados es la pérdida de esta compleja y valiosa «materia prima». A continuación se presentan algunas alternativas para el reciclaje de neumáticos.

El reciclaje y la disposición correctos de los neumáticos es un problema global y depende del tipo y cantidad de vehículos con que cuenta cada país. Por lo que en los Estados Unidos, Japón y algunos países europeos, los problemas de disposición final de los neumáticos son aún más acentuados que en Cuba.

### **7.2.1 La reutilización de los neumáticos**

La situación ideal sería reutilizar los neumáticos mediante el recauchutado múltiple o recape, cuando la misma armazón es aprovechada por lo menos dos veces. La banda de rodamiento vieja y/o desgastada, se elimina raspándola, y sobre la armazón se coloca una banda nueva. Después de la vulcanización, el neumático recapado deberá prestar los mismos servicios por un período de tiempo similar que un neumático nuevo. La economía del proceso favorece el recauchutado de los neumáticos más costosos, como los de transporte (camiones, autobuses, aviones), ya que en el sector del transporte las posibilidades de monitoreo de los costos son mejores.



### **7.2.2 El reciclaje de los neumáticos en la ingeniería civil**

El uso de neumáticos de caucho en la ingeniería civil conlleva a la búsqueda de diversas soluciones creativas en diferentes aplicaciones, tales como señalamiento de los costados de carreteras, como elemento de contención en parques y terrenos de juego, rompeolas, obstáculos para el tránsito y de arrecifes artificiales para la cría de peces y mariscos.

Existen proyectos para la construcción de rellenos sanitarios considerando la estabilización del manto impermeable con una estructura de cauchos amarrados entre sí. Generalmente, lo que limita estas aplicaciones es la falta de información, ya que el material que está disponible, es barato y muy resistente a la acción del tiempo.

### **7.2.3 La regeneración de la goma**

El proceso de regeneración de la goma implica la separación de sus componentes, y su digestión con vapor y productos químicos, como álcalis y aceites minerales. Este producto es refinado en molinos hasta la obtención de un manto uniforme, o estruzado para obtener un material granulado. Ningún proceso conocido desvulcaniza totalmente la goma y el material resultante presenta características inferiores a las del compuesto original. Otro problema observado es que el material regenerado resulta de una mezcla de los elementos presentes en el neumático, con composición indefinida. A pesar de no ser utilizada para cubiertas radiales, la goma regenerada se usa en compuestos destinados a objetos con menor exigencia en cuanto a su desempeño, tales como alfombras, protectores, suelas de calzados, neumáticos industriales y para bicicletas.

La molienda del neumático en partículas finas permite el uso directo del residuo en aplicaciones semejantes a las de la goma regenerada.

La reciente conquista del mercado por parte de las cubiertas radiales, con el doble de duración comparadas con las cubiertas convencionales diagonales, propició una reducción del costo de las materias primas (goma natural y sintética), y redujo la rentabilidad de los productores de goma y de la industria petroquímica.

### **7.2.4 Uso de los neumáticos en la generación de energía**

El poder calórico de los fragmentos de neumáticos equivale al del petróleo combustible, y oscila alrededor de 40 MJ/kg. El poder calorífico de la madera es de aproximadamente 14 MJ/kg.

En los Estados Unidos, casi un 30% del total de los 275 millones de neumáticos desechados se incineran en hornos, especialmente diseñados para optimizar la eficiencia del proceso. La tecnología desarrollada permite la utilización de combustible sólido. La posibilidad de alimentar, por ejemplo un horno de cemento con residuos de neumáticos presenta la ventaja de poder utilizar el neumático en su totalidad, inclusive la tela de acero, lo que contribuye a añadir hierro al cemento.

En fábricas de celulosa y papel, los neumáticos también pueden usarse como combustible, pero el acero debe ser eliminado previamente. El empleo de la tecnología adecuada permite la utilización de los neumáticos como combustible, con niveles de emisiones de gases comparables a los de los hornos convencionales.

### **7.2.5 En el "asfalto modificado con goma"**

Esta aplicación ha recibido un gran apoyo por parte de algunos gobiernos con el objetivo de aumentar el reciclaje de 'cauchos' usados, incentivando su incorporación al asfalto empleado en la pavimentación de carreteras.

El proceso supone la incorporación de la goma en pedazos o en polvo. A pesar de su mayor costo, el agregado de neumáticos al pavimento puede hasta duplicar la vida útil de la vía. Eso se debe a que la goma le confiere al pavimento mayores propiedades de elasticidad ante las variaciones de temperatura. Su uso también reduce el ruido de los vehículos que transitan por la vía. Por todas estas ventajas, y también para disminuir el almacenamiento de neumáticos viejos, algunos gobiernos exigen que se incluya cierta proporción de goma molida en la composición de los materiales utilizados para pavimentar las carreteras

### **7.3 Lámparas fluorescentes**

Las lámparas fluorescentes contienen sustancias químicas nocivas al medio ambiente, tales como metales pesados, entre los cuales sobresale el mercurio metálico.

Mientras estén intactas, las lámparas fluorescentes no ofrecen riesgos. Sin embargo, al ser descartadas en los residuos sólidos, el vidrio se rompe y el mercurio es liberado, evaporándose. Cuando llueve, vuelve a la tierra y contamina el suelo y los cursos de agua. Ingerido o inhalado por el ser humano, el mercurio produce efectos desastrosos en el sistema nervioso, pudiendo causar desde lesiones leves hasta riesgos para la vida vegetativa y la muerte. Cada lámpara fluorescente contiene cerca de 15 mg de mercurio, lo cual puede representar un bajo riesgo de contaminación ambiental, si se analiza el contenido de mercurio en una sola unidad aislada; pero los riesgos aumentan si se disponen grandes cantidades de lámparas fluorescentes en un único sitio.

En la mayoría de los países no existe una legislación que prohíba verter las lámparas junto con los residuos sólidos. Sí existe una ley al respecto en Alemania, donde las lámparas deben ser molidas, empacadas y enterradas en las minas abandonadas.

En América Latina existe un proceso de reciclaje de lámparas fluorescentes patentado por una empresa brasilera. El proceso consiste en la destrucción de la lámpara en forma controlada: el vidrio es separado de la base y descontaminado, regresando a la producción de lámparas o siendo usado en la composición de esmalte en la vitrificación de cerámicas. La base es vendida como chatarra de aluminio y el mercurio es filtrado y puesto a la orden de fabricantes de cloro-soda, baterías y también lámparas. Debe destacarse que la venta de los materiales reciclables proveniente de las lámparas no cubre el costo del procesamiento de la lámpara.

Muchas empresas brasileras, previendo ya una futura ley sobre la disposición final de las lámparas fluorescentes, estudian formas que permitan dar una disposición adecuada a sus lámparas usadas, las que en la actualidad acaban siendo recogidas por los camiones colectores de los residuos sólidos.

### **7.3.1 Manejo y disposición final de lámparas fluorescentes usadas**

En caso de que se almacenen las lámparas fluorescentes para una utilización futura, es recomendable que sean almacenadas en un local ventilado, y protegidas contra su eventual ruptura por agentes mecánicos. Las lámparas quebradas se deben separar de las demás y acondicionarlas en recipientes herméticos, como un tambor de acero con tapa y en buenas condiciones. Existe un contenedor especialmente diseñado para almacenar y transportar este tipo de lámparas. Su construcción elimina casi por completo el riesgo de ruptura, además de poseer un filtro de carbón activado, en previsión de eventuales emanaciones de vapores de mercurio. Bajo ningún concepto las lámparas deben ser quebradas para almacenarlas, y solamente las que se rompan accidentalmente se deben acomodar en recipientes herméticos. Esta operación es riesgosa para el operador, además de que imposibilita la separación automática de las bases de metal.

El piso del local donde se manejan las lámparas quebradas, debe ser impermeable y monolítico, y debe limpiarse con aspirador de polvo industrial (con filtro de carbón activo), y no utilizar barrido mecánico. Semanalmente se debe cubrir con una fina capa de hipoclorito (agua sanitaria), y después añadir una solución de sulfato de sodio en cantidades moderadas, para que no escurra, debiendo secarse la primera capa antes de aplicar la segunda. El hipoclorito reaccionará con el mercurio formando cloruro de mercurio, el cual, a su vez, reaccionará con el sulfato para formar sulfato de mercurio, que es un polvo oscuro, fino, estable e insoluble. La finalidad de ese lavado es la de neutralizar las micro gotas que puedan dispersarse por la porosidad del piso, y que pueden generar importantes emanaciones de vapor de mercurio, debido a la mayor superficie específica de esas micro gotas.

### **7.4 Residuos tóxicos contenidos en envases**

Los residuos químicos contenidos en envases desechados de materiales de limpieza, insecticidas, herbicidas, cosméticos, tintas y medicamentos pueden ser liberados y, bajo la acción de la lluvia, migrar hacia las aguas superficiales y subterráneas y/o quedar retenidos en el suelo, causando contaminación de estos medios. Desafortunadamente, no existe, hasta el momento, una política en el país para la colección, tratamiento, reciclaje o reutilización de esos residuos y su disposición final.

### **7.5 Papel**

La civilización moderna ha demostrado una predilección por este producto inventado hace miles de años y al que se le ha dado el nombre de PAPEL.

El consumo de papel ha ido en aumento desde su invención, al grado que, en algunos lugares desplaza al consumo de madera en la carrera de la deforestación mundial, que avanza a razón de 25 hectáreas por minuto. Lo anterior afecta la vida de todos los organismos ecológicamente asociados a los árboles. Resulta por lo tanto urgente reducir la utilización de la madera para la producción de papel, y permitir que los programas de reforestación puedan compensar el ritmo de explotación de los bosques. Afortunadamente existen diversas maneras de contribuir a remediar esta situación mediante la introducción práctica del concepto de las tres R (Reducir – Reutilizar – Reciclar).

Son innumerables los objetos de consumo cotidiano envueltos en papel o cartón, por lo que estos materiales representan el 24.10% del peso y un tercio del volumen de cualquier bolsa de RSU. Aunque se reciclan en buena parte y fácilmente, la demanda creciente de papel y cartón obliga a fabricar más pasta de celulosa, lo que provoca la tala indiscriminada de millones de árboles. De todas formas no todo el papel puede ser reciclado: el plastificado, adhesivo, encerado o el de fax no son aptos para su posterior reciclaje.



*Figura 39. Colector de papel y cartón*

Un **papel ecológico** puede no ser reciclado, debido a que aunque su proceso de producción sea limpio, utiliza pasta virgen como materia prima.



**Papel ecológico** es aquel en el que se ha tenido en cuenta el impacto ambiental de su ciclo de vida.

Contempla el uso y consumo de los recursos naturales y de la energía, de las emisiones al aire, agua y suelo, la eliminación de los residuos y la producción de ruidos y olores durante la extracción de las materias primas, la producción del material, la distribución, el uso y su destino final como residuo sólido urbano.

Un **papel reciclado** puede no ser ecológico si a pesar de utilizar fibras recuperadas mantiene un proceso productivo contaminante. No debemos olvidar que en ocasiones los tratamientos de las tintas compuestas por barnices, aceites, disolventes, pigmentos, anilinas y otros compuestos vertidos en grandes cantidades pueden generar impactos negativos en el medio ambiente. Del mismo modo, el papel reciclado obtenido a partir de papel usado elaborado con cloro, supone mantener este componente contaminante en su fabricación.

**Papel reciclado:** cuando en su fabricación se han empleado como materias primas fibras recuperadas de papel y/o cartón de post-consumo, por ejemplo: recortes que no han sido



usados, generados en el proceso de fabricación de productos de celulosa. No todo el papel reciclado lo es en un 100%.

Existen papeles internacionalmente conocidos como papeles ECF ó TCF que son las siglas en inglés de "**libre de cloro elemental**" y "**totalmente libre de cloro**". En los papeles libres de cloro elemental (**ECF, Elementary Chlorine Free**) para el blanqueado de la pasta, no se utiliza cloro gas, pero sí dióxido de cloro.



En el blanqueo de los papeles denominados "totalmente libre de cloro" (**TCF, Totally Chlorine Free**) se utilizan alternativas como el oxígeno o el ozono, eliminándose por completo el uso del cloro.

El cloro gas es un potente contaminador de las aguas que al reaccionar con algunas moléculas generan sustancias como los órgano-clorados, que afectan el sistema inmunitario de los mamíferos.

### 7.5.1 Reciclado de periódicos

Los periódicos se trituran y se comprimen para fabricar productos de papel reciclado. La recogida selectiva de papel reduce el costo del reciclado. El papel y el cartón son materiales reciclables, esto es, se emplean como sustitutos de materia prima virgen para hacer nuevos productos de papel o cartón.

En el hogar, oficinas y puestos de trabajo en general el proceso de reciclaje se inicia con el acopio de papel hasta donde el espacio y la estética lo permitan, de manera que sea más

provechosa su venta en centros de acopio. El almacenaje de papel debe realizarse separándolo por categorías, por ejemplo:

- Papel bond blanco;
- Papel "color" de revista y bond de color;
- Periódico;
- Cartón;
- Caple (cajas de cereal, de medicamentos, etc.)



*Figura 40. Reciclado de periódicos*

Los paquetes deben ser atados de preferencia con yute o rafia y no con cintas adhesivas de ningún tipo. Es necesario asegurarse de no incluir papeles encerados, ahulados, carbón, autocopiantes o de fax.

Las unidades de acopio de la Unión de Empresas recuperadoras de Materias Primas concentran los materiales en grandes bodegas donde se compactan y se envían a las empresas papeleras, que los convierten en nuevos artículos de papel. Esto reduce el costo de operación y con ello el costo del papel reciclado, facilitando así la disposición del mismo. Además, disminuye considerablemente el volumen que ocupa el papel de desperdicio en la basura, con sus respectivos ahorros económicos. Tras el proceso de reciclaje el residuo que queda es prácticamente orgánico.

## **7.6 Plásticos**

### **7.6.1 ¿Qué son los plásticos?**

Los **plásticos** son productos elaborados con resinas (polímeros) sintéticas que proceden de la transformación de los recursos naturales, principalmente del petróleo. Del total del petróleo usado, un 7% se destina para la industria petroquímica: de esta cantidad el 4% se utiliza para la producción de plásticos y el 3% para otros usos

Dentro del gran desafío actual que enfrentan las intendencias con respecto a la disposición final de los residuos sólidos, se encuentran los plásticos, que por su naturaleza química se

caracterizan por presentar una gran resistencia a la biodegradación. Envases de plásticos abandonados en el campo o la playa son las huellas habituales que los ciudadanos descuidados van dejando en el entorno.

El reaprovechar el plástico desechado en los residuos sólidos urbanos, por cualquier de las alternativas posibles, es una consideración que ha ganado gran apoyo por parte de las diferentes entidades nacionales relacionadas con el uso, comercialización y disposición de productos plásticos. Este desecho que consiste en gran parte en envases desechables -bolsas, vasos, botellas, juguetes, etc.- representa un volumen significativo. La separación de los plásticos del resto de los residuos produce una serie de beneficios a la sociedad, como por ejemplo, el aumento de la vida útil de los rellenos, la mejora de la estética de la ciudad, la generación de empleos, así como el ahorro de energía, etc.

El 13.75% del contenido de una bolsa de RSU se compone de plásticos, éstos son en su mayoría envases de un solo uso y todo tipo de envoltorios y embalajes (botellas de PVC o PET, bolsas de polietileno, bandejas, etc.) Si se entierran ocupan mucho espacio y requieren decenas y hasta centenares de años para degradarse. Si se opta por incinerar los productos plásticos se generarán emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Aunque representen alrededor de un 11% del peso total de los RSU, los plásticos ocupan un porcentaje mucho mayor en el volumen de los mismos, lo cual contribuye a aumentar los costos de la recolección, el transporte y la disposición final. Basta decir que un camión, con capacidad de transportar 12 toneladas de residuos sólidos comunes, transportaría apenas 6 - 7 toneladas de plástico compactado, o dos toneladas de plástico sin compactar.

Cuando los residuos sólidos se depositan en vertederos, los problemas principales relacionados con el plástico provienen de la quema indebida y sin control. Cuando la disposición se hace en rellenos, los plásticos dificultan la compactación de los residuos, y perjudican la descomposición de los materiales biológicamente degradables, ya que forman capas impenetrables que afectan el movimiento de gases y líquidos generados en el proceso de biodegradación de la materia orgánica.

La quema indiscriminada de algunos materiales plásticos puede traer serios daños a las personas y al medio ambiente, debido a que ciertos plásticos al ser quemados generan gases tóxicos. Un caso extremo es el del cloruro de polivinilo (PVC), el cual al ser quemado libera cloro y puede originar la formación de ácido clorhídrico (muy corrosivo) y de dioxinas (sustancias altamente tóxicas y cancerígenas). La reducción de la disposición final de los productos plásticos y la separación de estos de los residuos sólidos a enviar a los vertederos sanitarios son metas que deben ser alcanzadas en el plazo más corto posible.

## **7.6.2 ¿Cuáles son los tipos de plásticos?**

Los plásticos se dividen en dos categorías: termoplásticos y termofijos. Los **termofijos** o termoestables, son plásticos que una vez moldeados por uno de los procesos usuales de transformación, no pueden ya modificar su forma, lo cual impide un nuevo procesamiento. El ejemplo más clásico es la baquelita (resinas fenólicas) en los enchufes de las asas de recipientes. También se pueden citar: las resinas epoxídicas utilizadas en adhesivos y componentes del automóvil; y los poliuretanos (PU), empleados en colchones, rellenos de tapicería, recubrimientos y acabados. Estos materiales, aún cuando no puedan ser moldeados más de una vez, se pueden todavía utilizar para otras aplicaciones, como cargas inertes luego

de ser molidos, o pueden incorporarse en composición con otros elementos como acondicionadores de asfalto, etc.

Los **termoplásticos**, más ampliamente utilizados, son materiales que pueden ser procesados varias veces con el mismo o con un diferente proceso de transformación. Cuando se someten a temperatura y presión adecuada se funden y pueden moldearse otra vez. Como ejemplo, pueden citarse: el polietileno de baja densidad (PEBD); el polietileno de alta densidad (PEAD); el cloruro de polivinilo (PVC); el poli estireno (PS); el poli estireno expandido (EPS); el polipropileno (PP); el polietilenotereftalato (PET); las poliamidas (PA); y muchos otros.

### 7.6.3 ¿Dónde se generan los desechos plásticos?

**A nivel industrial:** Cualquiera que sea la tecnología utilizada en la formación de los plásticos, siempre existe una cierta cantidad de material residual, generado en los procesos. Ese material se puede casi siempre recuperar y reciclar mediante tecnologías tradicionales, que es lo que normalmente se hace.

**A nivel urbano:** Los residuos sólidos plásticos, en la verdadera acepción de la palabra, se generan principalmente en las residencias y en los establecimientos comerciales y están constituidos, en su mayor parte, por envases desechables (bolsas, recipientes, hojas, frascos, botellas, protectores, etc.)

### 7.6.4 ¿Qué hacer con los residuos plásticos?

Para cualquier residuo la primera alternativa que se debe considerar es la de **minimizar su emisión en origen**, la primera de las 3R: Reducir. En el caso de los plásticos además de las alternativas que tiene la industria del plástico de minimizar su desperdicio mejorando las tecnologías y los procesos, también puede plantearse la reducción de la cantidad de material plástico necesario para conformar un artículo específico, con la ventaja de reducir el consumo de recursos no renovables. Otra alternativa es la de dar nuevo uso a los plásticos. En ese sentido existen para ellos tres caminos posibles:

#### 7.6.4.1 *Reciclado mecánico*

El **reciclado mecánico**, la alternativa más conocida, consiste en triturar los objetos desechados de plástico, limpios, para elaborar gránulos de plástico reciclado, que luego son usados en la fabricación de nuevos objetos.

#### 7.6.4.2 *Recuperación de los componentes iniciales*

Para la **recuperación de los componentes iniciales**, Se somete el material residual polimérico a procesos fisicoquímicos para descomponerlo en componentes más sencillos. Mediante esos procesos los materiales plásticos son transformados en materias primas, que pueden nuevamente originar resinas vírgenes u otras sustancias de interés para la industria, tales como gases y aceites combustibles. Los procesos pueden ser: descomposición térmica en ausencia de oxígeno (pirólisis); tratamiento con hidrógeno a altas temperaturas;



gasificación; tratamiento con disolventes. Esta alternativa es también vista como un reciclaje terciario con respecto al primario o reciclaje

#### **7.6.4.3 Reciclado químico**

La **valorización energética**. El plástico es un excelente combustible, posee un poder calórico similar al del gas natural o al del fuel-oil, o dicho de otro modo, el valor energético de los plásticos es equivalente al de un aceite combustible. Por esta razón, se pueden volver una valiosa fuente de energía. La incineración se realiza en muchos países para transformar residuos plásticos en energía. En este proceso, los plásticos son quemados, pura y simplemente con el propósito de generar energía térmica. Este proceso es especialmente adecuado para plásticos degradados o sucios, pero requiere de particulares cuidados técnicos para evitar la emisión de contaminantes atmosféricos, por lo mismo que se explicó de la inconveniencia de la quema indiscriminada de plásticos en los residuos sólidos.

### **7.7 Metales**

Los metales, en cuanto a su composición, se clasifican en dos grandes grupos: los ferrosos, compuestos básicamente de hierro, y los no ferrosos. Esta división se justifica por el predominio en el uso de los materiales a base de hierro, principalmente el acero. El acero es hierro combinado con carbono, existiendo aceros especiales que contienen otros metales en pequeña proporción.

Los metales son materiales de larga durabilidad, resistencia mecánica y facilidad de moldeo, siendo muy usados en equipos, estructuras y envases en general.

Entre los materiales no ferrosos se destacan: el aluminio, el cobre y sus aleaciones (como el latón - cobre/zinc, y el bronce - cobre/estaño), el plomo, el níquel y el zinc. Los dos últimos, junto con el cromo y el estaño, se emplean más en combinación, en forma de aleación con otros metales o como revestimiento de algunos metales como, por ejemplo, el acero.

#### **7.7.1 El reciclaje de los metales.**

La gran ventaja del reciclaje de los metales es la de evitar los gastos de la fase de reducción del mineral a metal. Esa fase implica un gran gasto de energía, exige el transporte de grandes volúmenes de mineral e instalaciones costosas, destinadas a la producción en gran escala.

Aunque sea mayor el interés por reciclar materiales no ferrosos, debido al mayor valor de su chatarra, es muy grande la demanda de chatarra de hierro y de acero, inclusive por parte de las grandes plantas siderúrgicas y fundiciones.

La chatarra puede, sin mayores problemas, ser reciclada inclusive cuando está oxidada. Su reciclaje se simplifica por la facilidad de identificarla y separarla, principalmente en el caso de la chatarra ferrosa, para la cual se emplean imanes, debido a sus propiedades magnéticas. Mediante este procedimiento se puede retirar hasta un 90 % del material ferroso presente en los residuos sólidos.

### 7.7.2 Reciclado de aluminio.

Las latas de aluminio se prensan en grandes bloques. Muchas empresas e individuos reciclan los residuos de aluminio para conservar recursos naturales no renovables.

La producción de latas es muy contaminante y solo una pequeña parte se recicla, casi siempre cuestan más que la bebida que contienen. La producción del aluminio es muy costosa y se elabora fundamentalmente a partir de la bauxita, un recurso no renovable que se extrae principalmente de la selva amazónica.

Es importante notar que los gastos en energía son los predominantes en la producción de metales. En el caso del aluminio, la energía necesaria para procesar el metal reciclado es 20 veces menor que para procesar el metal primario; para el acero esta relación es de 3.7, es decir aún muy ventajosa. Estos hechos explican el interés en reciclar por parte de los fabricantes de metal, que son los grandes aliados, e inclusive líderes en las campañas de reciclaje de metales.



*Figura 41. Latas de aluminio para reciclar*

En el caso de las latas de aluminio para bebidas, si el proceso de reciclaje es el correcto, con el aluminio que contiene una lata vacía se puede fabricar una nueva. Es más, ese tipo de aluminio no es apto para ser integrado en grandes proporciones a aleaciones para extrusión. El éxito con el reciclaje de las latas de aluminio se debe, principalmente, al valor agregado de las mismas. En efecto, la energía usada en el reciclaje de este metal corresponde al 5% de la que se necesita para la producción de aluminio a partir de la materia prima mineral (bauxita)

## 7.8 Escombros

Se han denominado como ‘escombros’ al conjunto de fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, argamasa, acero, hierro, madera, etc., provenientes de los desechos de construcción, remodelación y/o demolición de estructuras, como edificios, residencias, puentes, etc. Podemos identificar, en los escombros que se producen durante una construcción, la existencia de dos tipos de residuos:

- Los residuos (fragmentos) de elementos prefabricados, como materiales de cerámica, bloques de cemento, demoliciones localizadas, etc.
- Los residuos (restos) de materiales elaborados en la obra, como hormigón y argamasas, que contienen cemento, cal, arena y piedra.

Los escombros de construcción se componen de restos y fragmentos de materiales, mientras los de demolición están formados prácticamente sólo por fragmentos, teniendo por eso mayor potencial cualitativo comparativamente con los escombros de construcción.

Cuando son descartados de las construcciones, como material prácticamente inerte, los escombros, causan problemas por la carga y por su volumen. Al ocupar el lugar de los residuos sólidos domiciliarios, los escombros sobrecargan las operaciones de transporte hacia el relleno sanitario.

De los diferentes destinos de los escombros, dos, desafortunadamente bien conocidos pueden crear problemas de inseguridad y daños ambientales y a la población:

- La descarga en pendientes u otros terrenos inseguros, donde se generan depósitos inestables, que pueden provocar deslizamientos;
- La descarga en tierras bajas, junto a drenajes, o inclusive directamente en el lecho de ríos, donde se puede provocar obstrucción del cauce e inundaciones.

## **7.8.1 Ventajas y desventajas del reciclaje de escombros**

### **7.8.1.1 Ventajas**

- El reciclaje de los escombros urbanos puede representar ventajas socioeconómicas, si va acompañado por una serie de medidas, como la reducción o eliminación de los vertidos ilegales, pues la limpieza de estas áreas resulta costosa;
- Se estima que las actividades finales (selección y trituración) de reciclaje de escombros, por ejemplo en Brasil, giran en torno a los 2.50 USD/m<sup>3</sup>, mientras que el costo de una arena común es de 6.50 USD/m<sup>3</sup> (solamente la extracción, sin considerar los gastos del transporte para las obras);
- Un relleno de inertes para los escombros alivia los vertederos tradicionales y permite gestionar adecuadamente el reaprovechamiento de los escombros, como material reciclado o no;
- Existen ventajas importantes de carácter ecológico, puesto que los escombros reciclados sustituyen a los agregados tradicionales provenientes de reservas naturales que, muchas veces, son devastadas en la actividad de extracción.

### **7.8.1.2 Desventajas**

- Como resultado del reciclaje de los escombros urbanos se obtiene un producto de calidad potencialmente inferior al agregado tradicional, y principalmente, puede tener características muy variables de un lote a otro, debido a la heterogeneidad de los residuos, justificando la utilización de los agregados reciclados en hormigón y argamasas no estructurales.

### **7.8.2 ¿Cuáles son los procesos y productos?**

Los materiales encontrados predominantemente en los escombros, que son reciclables para la producción de agregados, pertenecen a dos grupos:

Grupo I: Materiales compuestos de cemento, cal, arena y piedra: hormigón, argamasas, bloques de concreto.

Grupo II: Materiales cerámicos: tejas, tubos, ladrillos, baldosas.

Un tercer grupo de escombros no reciclables para agregado de construcción, está compuesto por materiales como: tierra, yeso, metal, madera, papel, plástico, materia orgánica, vidrio. De esos materiales, algunos pueden ser seleccionados y encauzados para otros usos. Así, los embalajes de papel y cartón, madera (combustible), y el mismo vidrio y el metal pueden ser recogidos para rehúso o reciclaje.

La composición de los escombros depende de varios factores como, por ejemplo, las características regionales (geológicas y morfológicas); hábitos y costumbres de la población; nivel económico, etc.

## **7.9 Otros**

Una vez retirados los materiales antes mencionados como residuos, el volumen se reduce drásticamente y con ello la mayoría de los problemas ambientales relacionados con la disposición de los residuos sólidos urbanos.

Entre los "otros" se encuentran muebles rotos, pañales desechables, zapatos, empaques, aparatos diversos, etc. Sin embargo, nuestra atención con respecto a los "otros" debe dirigirse a los desechos dañinos para el ambiente que no deberían mezclarse con la basura "enterrable". Entre ellos se encuentran las baterías con cadmio o litio, los envases de sustancias tóxicas, los desechos infecciosos, etc. Estos temas serán tratados en otro manual dedicado al manejo de los residuos tóxicos.

Con esta corta serie de recomendaciones se pretende motivar el interés por el cuidado ambiental desde la casa y el puesto de trabajo. Reciclar ahorra recursos naturales, reduce la emisión de contaminantes y genera empleos.

## 8 Aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos

Una de las más importantes direcciones para el reciclaje de los residuos agrícolas, procesos industriales y RSU es el aprovechamiento de éstos como combustible para producir energía. Comúnmente los más utilizados con este fin son:

- La madera, (leñas, serrines, virutas y cortezas);
- Los productos agrícolas, (cáscaras de frutos secos);
- El carbón vegetal.

Algunas plantas productoras de energía a partir de la biomasa producen su propia electricidad y agua caliente. Los desechos producidos en la fabricación del aceite pueden ser quemados para producir electricidad o para extraer biogás, un combustible similar al gas natural y con sus mismas aplicaciones.

Los sistemas de recuperación de la energía contenida en los desechos se dividen en dos grandes grupos:

1. **Sistemas de conversión bioquímica:** Digestión anaerobia y fermentación alcohólica.
2. **Sistemas de conversión térmica:** Pirólisis, combustión, gasificación y licuefacción.

### 8.1 *Sistemas de conversión bioquímica*

- Digestión anaeróbica;
- Fermentación.

#### 8.1.1 **Digestión anaerobia:**

En los últimos años se ha expandido la aplicación del proceso de digestión anaerobia para el procesamiento de la fracción orgánica de los RSU, por la posibilidad de recuperar metano y por el hecho de que el material digerido es similar al compost producido aeróbicamente.

En general, el funcionamiento de los procesos anaerobios es más complejo que el de los procesos aerobios. Sin embargo, los primeros ofrecen el beneficio de la recuperación de energía en forma de gas metano y por lo tanto son productores netos de energía. Los procesos aerobios, por el contrario, son consumidores netos de energía por lo que hay que suministrar oxígeno para la conversión del residuo, pero ofrece la ventaja de un funcionamiento relativamente sencillo.

La digestión anaerobia es un proceso de fermentación natural, conocido por el hombre desde tiempos remotos. Ocurre de forma espontánea en ausencia de oxígeno (sin aire) en medios ricos en material orgánico por ejemplo en zonas pantanosas, áreas encharcadas o vertederos, en el interior del rumen o panza (primera cámara del estómago de los rumiantes) de mamíferos herbívoros, en el intestino de insectos xilófagos o bien en el interior de un biodigestor, aparato que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaerobias (metanogénicas), que descomponen y tratan los residuos dejando como resultado final, un gas combustible conocido como biogás o gas metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) El porcentaje de estos gases en la mezcla es variable y depende de las condiciones físico-químicas en las que se desarrolla la digestión de la materia prima.

El metano se puede utilizar en la producción de energía eléctrica y de energía térmica. Otros subproductos del proceso son el efluente líquido alcalino rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada con un alto valor como fertilizante y los lodos, que después de un proceso de estabilización en un lecho de secado o como aditivo en el proceso de compostaje, presentan una alta calidad para su utilización en el desarrollo de una agricultura sostenible.

### 8.1.1.1 ¿Cómo ocurre?

Existe una etapa previa al proceso de digestión anaerobia en la que un grupo de bacterias se encarga de eliminar el Oxígeno presente en la materia prima. Estas bacterias son aerobias y cuando consumen todo el Oxígeno, es que comienza la digestión en sí.

En la digestión anaerobia intervienen diferentes grupos de microorganismos anaerobios estrictos (las bacterias metanogénicas) del grupo de las arqueobacterias.

MICROORGANISMO	CLASIFICACION
Lactobacillus Klebsiella Actinomyces Vibrio Corynebacterium Bacillus Micrococcus Pseudomonas Sarcinas Aereobacter	Anaerobios facultativos
Bacteroides Clostridium Fusarium Veillonella Peptococcus Desulfovibrio	Anaerobios estrictos
Methanosarcinas	Anaerobios extremos

*Tabla 5. Microorganismos anaerobios*

El proceso de digestión anaerobia ocurre en las siguientes fases bien diferenciadas.

#### **Fase hidrolítica (Hidrólisis)**

En esta fase las bacterias emiten enzimas extracelulares que promueven la hidrólisis de las moléculas complejas y las reducen a moléculas simples, capaces de atravesar la membrana celular.

### **Fase acidogénica**

En esta fase las sustancias orgánicas son oxidadas a ácidos, generalmente conocidos como ácidos volátiles, tales como: ácido fórmico, ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico.

### **Fase acetogénica**

Los productos de la fase acidogénica son convertidos en acetatos, hidrogeno y dióxido de carbono.

### **Fase metanogénica**

Esta es la fase final del proceso y en ella las bacterias propiamente metanogénicas, convierten los acetatos de la fase anterior en metano ( $\text{CH}_4$ ) y gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ). Este gas, formado generalmente por 30 - 40 % de  $\text{CO}_2$  y 60 - 70 % de  $\text{CH}_4$  se conoce como biogás.

#### ***8.1.1.2 Factores que influyen para alcanzar una eficiente digestión anaerobia***

- **Temperatura:** Promueve la actividad bacteriana. La temperatura ideal en el digestor debe estar entre  $25^\circ - 40^\circ \text{C}$  (mesofílica);
- **pH:** La influencia del pH sobre la velocidad de crecimiento y muerte de los microorganismos es muy importante, Las bacterias metanogénicas sobre todo, son muy sensibles a las variaciones del pH, las que pueden ser provocadas por elevaciones del flujo, aumento de la carga orgánica, variaciones sin control de la composición del residual y defecto o exceso de agentes neutralizantes;
- **Tiempo de retención.** El diseño y operación de los reactores anaeróbicos continuos debe realizarse para mantener en su interior una alta concentración de células y una alta actividad específica de degradación. Lo anterior se logra manteniendo el tiempo de retención hidráulica establecido en el diseño, que implica un flujo de residual estable. La alteración de este flujo debe evitarse, para reducir o eliminar consecuencias como, lavado de lodo o acidificación. El tiempo de retención en el reactor debe ser de alrededor de 20 días.

Otros factores que influyen en el éxito de la digestión anaerobia son:

- Digeribilidad de los residuales;
- Composición química de los residuales;
- Nivel de competencia entre bacterias metanogénicas y las bacterias reductoras del azufre;
- Presencia de sustancias tóxicas;
- Presencia de oxígeno y amoníaco.

La digestión anaerobia es un excelente proceso en la degradación de residuos tales como vinazas, residuos agrícolas vegetales y, en general, residuos agrícolas de la industria procesadora de alimentos. Con el uso de esta tecnología se han encontrado eficiencias de remoción de hasta un 95% de la carga orgánica. Adicionalmente se obtiene biogás con una composición aproximada de:  $\text{CH}_4$ : 45 - 60%;  $\text{CO}_2$ , 28 - 34%;  $\text{H}_2\text{S}$ , 14 - 18%, el cual es purificado en un proceso posterior hasta obtener gas metano de aproximadamente 98% de pureza.

Todo este proceso tiene lugar en un reactor bioquímico conocido comúnmente como BIODIGESTOR o simplemente DIGESTOR.

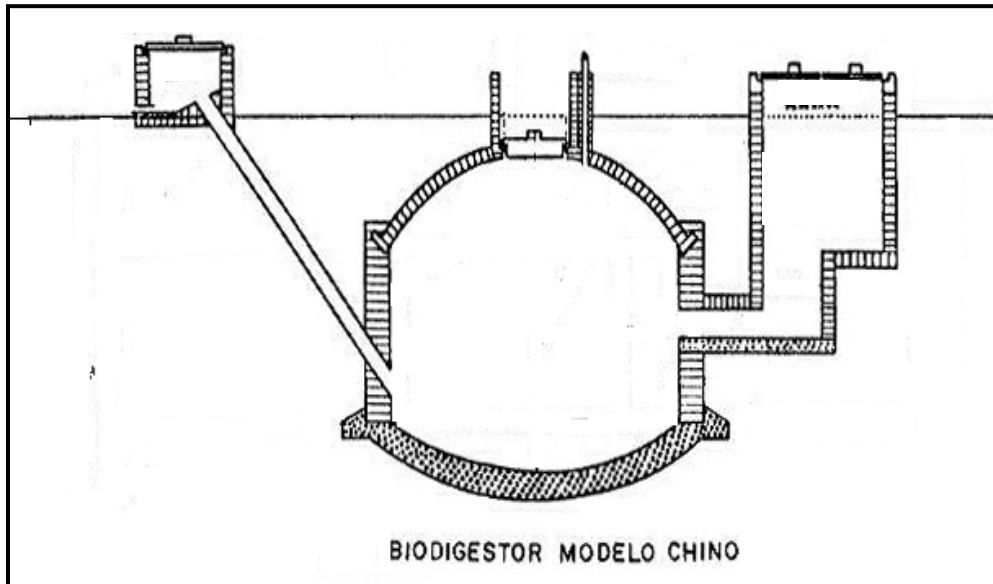
### 8.1.1.3 Tipos de digestores:

Tradicionalmente las plantas de biogás sencillas, pueden ser clasificadas por su diseño en dos tipos esenciales:

- A) Plantas de cúpula fija, en las que el gas se almacena en la parte superior por el principio de desplazamiento.

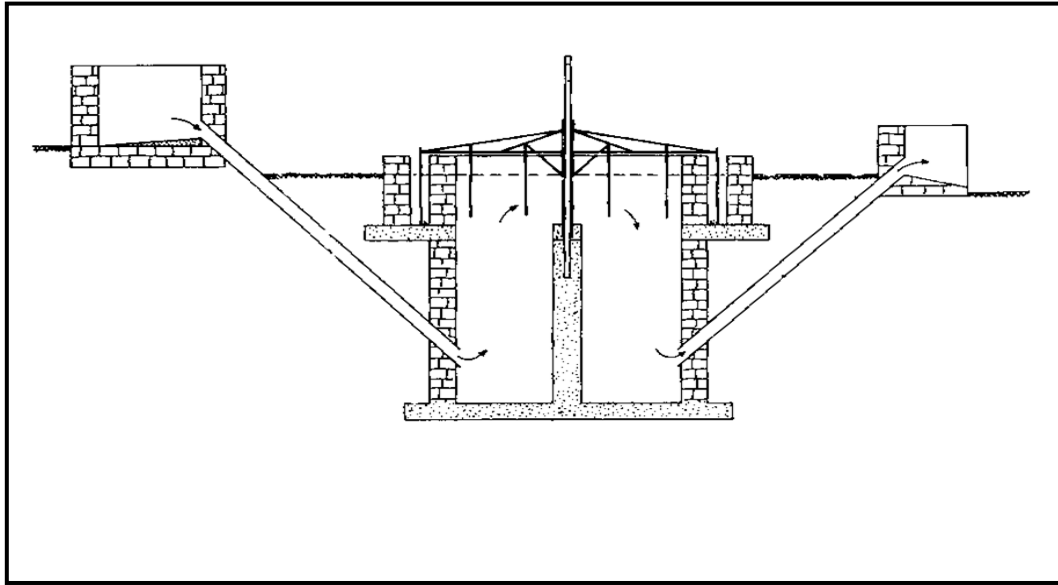
Las ventajas de las plantas de cúpula fija son las siguientes:

- Su construcción se realiza con paredes de bloque de hormigón y cúpula de ladrillos, empleando otros materiales de construcción conocidos, como cemento, arena, piedra y acero, asegurando con ello una alta resistencia y durabilidad de la obra;
  - No presenta partes móviles propensas al desgaste, así como tampoco partes metálicas propensas a la corrosión;
  - Su tiempo de vida útil se extiende a 20 años;
- B) Plantas de campana flotante o móvil, en la cual el gasómetro metálico flota sobre el material orgánico en fermentación. No es muy utilizado por lo caro de sus componentes metálicos.



*Figura 42. Digestor de cúpula fija*

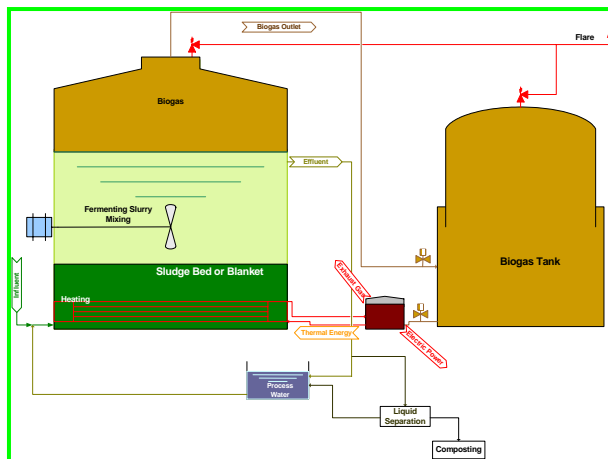




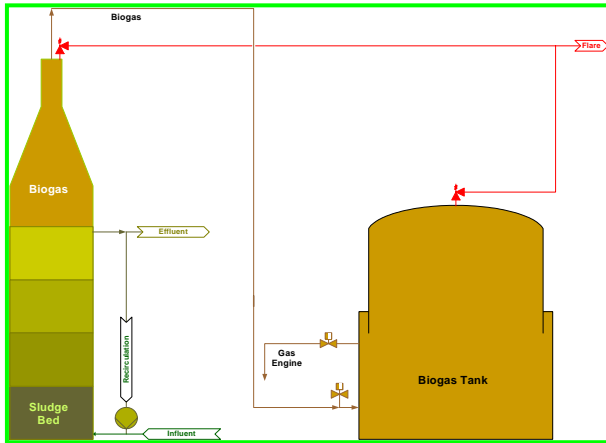
*Figura 43. Digestor de cúpula flotante*

Para aplicaciones industriales y de altos volúmenes se han desarrollado algunos tipos de digestores como los de:

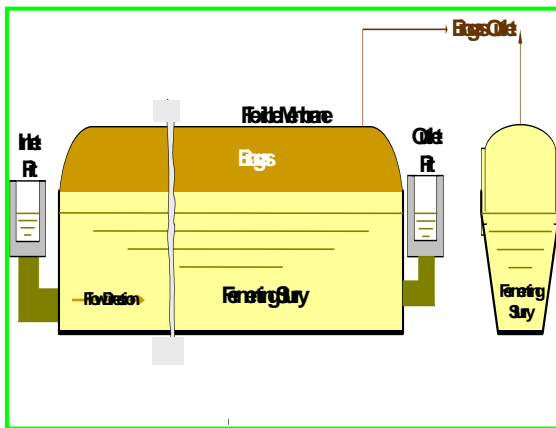
- Flujo ascendente (UASB): Residuales líquidos y sólidos;
- Expanded granular sludge bed (EGSB): (Residuales líquidos);
- Flujo o pistón



*Figura 44. Digestor tipo UASB*



*Figura 45. Digestor tipo EGSB*



*Figura 46. Digestor de flujo pistón*

Según la forma en que se realiza el proceso de "carga", se distinguen dos tipos de digestores:

- Plantas continuas: Empleadas generalmente para la obtención de volúmenes considerables de gas. La gran ventaja es que las bacterias metanogénicas reciben un suministro regular del material orgánico, con lo cual producen el biogás de forma más estable.
- Plantas tipo "batch": El residual entra de manera intermitente por eso se utilizan para pequeñas producciones de biogás

#### *8.1.1.4 Materiales utilizados en Cuba para la producción de biogás - Algunas experiencias*

En Cuba existe experiencia en la producción de biogás fundamentalmente a partir de:

- Residuos pecuarios: utilizando como fuente de materia orgánica las excretas porcinas y vacunas;

- Residuos de procesos industriales: utilizando como fuente de materia orgánica la cachaza, vinazas, aguas residuales de la producción de azúcar y tórula, efluentes de la pasteurización de la pulpa de café.

### Experiencias locales de utilización del biogás



*Figura 47. Planta combinada de compost y biogás*



*Figura 48. Fase constructiva de la planta UASB para el tratamiento de residuales líquidos*



*Figura 49 y Figura 50. Fase constructiva de la planta UASB para el tratamiento de residuales líquidos - Provincia de Ciego de Ávila*

#### **8.1.1.5 Utilización del biogás**

El proceso de producción de biogás es un proceso “sin residuos”, pues todos los productos y subproductos resultantes se aprovechan comercialmente. A continuación se relacionan los principales productos de la digestión anaerobia y sus aplicaciones:

A) Como combustible:

El biogás puede ser utilizado como fuente energética en cualquier aparato que esté diseñado para trabajar con gas, tales como cocinas, lámparas, calentadores, motores, etc.

Lámparas





Cocinas



B) Como agente químico:

- Conservante de granos: el biogás se emplea, para saturar las cámaras donde se almacena los granos o cereales, de manera que la atmósfera se haga irrespirable para las plagas que generalmente los atacan.
- Fertilización de algas: se hace burbujear este gas en estanques poco profundos, donde se ha ‘sembrado’ previamente un alga conocida como "Lentejuela", que es muy rica en proteínas y se emplea en la alimentación de pollos de ceba o engorde.

C) Reducción de las emisiones (metano):



*Figura 51. Emisión de gases a la atmósfera*

Mediante la tecnología anaerobia es captado el gas metano originado de los residuos sólidos. Un kilogramo de metano tiene el mismo efecto climático que 21 kg. de CO<sub>2</sub> (GWP -Global Warming Potencial = Potencial Global de Calentamiento = 21). Al utilizar el metano como fuente de energía se produciría solamente una expulsión de 2.75 kg de CO<sub>2</sub>, es decir, se logra una reducción de alrededor de un factor 8.

D) Utilización de lodos y líquidos como:

- Mejorador de suelos (biofertilizante);
- Control de plagas y enfermedades en los cultivos;
- Fertilizante foliar;
- Alimento animal;
- Piscicultura;
- Lombricultura.



*Figura 52. Lodos: subproductos de la producción de biogás*

Los lodos y líquidos, empleados como *biofertilizante* resultan mejores que los fertilizantes orgánicos conocidos, como el compost, producto de la descomposición aeróbica (en presencia de oxígeno) de la materia orgánica.

- El contenido de nitrógeno asimilable es mayor en la materia orgánica descompuesta anaeróbicamente que en la que se ha descompuesto aeróbicamente. Las pérdidas de nitrógeno se comportan al 50% para la descomposición aeróbica y al 10% para la anaeróbica.
- La pérdida de fósforo en el compost es 15 veces mayor que en el biofertilizante de biogás. Los experimentos han demostrado que el contenido de fósforo asimilable está entre el 10 y el 20% en el fertilizante de biogás, mientras que el contenido de fósforo orgánico e inorgánico es de 1 a 3 veces mayor que en el compost.
- Producto de la fermentación anaeróbica, se puede recuperar más del 90 % del potasio presente en la materia orgánica, ya que los iones no pueden ser lavados por la lluvia como es el caso del compost. El contenido de potasio en los residuos sólidos digeridos es de 0.6 - 1.2%; y en los líquidos, 0.05 - 1.0%.
- Las pérdidas de carbono orgánico son menores en la fermentación anaeróbica que en la fermentación del compost.

Cómo *control de plagas y enfermedades* en los cultivos, se ha demostrado que la aplicación de fertilizante de biogás de buena calidad puede controlar la aparición de áfidos de los vegetales, del trigo y del algodón. A las 84 horas posteriores a la aplicación del biofertilizante, las poblaciones de insectos disminuyen en más del 55%.

El líquido digerido cuando es mezclado con insecticida es muy efectivo. Mezclado con un 10% de insecticida, provoca una reducción de la población de insectos de más del 60% a las 48 horas. Este líquido, mezclado con un 20% de pesticidas seleccionados, contribuye a la disminución de las poblaciones de insectos en más del 70% en 84 horas.

Los residuales del biogás en algunos países como Francia, se emplean de modo directo como *alimento animal*, mezclados en pequeñas proporciones con el alimento de los cerdos, debido a que estos residuales son ricos en proteínas.

De igual forma en *piscicultura* los residuales de la producción de biogás son un fertilizante ideal para los estanques y lagunas y, a diferencia de la materia orgánica directa, no necesitan oxidarse puesto que ya están digeridos y por lo tanto no consumen el oxígeno disuelto en el agua. Por el contrario, este fertilizante fomenta el crecimiento del fitoplancton, que es un productor de oxígeno disuelto por excelencia, y que también sirve de alimento a la fauna acuática, aumentando la capacidad de crianza de peces en un mismo volumen de agua, al disponer de más oxígeno disuelto.

Como *fertilizante foliar*, los líquidos producto de la digestión una vez filtrados, se pueden aplicar con un rociador o atomizador a la superficie foliar de los cultivos. Los resultados alcanzados en arroz paddy y trigo han registrado incrementos en los rendimientos del 9.7 y 11.8% respectivamente, mientras que con la aplicación de urea foliar, los incrementos del rendimiento son de 5.6 y 8.2% respectivamente. Estos resultados se explican por el hecho de que la urea contiene sólo nitrógeno, mientras que el líquido digerido del biogás contiene otros elementos que incrementan la acción fertilizante.

Los residuales sólidos de la digestión también pueden ser empleados como alimento en la *crianza de lombrices* de tierra.

Las lombrices son un excelente alimento animal (y humano) pues contienen hasta un 60 % de proteínas y 18 tipos de aminoácidos. También tienen propiedades febrífugas cuando se emplean como alimento en forma de harina, mezclada con el pienso.

Además de lo anterior, como subproducto de la lombricultura se obtiene el llamado "humus de lombriz", el cual es un excelente mejorador de suelos, debido a su alto contenido de ácido húmico.

Los rendimientos de lombrices cuando se emplean lodos digeridos presentan un incremento del 5.9% con relación a cuando se emplea estiércol directo.

En el campo del tratamiento de los residuales orgánicos y los problemas medio ambientales, existe la tendencia mundial a reutilizar y aprovechar los efluentes y subproductos que se obtienen como resultado de la degradación de la materia orgánica.

De igual forma y en consecuencia con los resultados expuestos, existe también tendencia al uso y generalización de la tecnología del biogás como una vía para la obtención de energía limpia y renovable, en correspondencia con la política que se implementa en Cuba, para zonas rurales y que se puede vincular con el programa de desarrollo de grupos electrógenos.

Hemos podido constatar que el uso de la tecnología de digestión anaerobia se presenta como una vía favorable para el tratamiento de los RSU por su contribución a factores importantes de la economía del país y por sus aportes a la conservación del medio ambiente.

### 8.1.2 Fermentación alcohólica

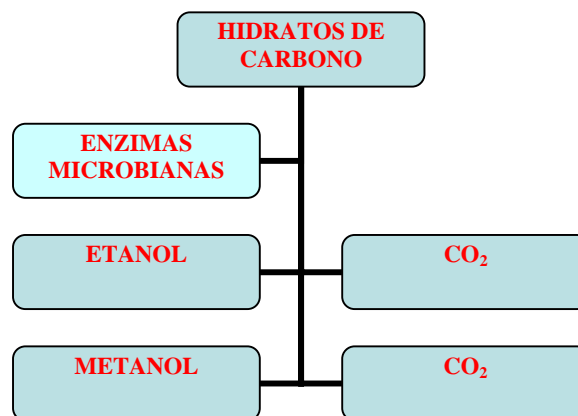
La fermentación produce la descomposición de sustancias orgánicas complejas (hidratos de carbono) en otras simples (etanol, metanol, ésteres), gracias a la acción de los microorganismos.

Las materias primas para la producción de metanol son el carbón y los residuos orgánicos (sobre todo desechos de madera), mientras que el etanol puede destilarse a partir de residuos agrícolas, agroalimentarios, forestales y de azúcar de caña o cereales.

La obtención de etanol por fermentación alcohólica, ha cobrado interés debido a la posibilidad de utilizar el alcohol como combustible. La fermentación alcohólica se lleva a cabo por numerosos microorganismos anaerobios o aerobios facultativos a partir de azúcares presentes en las distintas formas de biomasa. Estos azúcares se pueden encontrar en forma de polímeros: almidón y celulosa.

La fracción celulósica de los residuos, se transforman mediante hidrólisis en glucosa, que por fermentación se convierte en combustible (etanol)

La conversión anaerobia ocurre según la siguiente reacción:



#### USOS:

Los alcoholes producidos por esta fermentación son conocidos como **biocombustibles**. En teoría, esas sustancias pueden utilizarse en lugar de los combustibles fósiles, pero como se requerirían grandes alteraciones en los motores, los biocombustibles suelen mezclarse con combustibles fósiles. La Unión Europea permite que un 5% de etanol, derivado de trigo, remolacha, patatas o cereales, se añada a los combustibles fósiles. En 1994, una cuarta parte del combustible utilizado en Brasil para el transporte era etanol.

**Gasohol** o **Carburol** es la mezcla de nueve partes de gasolina sin plomo y una parte de alcohol (etanol o metanol), se emplea en algunos países para reducir el costo de la gasolina utilizada como combustible para los automóviles.

Los primeros motores de combustión interna producidos durante la década iniciada en 1870 empleaban indistintamente alcohol o gasolina, y en Europa se han utilizado en algunas ocasiones mezclas de gasolina y alcohol cuando ha habido escasez de petróleo. En la década de 1930 se vendieron en Estados Unidos dos mezclas de este tipo, llamadas alcolina y agrol, pero no pudieron competir en el mercado en aquellos tiempos, debido al bajo precio de la gasolina. La escasez de petróleo durante la década de 1970 resucitó el interés por las mezclas



con alcohol, que se incrementó en 1985 ante la propuesta de prohibir la gasolina con plomo al final de dicha década. El gasohol puede emplearse en los automóviles sin necesidad de modificar el carburador, el ciclo de encendido ni los conductos de combustible, y tiene un índice de octano ligeramente mayor que la gasolina sin plomo corriente.

### **8.1.3 Sistemas de conversión térmica**

Los procesos termoquímicos de conversión de la biomasa en energía o combustibles son aquellos en que se producen reacciones químicas irreversibles, a altas temperaturas y en condiciones variables de oxidación. Esta tecnología se utiliza en aquellos casos en que la biomasa, por su estado básicamente sólido y seco, permite para su transformación en energía, altas velocidades de reacción. En estos procesos se obtienen conversiones normalmente elevadas de la materia orgánica con alta eficacia y relativamente poca sensibilidad al variar de un material a otro. Estos procesos se pueden dirigir hacia la producción de productos más convenientes. Los métodos disponibles en la actualidad no generan un producto único, sino que producen mezclas de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, que también poseen un elevado valor energético. Además, dichos procesos pueden producir un amplio espectro de productos energéticos.

#### **8.1.3.1 Pirólisis**

La pirólisis se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esto genera una corriente de gas compuesta por hidrógeno, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono y otros gases así como ceniza inerte, lo que depende de las características orgánicas del material pirolizado. La pirólisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión.

Se puede considerar que la pirólisis comienza en torno a los 250° C (termólisis), llegando a ser prácticamente completa en torno a los 500° C, aunque esto está en función del tiempo de residencia del residuo en el reactor. A partir de la pirólisis pueden obtenerse diferentes productos secundarios útiles dependiendo de la tecnología de tratamiento que se utilice.

Los productos primarios formados son los siguientes (en diferentes proporciones según el proceso y la temperatura empleados):

- Gases: Compuestos principalmente de CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> y pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros;
- Líquidos: Compuesto por una gran mezcla de distintos productos como pueden ser: cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos, y otras fracciones más pesadas;
- Sólidos: El producto sólido de la pirólisis es un residuo carbonoso (char) que puede ser utilizado como combustible o para la producción de carbón activado.

Existen diferentes tipos de pirólisis, dependiendo de las condiciones físicas en las que se realice. Así, factores como la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia del producto, la presión, etc., tienen una influencia muy grande en el resultado final del proceso.

Es posible recuperar energía de algunos procesos de eliminación de residuos. En general se pueden hacer dos grupos: procesos de combustión y procesos de pirólisis. Algunas incineradoras se aprovechan para generar vapor. En las paredes de la cámara de combustión se colocan los tubos de agua de la caldera; el agua que circula por los tubos absorbe el calor generado por la combustión de los residuos y produce vapor para uso industrial.

### **8.1.3.2 Combustión**

La combustión es una reacción química en la que un elemento combustible se combina con un elemento comburente (generalmente oxígeno en forma de O<sub>2</sub> gaseoso). El producto final debe volatilizarse, gasificarse y por fin oxidarse, desprendiendo calor y produciendo óxidos. Los tipos más frecuentes de combustible son los materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. El producto de esas reacciones puede incluir monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) y cenizas. El proceso mediante el cual se destruyen materiales por combustión se conoce como incineración.

### **8.1.3.3 Incineración**

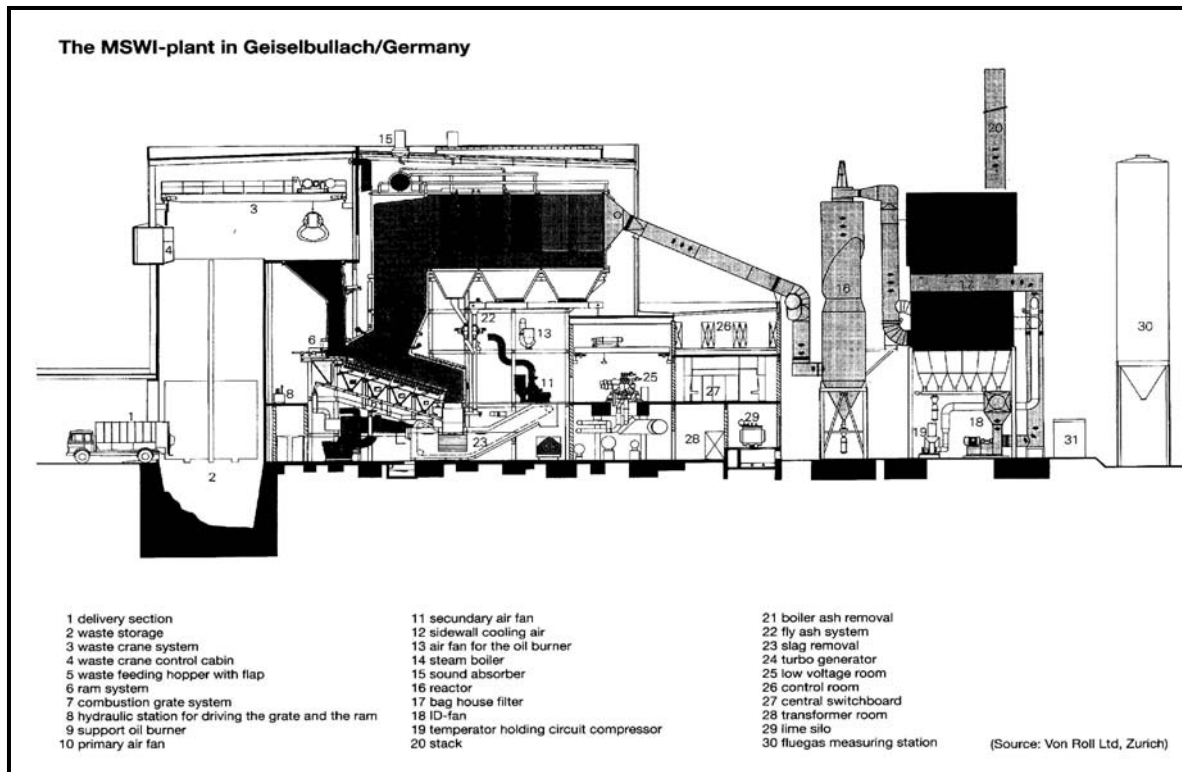
La incineración es una de las tecnologías térmicas existentes para el tratamiento de residuos y no es más que la quema de materiales a alta temperatura, generalmente superior a 900° C. Los materiales incinerados deben mezclarse con una cantidad apropiada de aire durante un tiempo predeterminado. En el caso de incineración de los residuos sólidos, los compuestos orgánicos son reducidos a productos tales como dióxido de carbono gaseoso, vapor de agua, y sólidos inorgánicos (cenizas).

Esta combustión se realiza en instalaciones comúnmente conocidas como plantas de incineración, las que deben ser proyectadas y construidas para el tratamiento térmico de los residuos de forma respetuosa con el medio ambiente.

En las incineradoras los residuos sólidos pueden convertirse en energía eléctrica. La incineración en estos casos se utiliza para producir vapor a alta presión. El vapor producido mueve una turbina que impulsa un generador eléctrico. Para poder recuperar la energía contenida en los materiales que hay en los RSU, es necesario que estos contengan un elevado poder calórico. De lo contrario, su combustión resulta poco eficiente y dificultosa y para facilitarla es necesario realizarla con la ayuda de combustibles fósiles. Cuando se emplea la incineración de los desechos, se tiende a poner trabas a la recuperación y al reciclaje de determinadas fracciones de estos (como papel, cartón, plásticos) porque, sin ellas, disminuye el poder calórico global. Además, es absurdo quemar materia orgánica, rica en nutrientes, ya que su destino final debe ser el retorno al suelo para mantener su fertilidad.

Una incineradora no es otra cosa que un horno en el que se tratan, por la acción del calor ciertas fracciones de los RSU, reduciendo su volumen y dejándolos inertes. La combustión indiscriminada de productos que contienen PVC pueden producir gases tóxicos, denominados dioxinas. La incineración no elimina la necesidad de un relleno sanitario para las cenizas. El calor generado por la incineración puede ser aprovechado comercialmente.

Resulta de gran importancia el hecho de que altos contenidos de humedad y materia orgánica reducen considerablemente el poder calórico de los desechos, por lo que esta técnica no resulta conveniente en climas muy húmedos, como es el caso de Cuba.



**Figura 53. La planta de incineración en Geiselbullach, Alemania**

#### 8.1.3.4 Ventajas de la incineración de los RSU

- Reducción drástica del volumen de los residuos a ser depositados en los rellenos sanitarios: reduce los residuos a cenizas, las que generalmente son inertes. De esta forma, la necesidad de espacio para los rellenos sanitarios disminuye considerablemente;
- Reducción del impacto ambiental: en comparación con el relleno sanitario, la incineración minimiza la preocupación a largo plazo relacionada con el monitoreo de la capa freática, ya que el residuo tóxico es destruido, y no almacenado;
- Desintoxicación: la incineración destruye bacterias, virus y compuestos orgánicos, como el tetracloruro de carbono, el aceite sucio, e inclusive, dioxinas si se realiza a altas temperaturas.

En la incineración, la dificultad de destrucción no depende de la peligrosidad del residuo, sino de su resistencia al calor. La incineración también se puede usar para descontaminar el suelo que contiene residuos tóxicos. Este, después de incinerado, es devuelto a su lugar de origen. Además, parte de la energía consumida puede recuperarse para generación de vapor o electricidad.

#### 8.1.3.5 Desventajas de la incineración de los RSU

- Elevado costo: la incineración es uno de los tratamientos de residuos que presenta costos elevados tanto en la inversión inicial, como en el costo operacional. Normalmente, se debe incinerar sólo lo que no puede ser reciclado. Actualmente, con las crecientes exigencias para la mitigación de los impactos ambientales causados por los rellenos

sanitarios, se ha llegado a alcanzar costos hasta de 20 USD por tonelada de RSU tratados en rellenos sanitarios, costos comparables a los costos operacionales de los incineradores;

- Exige mano de obra calificada: es difícil encontrar y mantener personal bien calificado para la supervisión y operación de los incineradores;
- Problemas operacionales: la variabilidad de la composición de los residuos puede causar problemas de manejo y de operación del incinerador, y exigir un mantenimiento más intenso;
- Límite de emisiones de dioxinas y furanos: no existe consenso en cuanto al límite de emisiones de estos componentes para los incineradores.

#### **8.1.4 Gasificación**

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato que contiene compuestos de carbono (residuo orgánico) es transformado, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua) en un gas combustible de bajo poder calórico.

La temperatura de operación es un factor importante en estos procesos. Para obtener un buen rendimiento de la mezcla gaseosa resultante (contenidos altos en hidrógeno y monóxido de carbono) es necesaria una temperatura mínima de 700 a 800° C. Para evitar problemas técnicos debidos a la fusión y la aglomeración de cenizas se impone una temperatura máxima, trabajándose generalmente entre 800 y 1500° C. Estas temperaturas permiten desarrollar las tres fases similares a las de la combustión, limitándose la cantidad de comburente a un 10 - 50% del teóricamente necesario para una combustión completa. La calefacción del reactor se realiza normalmente mediante la combustión del gas producido. Se están desarrollando otros métodos como son la utilización del calor de un horno solar o el calentamiento mediante arco voltaico.

##### **8.1.4.1 Clasificación de la gasificación**

La gasificación de la biomasa puede ser clasificada atendiendo a los siguientes criterios:

- Agente gasificante: Aire, oxígeno, vapor de agua, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>;
- Forma de suministrar el calor: Método directo o indirecto;
- Tipo de reactor:
  - Lecho móvil en contracorriente o en corriente paralela;
  - Lecho fluidizado. Transporte neumático, sistemas combinados o circulantes;
- Presión y temperatura del reactor;
- Forma de separar las cenizas.

Atendiendo al agente gasificante, el proceso de gasificación con aire es el que, a nuestro juicio, presenta un mayor interés económico y social. En este proceso, el oxígeno del aire quema parcialmente el residuo rico en carbono procedente de la pirólisis (proceso simultáneo al de gasificación), y se genera el calor necesario para el proceso. Este proceso permite, el aprovechamiento de diversos residuos agrícolas y forestales mediante su conversión termoquímica en gases de bajo contenido energético con bajos costos de inversión y operación, ya que no se necesita fuente de calor externa. Es frecuente en pueblos, granjas, comarcas o cooperativas.

Hay sistemas y procesos de gasificación con aire en proceso de desarrollo o ya disponibles comercialmente, que aprovechan los más variados tipos de biomasa dependiendo del país

donde se han instalado. Por otra parte, las tecnologías de gasificación y purificación de gases son muy diversas dependiendo fundamentalmente de la aplicación posterior del gas. La evaluación y comparación de estos sistemas o procesos no son sencillas, debido a los numerosos factores a tener en cuenta y al hecho de que algunos de ellos están diseñados para una única aplicación, dificultando comparar su eficacia para otras aplicaciones. El producto que se obtendrá es un gas combustible de bajo contenido energético (inferior a  $6 \text{ MJ/m}^3$ ). Los reactores más utilizados son los de lecho móvil en contracorriente (ó “updraft”) o en corriente paralela (ó “downdraft”) y los de lecho fluidizado. El gas resultante puede emplearse como combustible en quemadores de calderas o turbinas de gas, o en aparatos de combustión interna.

La gasificación con oxígeno y/o vapor de agua se utiliza para la obtención de un gas de contenido energético medio ( $10\text{-}20 \text{ MJ/m}^3$ ) o de gas de síntesis. Es un gas de mayor calidad al no estar diluido con nitrógeno.

El sistema de lecho fluidizado es el más apropiado para la gasificación de biomasa con aire o vapor de agua. Sin embargo, no se puede utilizar con todos los tipos de residuos agrícolas y forestales ya que el tamaño y la forma de estos residuos puede limitar su uso. El tamaño de los residuos debe ser inferior a 1 cm, pudiendo ocasionar un aumento en el costo por la trituración del residuo. Este factor puede solucionarse añadiendo un segundo sólido inerte (arena, alúmina) que ayude a fluidizar la biomasa.

Con la gasificación con  $\text{H}_2$  se produce un gas con alto contenido energético (superior a  $30 \text{ MJ/m}^3$ ) que por tener altos porcentajes de metano y olefinas, puede utilizarse como sustituto del gas natural.

También pueden utilizarse catalizadores durante la reacción. Las razones que hacen atractivo el empleo de catalizadores son:

- Alto incremento de las reacciones de conversión;
- Temperaturas de reacción más bajas y mayor eficacia;
- Reducción del contenido de metano en el gas de síntesis;

#### ***8.1.4.2 Tipos de gasificadores***

Los tipos de reactores (gasificadores) que pueden ser utilizados en la gasificación de biomasa son los de lecho móvil (en contracorriente y corrientes paralelas), de lecho fluidizado y de transporte. Cada uno de estos reactores presenta una serie de ventajas e inconvenientes, lo que hace que su elección dependa de varios factores.

Los principales criterios de elección son:

- El tamaño y la densidad del residuo de biomasa a procesar;
- La capacidad del procesamiento;
- La calidad deseada para el producto gaseoso a obtener;
- La cantidad de energía que se desea obtener.

	<b>PREFERIBLE</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>INADECUADA</b>
Tipo de biomasa	Maderas duras y no resinosas		Biomasas con corteza y tierra
Tamaño	Bloques, briquetas de 8 x 4 cm.	Astillas, trozos gruesos	Aserrín, pequeñas ramas, paja,...
Humedad	Secado en horno	Secada al aire	Madera verde

*Tabla 6. Características de los residuos a ser tratados en gasificadores*

Los gasificadores más utilizados son los de lecho móvil y fluidizado. Los reactores de lecho móvil permiten utilizar un amplio intervalo de tamaños de sólidos, lo que los hace adecuados para procesar biomasa tal como la cáscara de almendra, astillas, maíz, etc. No son adecuados para la gasificación de residuos de baja densidad (pajas de cereales, aserrín, etc.) debido a la formación de canales preferenciales en el lecho, con las consiguientes zonas muertas. Si estos residuos fuesen densificados previamente en pellets o briquetas también podrían ser procesados en lechos móviles. Para lograr una buena fluidización, el tamaño del residuo debe ser inferior a 2 cm, lo que normalmente requiere de una trituración previa con el consiguiente incremento de los costos.

Con el mismo volumen de reactor, un lecho fluidizado permite procesar una mayor cantidad de sólidos que un lecho móvil. En general, las capacidades de procesamiento más adecuadas son de 100 - 800 kg/h para el lecho móvil y 600- 6,000 kg/h para el lecho fluidizado.

Es importante resaltar que en un lecho móvil la pirólisis tiene lugar en una zona de relativamente baja temperatura (300 - 400° C), por lo que se forman muchos productos líquidos, principalmente alquitranes.

Si se opera el flujo en contracorriente, los líquidos son arrastrados por el gas hacia zonas de menor temperatura y fuera del gasificador. En consecuencia el gas obtenido contiene mucho alquitrán y polvo, por lo que es necesaria su purificación antes de ser utilizado como combustible en motores de combustión interna. Este gas, sin embargo puede tener aplicaciones directas en el secado de materiales y en la generación de vapor en calderas modificadas.

Este inconveniente se evita utilizando un reactor de flujo en paralelo. En este caso el flujo descendente arrastra los alquitranes procedentes de la pirólisis hacia la zona de oxidación que se encuentra a elevada temperatura (1200 - 1500° C), donde se consigue su craqueo y/o descomposición en gases. Con el flujo en corrientes paralelas se presenta una cuarta zona en el reactor (zona de reducción) que permite obtener mayores cantidades de CH<sub>4</sub> en el gas producido aumentando su valor energético. Por ser un gas limpio y de alta calidad, dicho gas puede ser utilizado directamente (debido a su alta temperatura de salida) en quemadores de calderas y turbinas de gas, o, si se enfría previamente, en motores de combustión interna.

En un lecho fluidizado el proceso de pirólisis ocurre a una temperaturas de alrededor de 800° C y la velocidad de calentamiento del producto sólido es muy alta, garantizando la obtención de buenos rendimientos de CH<sub>4</sub> y la obtención de gases de alto contenido energético.

### Gasificación en lecho móvil en contracorriente

En la gasificación en lecho móvil en contracorriente el calor se genera en la parte inferior del lecho por donde se introduce el aire. Se forman perfiles de temperatura muy acusados, lo que hace que la biomasa pase por regiones que están a muy distintas temperaturas y que los procesos que ocurren (secado, pirólisis, oxidación) tengan lugar gradualmente. La simplicidad de los lechos móviles a contracorriente y la posibilidad de procesar biomasa de hasta un 50% de humedad, hizo que este tipo de reactor fuese muy utilizado. Su capacidad para procesar biomasa oscila entre 500 y 2000 kg/h.

Este tipo de gasificador 'updraft', produce del 5 al 20% de productos alquitranados, por lo que no es recomendable utilizarlo directamente para el funcionamiento de motores, siendo adecuado su uso para la combustión en quemadores.

### Gasificación en lecho móvil en corrientes paralelas

En el proceso de gasificación en lecho móvil en corrientes paralelas el aire es introducido dentro del lecho de biomasa de forma que los flujos de gas y del aire son básicamente descendentes. Los productos líquidos y gaseosos formados en la pirólisis son obligados a pasar a través de una zona más caliente que craquea los alquitranes, obteniéndose gases con menos del 1% de contenido de alquitranes.

Además de las tres regiones de secado, pirólisis y oxidación presentes en el gasificador de lecho móvil en contracorrientes, existe una cuarta región de reducción en la que tienen lugar reacciones con vapor de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> que permiten obtener gases con mayor contenido energético que los del gasificador en contracorriente. Estos reactores son adecuados para procesar pequeñas cantidades de biomasa (100 - 800 kg/h) y admiten un contenido de humedad del 30%

### Gasificación en lecho fluidizado

Debido al flujo del sólido perfectamente mezclado no se forman gradientes de temperatura. La pirólisis en un lecho fluidizado se efectúa a una alta velocidad de calentamiento lo que disminuye la producción de alquitrán. Asimismo, las propiedades isotérmicas del lecho fluidizado permiten un mayor control de temperatura.

Los gasificadores de lecho fluidizado son más adecuados para mayores cantidades de biomasa (superiores a 600 kg/h). Los sólidos a procesar deben ser de tamaño inferior a 1 cm y su contenido en humedad inferior al 50%.

### Gasificador de flujo cruzado

Los gasificadores de flujo cruzado o tiro transversal son una adaptación de los gasificadores de lecho móvil para carbón vegetal. La gasificación de carbón vegetal produce temperaturas muy elevadas (superiores a 1500° C) en la zona de oxidación.

### Gasificador de horno rotatorio

El funcionamiento de este tipo de gasificador presenta similitudes con los gasificadores de lecho móvil pero tiene sus propias características constructivas, principalmente los compuestos mecánicos que facilitan el desplazamiento de los sólidos, y el funcionamiento en continuo del sistema. En un horno rotatorio el gas puede circular en contracorriente o en paralelo con el producto sólido. Cada caso presenta ventajas e inconvenientes

Los principales componentes de este tipo de gasificadores son: una tolva para la carga de la biomasa, un alimentador del horno, una cámara de carga, un horno cilíndrico rotativo donde

circulan los sólidos con el aire y los gases, un sistema para la alimentación de aire y la cámara de descarga.

#### 8.1.4.3 Criterios para la óptima selección de los gasificadores de biomasa:

- El gas producido deberá estar libre de alquitrán, polvo y cenizas;
- Las pérdidas de energía deben ser relativamente bajas;
- El modo de operación debe ser simple y adaptable a diferentes tipos de alimentación;
- El gasificador debe ser de simple construcción y permitir la eliminación de las cenizas;
- Para evitar puntos fríos en la zona de oxidación, por donde pudieran "pasar" alquitranes sin craquearse, deben elegirse adecuadamente la velocidad del medio gasificante y la geometría de esta zona del gasificador;
- El tiempo de residencia de la biomasa en la zona de pirólisis debe ser suficiente para conseguir la máxima volatilización posible.

La elección de los materiales de construcción debe ser realizada correctamente para prevenir eventuales efectos negativos de las altas temperaturas, corrosión, abrasión, etc., sobre los gasificadores.

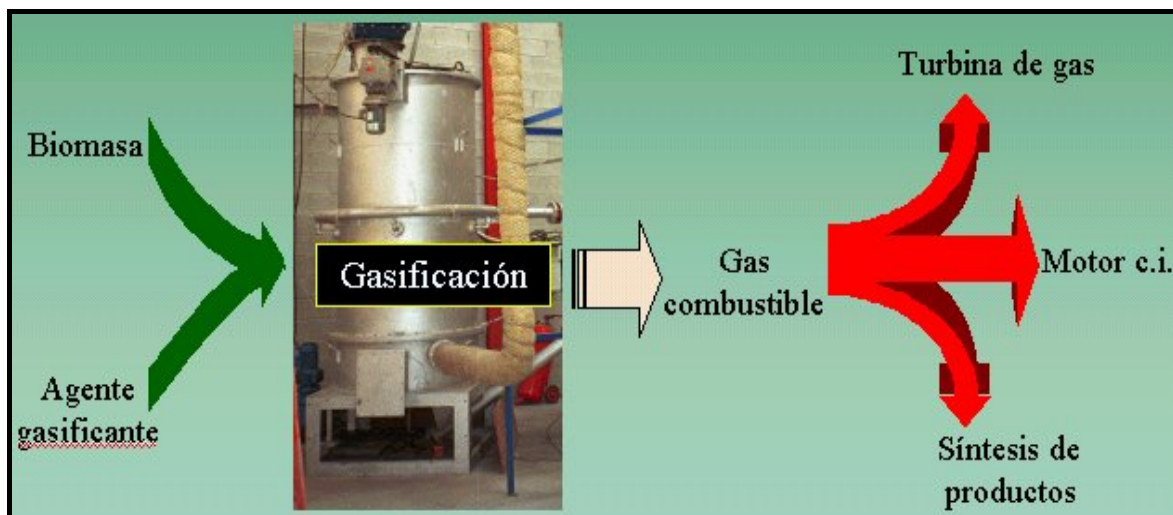


Figura 54. Proceso de gasificación



## 9 Glosario de términos utilizados en el texto

<b>A</b>	
Abono orgánico	Producto obtenido de la transformación de residuos de plantas, animales y otros desechos añadidos a la tierra para mejorar la estructura del suelo.
Aerobio	Proceso bioquímico que ocurre en presencia de oxígeno.
Anaerobio	Proceso bioquímico que ocurre en ausencia de oxígeno.
Antropocentrismo	En la problemática ecológica es la posición que hiperboliza al hombre como centro de preocupación ambiental. Son las relaciones del ser humano con el medio ambiente, desde una óptica de superioridad y dominio, que alcanza su máxima expresión con el auge de la ciencia y la tecnología y del desarrollo de instrumentos de transformación del medio ambiente considerados como algo ajeno a su propia identidad.
<b>B</b>	
Basura	Sinónimo de residuos sólidos municipales y de desechos sólidos. Porción visible de residuos sólidos generados por el consumidor y tirados descuidadamente fuera del sistema destinado para su recogida.
Basurero	Botadero, vertedero o vaciadero de basura.
Biodegradable	Sustancias que pueden ser descompuestas por microorganismos en un período de tiempo relativamente corto.
Biodegradación	Proceso de descomposición de sustancias, llevado a cabo por organismos vivos.
Biogás	Mezcla de metano y otros gases que se desprenden durante la degradación anaerobia de la materia orgánica por la acción de micro-organismo
Biomasa	En biogeografía, masa de materia viva existente en una comunidad o en un ecosistema. Generalmente se expresa en peso de materia seca por unidad de superficie o de volumen.
Botadero	Lugar donde se arrojan los residuos a cielo abierto en forma indiscriminada sin recibir ningún tratamiento sanitario. Sinónimo de vertedero, vaciadero o basurero.

<b>C</b>	
Ceniza	Material incombustible que queda después de haber sido quemado un combustible o residuo sólido.
Comburente	Sustancia que logra la combustión o la acelera.
Compactación	Proceso utilizado para incrementar el peso específico (densidad en unidades métricas) de materias residuales para que puedan ser almacenadas y transportadas eficientemente.
Compost	Fertilizante formado mediante la biodegradación controlada y acelerada de materia orgánica hasta formar un producto parecido al humus.
Contenedor	Recipiente de capacidad variable empleado para el almacenamiento de residuos sólidos.
<b>D</b>	
Desarrollo sostenible	Proceso de elevación sostenida y equitativa de la calidad de vida de las personas, mediante el cual se procura el crecimiento económico y el mejoramiento social, en una combinación armónica con la protección del medio ambiente, de modo que se satisfagan las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.
Descomposición	Desintegración de residuos orgánicos por medios biológicos, químicos o térmicos. La total oxidación química produce dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), agua y materia inorgánica.
Desecho	Término general para residuos sólidos: Sinónimo de desecho sólido, residuos sólidos municipales y de basura.
Desechos peligrosos	Aquellos provenientes de cualquier actividad y en cualquier estado físico que, por la magnitud o modalidad de sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, explosivas, inflamables, biológicamente perniciosas, infecciosas, irritantes o cualquier otra, representen un peligro para la salud humana y el medio ambiente.
Desechos radiactivos	Aquellos que contienen o están contaminados con radio nucleidos que se encuentran en concentraciones o con actividades superiores a los niveles establecidos por la autoridad competente.
Digestión anaerobia	Conversión biológica de residuos orgánicos a metano y dióxido de carbono, bajo condiciones anaerobias.
Dióxido de carbono	Componente natural del aire no tóxico pero que no hace viable la vida. Las altas concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera producto de la actividad antrópica (industrias, automóviles, etc.) son la causa principal del efecto invernadero.

Dioxinas	Sustancias tóxicas persistentes (difícilmente degradables) y bioacumulativas que se acumulan en todos los niveles de la cadena trófica especialmente en el tejido graso de los animales y seres humanos. Son sustancias cancerígenas que afectan el sistema inmunitario del organismo y producen trastornos en la reproducción de los mamíferos, incluyendo al hombre.
<b>E</b>	
Educación ambiental	Proceso continuo y permanente, que constituye una dimensión de la educación integral de todos los ciudadanos, orientada a la adquisición de conocimientos, desarrollo de hábitos, habilidades, capacidades y actitudes y en la formación de valores, se armonicen las relaciones entre los seres humanos y de ellos con el resto de la sociedad y la naturaleza, para propiciar la orientación de los procesos económicos, sociales y culturales hacia el desarrollo sostenible.
Educación formal	Se caracteriza por ser planificada, y controlada por planes estables (planes de estudio), generalmente estatales o aprobados estatalmente, o jurídicamente refrendados. Es secuenciada, y permanente. Tiene un público homogéneo y relativamente estable. Se refiere fundamentalmente a los procesos de escolarización a todos los niveles.
Educación informal	Es un proceso educativo espontáneo que resulta de la interacción del individuo con su entorno y que ocurre independientemente de la planificación institucional y familiar. Puede ser incluso cualquier hecho fortuito que ejerza una influencia educativa. Es una tendencia en el contexto latinoamericano, considerar la actividad de los medios de difusión masiva como parte de esta modalidad.
Educación no formal	Procesos educativos planificados, que poseen un carácter específico y diferenciado. Pueden ser o no secuenciados y controlados, y generalmente son dirigidos a públicos heterogéneos y no estables. Es el caso de las actividades extradocentes y extraescolares, las que se realizan en los parques, en las instituciones especializadas científicas, y culturales, así como los procesos educativos comunitarios.
Entidad de aseo urbano	Persona natural o jurídica, pública o privada, encargada o responsable en un municipio de la prestación del servicio de aseo.
Escombrera	Área destinada para la eliminación de escombros y restos de demolición no aprovechables (materiales inertes), que pueden ser naturales (por ejemplo, hondonadas o depresiones) o creadas por el hombre (por ejemplo, canteras abandonadas)
Escombros	Desecho proveniente de las construcciones y demoliciones de casas, edificios y otro tipo de edificaciones.

Estación de transferencia	Instalación donde los residuos son transferidos desde vehículo de recogida más pequeños a vehículos más grandes para el transporte al lugar del vertido (vertederos). En muchas de las unidades de transferencia que se construyen hoy día, se realiza también la separación y la compactación de los residuos.
Estudio de impacto ambiental	Descripción pormenorizada de las características de un proyecto de obra o actividad que se pretenda llevar a cabo, incluyendo la descripción de la tecnología propuesta y que se presenta para su aprobación en el marco del proceso de evaluación de impacto ambiental. Debe proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación del impacto ambiental del proyecto y describir las acciones que se ejecutarán para impedir o minimizar los efectos adversos, así como el programa de monitoreo que se adoptará.
Evaluación de impacto ambiental	Procedimiento que tiene por objeto evitar o mitigar la generación de efectos ambientales indeseables, que serían la consecuencia de planes, programas y proyectos de obras o actividades, mediante la estimación previa de las modificaciones del ambiente que traerían consigo tales obras o actividades y, según proceda, la denegación de la licencia necesaria para realizarlos o su concesión bajo ciertas condiciones. Incluye una información detallada sobre el sistema de monitoreo y control para asegurar su cumplimiento y las medidas de mitigación que deben ser consideradas.
<b>G</b>	
Gases del efecto invernadero	Gases que contribuyen con sus concentraciones en la atmósfera, al incremento del efecto invernadero. Son gases de efecto invernadero, entre otros: dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), metano (CH <sub>4</sub> ), hidrofluorocarbonos (HCFCs), perfluorocarbonos (PFCs), el hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> ), óxido nitroso y los clorofluorocarbonos (CFCs).
Gases tóxicos	Aquellos que por su naturaleza producen efectos adversos al hombre y su hábitat natural.
Generación de residuos	El acto de generar residuos sólidos.
Gestión ambiental	Conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar la administración y uso racional de los recursos naturales mediante la conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo del medio ambiente y el control de la actividad del hombre en esta esfera. La gestión ambiental aplica la política ambiental establecida mediante un enfoque multidisciplinario, teniendo en cuenta el acervo cultural, la experiencia nacional acumulada y la participación ciudadana.

Gestión de residuos sólidos	<p>Conjunto de operaciones que tienen como fin el dar a los residuos producidos en una zona el destino global más adecuado, desde el punto de vista ambiental y sanitario y en concordancia con sus características, su volumen y su procedencia.</p> <p>La gestión de los residuos sólidos se basa en las siguientes consideraciones: reducción en origen, reciclado, reutilización, transformación de residuos y vertido y es organizada según un orden jerárquico. El control sistemático y determinado de los elementos funcionales: generación, manipulación de residuos, separación y procesamiento en origen, recogida, separación y procesamiento y transformación de residuos sólidos, transferencia y transporte, y vertido asociado a la gestión de residuos sólidos desde el punto de generación al vertido final.</p>
Gestión	Véase manejo.
<b>I</b>	
Impacto ambiental	Toda repercusión en el medio ambiente producto de la acción del hombre o un elemento ajeno a dicho medio, que genera consecuencias significativas para el mismo, sean negativas o positivas.
Incineración	Proceso controlado por el cual los residuos combustibles sólidos, líquidos y gaseosos son quemados y convertidos en gases. El residuo obtenido contiene poco o nada de material combustible.
Inspección ambiental estatal	Actividad de control, fiscalización y supervisión del cumplimiento de las disposiciones y normas jurídicas vigentes en materia de protección del medio ambiente, con vista a evaluar y determinar la adopción de las medidas pertinentes para garantizar dicho cumplimiento.
Instalación de recuperación de materiales	Instalación física utilizada para la separación complementaria y el procesamiento de residuos que han sido separados en orígenes.
<b>J</b>	
Jerarquía de la gestión integrada de residuos sólidos	Reducción en origen, reciclaje, transformación de residuos y vertido. Algunas agencias medioambientales no hacen una distinción entre transformación de residuos (incineración) y vertido, puesto que ambos conceptos son vistos como componentes viables de un programa integrado de gestión de residuos.
<b>L</b>	

Licencia ambiental	Documento oficial, que sin perjuicio de otras licencias, permisos y autorizaciones que de conformidad con la legislación vigente corresponda conceder a otros órganos y organismos estatales, es otorgado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente para ejercer el debido control al efecto del cumplimiento de lo establecido en la legislación ambiental vigente y que contiene la autorización que permite realizar una obra o actividad determinada.
Licuefacción	Se denomina condensación al proceso físico que consiste en la transformación de una sustancia en forma gaseosa a forma líquida. Es el proceso inverso a la ebullición.  Aunque el paso de gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura, generalmente se llama condensación al tránsito que se produce a presiones cercanas a la ambiental. Cuando se usa una sobre presión elevada para forzar esta transición, el proceso se denomina licuefacción.
Limpieza pública	Sinónimo de aseo urbano.
Lixiviación	Proceso mediante el cual se filtra líquido a través de los residuos sólidos y otro medio. El lixiviado de los vertederos contiene materiales extraídos, disueltos y suspendidos, algunos de los cuales pueden ser dañinos.
Lixiviado	Líquido que percola a través de los residuos sólidos, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, humedad de la basura y descomposición de la materia orgánica que arrastra materiales disueltos y suspendidos. Sinónimo de percolado.
Lodo	Líquido con gran contenido de sólidos en suspensión, proveniente de la mezcla profusa de agua y tierra, generados en las operaciones como el tratamiento de aguas residuales y otros procesos similares.
<b>M</b>	
Manejo	Conjunto de operaciones dirigidas a dar a los residuos el destino más adecuado de acuerdo con sus características, con la finalidad de prevenir daños o riesgos para la salud humana o el ambiente. Incluye el almacenamiento, el barrido de calles y áreas públicas, la recolección, la transferencia, el transporte, el tratamiento, la disposición final y cualquier otra operación necesaria.
Material biodegradable	Compuesto que puede ser degradado o convertido a compuestos más sencillos por la acción de los microorganismos.
Materiales ferrosos	Metales compuestos predominantemente de hierro. Se encuentran generalmente en residuos provenientes de: latas, automóviles, frigoríficos, cocinas y otros electrodomésticos.

Materiales no ferrosos	Metales que no contienen hierro. Entre los encontrados en los residuos sólidos se hallan el aluminio, el cobre, el latón y el bronce.
Materiales separados en origen	Materias residuales que han sido separadas en el punto de generación. Normalmente estos materiales se recogen por separado.
Materias orgánicas	Compuesto químico que tiene carbono combinado con otros elementos químicos. La materia orgánica puede ser de origen natural o antropogénico.
Medio ambiente	Sistema de elementos abióticos, bióticos y socio económicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades.
Metano (CH <sub>4</sub> )	Gas inodoro, incoloro, asfixiante, e inflamable, producido a partir de residuos bajo la descomposición anaerobia.
Microorganismos	Organismos de tamaño microscópicos, incluyendo bacterias, levaduras, hongos sencillos, actinomicetos, algunas algas, protozoos. Están involucrados en la estabilización de los residuos (compostaje o digestión anaerobia).
<b>O</b>	
Ordenamiento ambiental	Posibilita plantear el aprovechamiento de los recursos naturales a partir de sus potencialidades, evitando su degradación. El Planeamiento Territorial, tomando como soporte el Ordenamiento Ambiental, posibilita la planificación del desarrollo de una región o actividad, considerando el funcionamiento de los ecosistemas, las capacidades y las vocaciones de estos, las necesidades económicas y sociales (nacionales y locales), la cultura y las costumbres de la región.
Ordenamiento ecológico territorial	Instrumento de política ambiental cuyo objetivo es regular o introducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el uso sostenible de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias del deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.
<b>P</b>	
Patógenos	Organismos capaces de causar enfermedades. Las cuatro clasificaciones de patógenos encontradas en los residuos sólidos son: bacterias, virus, protozoos y helmintos.
Percolado	Sinónimo de lixiviado.
Pirólisis	Forma de descomponer residuos combustibles mediante combustión en ausencia de aire.

Problema ambiental	Es la percepción de una situación o estado no satisfactorio con respecto a una parte o a la totalidad del medio ambiente. Es el empeoramiento cualitativo del entorno causado por la actividad del hombre, como la industrialización, la urbanización, la explotación irracional de los recursos, la presión demográfica, etc. o por factores naturales.
Producción limpia	Sistema de producción, incluyendo las producciones de alimentos que previenen la generación de residuales y productos tóxicos dañinos a la salud y que promueven la utilización sostenible y eficiente de los recursos naturales y energéticos.
Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo	Proyección concreta de la política ambiental de Cuba, que contiene lineamientos para la acción de los que intervienen en la protección del medio ambiente y para el logro del desarrollo sostenible. Constituye la adecuación nacional de la Agenda 21.
<b>R</b>	
Reciclaje	Proceso mediante el cual los materiales segregados de los residuos son reincorporados como materia prima al ciclo productivo. La separación de una materia residual dada del flujo de residuos, procesándola para que pueda ser utilizada de nuevo como una materia útil para productos que pueden o no ser similares al original.
Recuperación	La restauración a un estado mejor o más útil.
Recursos naturales	Todos los componentes del medio ambiente, renovable o no renovable, que satisfacen necesidades económicas, sociales, espirituales, culturales y de la defensa nacional, garantizando el equilibrio de los ecosistemas y la continuidad de la vida en la tierra.
Recursos paisajísticos:	Entornos geográficos, tanto superficiales como subterráneos o subacuáticos, de origen natural o antrópico, que ofrecen interés estético o constituyen ambientes característicos.
Reducción en origen	Actividades realizadas para minimizar la cantidad o toxicidad de los residuos generados, mediante la prevención de las emisiones y reutilización de algunas fracciones.
Relleno de seguridad	Relleno sanitario destinado a la disposición final adecuada de los residuos industriales o peligrosos.
Relleno sanitario	Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente, y el control de los gases y lixiviados y la proliferación de vectores, a fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.



Residuo peligroso	Residuo sólido o semisólido que por sus características tóxicas, reactivas, corrosivas, radiactivas, inflamables, explosivas o patógenas plantea un riesgo sustancial real o potencial a la salud humana o al ambiente cuando su manejo se realiza en forma conjunta con los residuos sólidos municipales, con autorización o en forma clandestina.
Residuo sólido combustible	Residuo que arde en presencia de oxígeno por acción de una chispa o de cualquier otra fuente de ignición.
Residuo sólido comercial	Residuo generado en establecimientos comerciales y mercantiles, tales como almacenes, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías y plazas de mercado.
Residuo sólido domiciliario	Residuo que, por su naturaleza, composición, cantidad y volumen, es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento similar.
Residuo sólido especial	Residuo sólido que por su calidad, cantidad, magnitud, volumen o peso puede presentar peligros y, por lo tanto, requiere un manejo especial. Incluye los residuos sólidos de establecimientos de salud, productos químicos y fármacos caducos, alimentos expirados, desechos de establecimientos que usan sustancias peligrosas, lodos, residuos voluminosos o pesados que, con autorización o ilícitamente, son manejados conjuntamente con los residuos sólidos municipales.
Residuo sólido explosivo	Residuo que genera grandes presiones en su descomposición instantánea.
Residuo sólido industrial	Residuo generado en actividades industriales, como resultado de los procesos de producción, mantenimiento de equipos e instalaciones y tratamiento y control de la contaminación.
Residuo sólido inflamable	Residuo que puede arder espontáneamente en condiciones normales.
Residuo sólido institucional	Residuo generado en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, así como en terminales aéreos, terrestres, fluviales o marítimos y edificaciones destinadas a oficinas, entre otras entidades.
Residuo sólido municipal	Residuo sólido o semisólido proveniente de las actividades urbanas en general. Puede tener origen residencial o doméstico, comercial, institucional, de la pequeña industria o del barrido y limpieza de calles, mercados, áreas públicas y otros. Su gestión es responsabilidad de la Municipalidad o de otra autoridad gubernamental. Sinónimo de basura y desecho sólido.
Residuo sólido patógeno	Residuo que, por sus características y composición, puede ser reservorio o vehículo de infección para los seres humanos.
Residuo sólido radiactivo	Residuo que emite radiaciones electromagnéticas en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo.

Residuo sólido tóxico	Residuo que por sus características físicas o químicas, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición, puede causar daño e incluso la muerte a los seres vivos o puede provocar contaminación ambiental.
Residuos	Cualquier material que resulta de un proceso de fabricación, transformación, uso, consumo, limpieza, cuando su propietario lo destina al abandono.
Residuos domésticos	Residuos generados en casa y apartamentos, incluyendo papeles, cartones, latas de comida y bebida, plásticos, residuos de comida, recipientes de vidrio, residuos de jardín.
Residuos sólidos urbanos	Incluyen todos los residuos generados en viviendas, edificios, establecimientos comerciales, instalaciones institucionales, actividades de construcción y demolición, servicios municipales y lugares de plantas de tratamiento.
Residuos sólidos	Cualquier material incluido dentro de un gran rango de materiales sólidos, también algunos líquidos, que se tiran o rechazan por estar gastados, ser inútiles, excesivos o sin valor. Normalmente, no se incluyen residuos sólidos de instalaciones de tratamiento.
Residuos tóxicos peligrosos	Desechos y subproductos de actividades realizadas con productos tóxicos y peligrosos. Los residuales líquidos de un sistema de alcantarillado separativo.
Reutilización	El uso de un material o producto residual más de una vez.
<b>S</b>	
Segregación	Actividad que consiste en recuperar materiales reutilizables o reciclados de los residuos.
Segregador	Persona que se dedica a la segregación de la basura y que recibe diferentes nombres en América Latina: cirujas en la Argentina; buzos en Bolivia, Cuba, Costa Rica y República Dominicana; catadores en el Brasil; cachureros en Chile; basurriegos en Colombia; chamberos en el Ecuador; guajeros en Guatemala; pepenadores en México y El Salvador; segregadores en el Perú hurgadores en el Uruguay.
Separación	Dividir los residuos en grupos de materias similares como productos de papel, vidrio, residuos de comida y metales. La separación se puede realizar manualmente o mecánica con equipos especializados.
Separación en origen	Separación de materiales residuales de otros residuos mezclados en el punto de generación.
Separación manual	Separación de residuos realizada manualmente. Se realiza en la casa u oficina, manteniendo los residuos de comida separados de los papeles de periódico y otros.

Servicio de aseo urbano	El servicio de aseo urbano comprende las siguientes actividades relacionadas con el manejo de los residuos sólidos municipales: almacenamiento, presentación, recolección, transporte, transferencia, tratamiento, disposición sanitaria, barrido y limpieza de vías y áreas públicas, recuperación y reciclaje.
Sistema de recogida	Recogedores y equipamiento utilizado para la recogida de residuos no seleccionados y separados en origen. Los sistemas de recogida pueden clasificarse siguiendo diferentes criterios método de operación, equipamiento utilizado, tipos de residuos recogidos, etc.
Sistema Nacional de Áreas Protegidas	Conjunto de áreas protegidas que ordenadamente relacionadas entre si, interactúan como un sistema territorial que, a partir de la protección y manejo de sus unidades individuales, contribuyen al logro de determinados objetivos de protección del medio ambiente.
Sólidos volátiles	Porción de materia orgánica que puede eliminarse o volatilizarse cuando una materia orgánica se quema en un horno o mufla a una temperatura de 550° C.
<b>T</b>	
Tecnologías alternativas	Llamadas también tecnologías limpias, son aquellas que son diseñadas para obtener mayor rendimiento de los recursos reduciendo los daños al medio ambiente.
Tecnologías limpias	Son aquellas que no sólo ejercen un efecto favorable sobre el medio ambiente, sino que también mejoran la gestión de las empresas que las aplican.
Transformación de residuos	Transformación de materiales residuales que implica un cambio de fase. Los procesos de transformación química y biológica más utilizados son la incineración el compostaje y la digestión anaerobia.
Tratamiento	Proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial, a partir del cual se puede generar un nuevo residuo sólido con características diferentes.
Trófico	Relativo al alimento. Niveles nutricionales en que se organiza la biomasa en los ecosistemas y en su relación forman las llamadas cadenas de alimentación o cadenas de tróficos.
<b>V</b>	
Variable ambiental	Elemento del medio ambiente susceptible de ser medido o evaluado por diferentes métodos cualitativos o cuantitativos.

Vector	Ser vivo que puede transmitir enfermedades infecciosas a los seres humanos o a los animales directa o indirectamente. Entre los vectores más comunes podemos mencionar moscas, mosquitos, roedores y otros animales.
Vertederos controlados:	Depósitos de residuos en los que se garantiza que los líquidos de lixiviación, fundamentalmente, se recogen mediante un sistema para ser tratados posteriormente, por lo que no contaminan significativamente ni el suelo ni las aguas subterráneas o superficiales. Un método de ingeniería para la eliminación de residuos sólidos en la tierra, protegiendo la salud pública y el medio ambiente.
Vertederos	Terreno más o menos próximo a núcleos poblacionales donde se depositan residuales sólidos urbanos e industriales, entre otros, de manera controlada o incontrolada.
Vertimiento	Toda evacuación en el medio ambiente de sustancias, de materiales, de desechos o residuales líquidos, gaseosos o sólidos como resultado de la actividad humana.

## 10 Abreviaturas

C	Carbono
C/N	[Relación] carbono-nitrógeno
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Etano
CDR	Comité de Defensa de la Revolución
CFC	Clorofluorocarbono(s)
cm	Centímetro
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COPs	Contaminantes orgánicos persistentes
CH <sub>4</sub>	Gas metano
ECF	[Papel] libre de cloro elemental
EGSB	<i>Expanded granular sludge bed</i> – [Reactor de] lecho fluidizado
EIA	Evaluación/Evaluaciones de impacto ambiental
EPS	Expanded polystyrene – poliestireno expandido
EST	<i>Environmentally friendly technologies</i> – tecnologías respetuosas del medio ambiente
GEA	Grupo de Gestión Ambiental
GWP	<i>Global warming potential</i> – Potencial global de calentamiento
H <sub>2</sub>	Hidrógeno
h	Hora
H <sub>2</sub> O	Agua
kcal	Kilo caloría
kg	Kilogramo
LARE	Laboratorio de Análisis de Residuos
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
meq	Milliequivalente
min	Minuto(s)
MJ	Mega Joule
mm	Milímetro
MSW	<i>Municipal solid waste</i> – residuos sólidos urbanos
N <sub>2</sub>	Nitrógeno
NaCl	Cloruro de sodio

NIMBY	<i>Not in my back yard</i> = no en mi jardín (nadie lo quiere)
° C	Grados centígrados/Celsius
O&M	Operación y mantenimiento
O <sub>2</sub>	Oxígeno
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PA	Poliamidas
PCI	Poder calorífico inferior
PEAD	Polietileno de alta densidad
PEBD	Polietileno de baja densidad
PET	Polietileno tereftalato
pH	Potencial de hidrógeno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	<i>Polyvinyl chloride</i> – cloruro de polivinilo
RSU	Residuos sólidos urbanos
SECO	Secretaría Estatal de Economía del Gobierno de Suiza
SH <sub>2</sub>	Dihidruro de azufre
SMRSU	Sistema de manejo de los residuos sólidos urbanos
t	Tonelada
TCF	[Papel] totalmente libre de cloro
UASB	<i>Upflow activated sludge bed</i> – [Reactor de] lecho móvil de contracorriente
UGA	Unidad(es) de Gestión Ambiental
USD	Dólares de los Estados Unidos

## 11 Bibliografía

*Agenda 21, Capítulo XXI, “Manejo Ecológicamente Racional de los Desechos Sólidos”.*

*Amigos de la Tierra, 1996.*

*Constitución del 24 de febrero de 1976.*

*Declaración del Milenio, Naciones Unidas, Septiembre 2000.*

*Estrategia Nacional de Educación Ambiental, 1997.*

Gómez Orea, D.: *Evaluación del impacto ambiental, 1994.*

*Ley 33 de “Protección del medio ambiente y del uso racional de los recurso naturales”, 10 de enero de 1981.*

*Ley 81 sobre medio ambiente.*

Peña Turruebla, E.; Carrión Ramírez, M.; Martínez, F.; Rodríguez Nodals, A.; Companioni Concepción, N.: *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana.* UNDP

*Plan de Implementación de la Cumbre sobre Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas, Johannesburgo 2002.*







**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA  
EL DESARROLLO INDUSTRIAL**

Centro Internacional de Viena, Apartado Postal 300, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: (+43 1) 26026-0, Fax: (+43 1) 26926-69  
e-mail: [unido@unido.org](mailto:unido@unido.org). Internet: <http://www.unido.org>