

## ***Agradecimientos***

*Queremos brindar reconocimiento y un agradecimiento especial a las siguientes organizaciones e individuos, los cuales participaron en la revisión de esta guía:*

*Álvaro Cantanhede, CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*

*Cesar Barrientos, ECONSULT, Guatemala*

*Claudia Pamela Altan, FEMICA, Federación de Municipios del Istmo Centroamericano*

*Daniel Ruiz Ortiz, CARE Nicaragua*

*Ivette Morazán, CARE Nicaragua*

*Jaime D. Carranza, INFOM, el Instituto de Fomento Nacional de Guatemala*

*Kathy Gaynor, US-EPA, United States Environmental Protection Agency, RCRA Permitting Section, Florida Department of Environmental Protection, Tallahassee, FL*

*Leandro Sandoval, CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*

*Leyla Zelaya, Coordinadora de Instrumentos de Regulación Directa de PROSIGA, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, CCAD*

*Luis F. Díaz, CalRecovery, California*

*Martha Miyashiro, CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*

*Mercedes de Gómez, Jefa de la Unidad de Desechos Sólidos del Ministerio de Ambiente de El Salvador*

*Pedro José Asturias, INFOM, el Instituto de Fomento Nacional de Guatemala*

*Selma García, CARE El Salvador*

### ***Las fotos de la portada son cortesía de:***

*José Ángel Benítez -Botadero de Puerto El Triunfo, El Salvador, 2001*

*Kathy Gaynor - Construcción del Relleno Sanitario de Usulután, El Salvador, 2001*

### ***Acercas de esta publicación***

*Esta publicación y el trabajo descrito en ella fueron financiados por la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), a través de PROARCA/SIGMA, en apoyo a la agenda de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), en el contexto de CONCAUSA, la declaración Conjunta entre Centroamérica y Estados Unidos (Miami, octubre de 1994) sobre la conservación del ambiente en Centroamérica.*

*Las opiniones e ideas presentadas aquí no son necesariamente respaldadas por USAID, PROARCA/SIGMA, o CCAD, ni representan sus políticas oficiales.*

# Guía para la Gestión del Manejo de Residuos Sólidos Municipales

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: Importancia y urgencia de esta Guía .....</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Impactos del mal manejo de los residuos sólidos .....</i>	1
1.2 <i>Responsabilidades de las municipalidades .....</i>	2
1.3 <i>Propósito de la Guía .....</i>	2
1.4 <i>Situación del manejo de los residuos sólidos en Latino América .....</i>	2
1.5 <i>Situación del manejo de residuos sólidos en Centroamérica.....</i>	3
1.6 <i>Hacia una solución.....</i>	3
<b>CAPÍTULO 2: Introducción al manejo integral de los residuos sólidos.....</b>	<b>5</b>
2.1 <i>El concepto de manejo integral de los residuos sólidos .....</i>	5
2.2 <i>Mejoramiento continuo del manejo de residuos sólidos .....</i>	7
2.3 <i>Implementación del plan de manejo integral de residuos sólidos .....</i>	8
2.3.1 <i>Etapa 1: Planificación.....</i>	10
2.3.2 <i>Etapa 2: Diseño y mejoramiento .....</i>	11
2.3.3 <i>Etapa 3: Construcción .....</i>	11
2.3.4 <i>Etapa 4: Operación y evaluación.....</i>	11
2.4 <i>Herramientas para la implementación del plan de manejo .....</i>	11
2.5 <i>Evaluación del sistema de manejo de residuos sólidos.....</i>	12
<b>CAPÍTULO 3: Aspectos técnicos.....</b>	<b>14</b>
3.1 <i>Planificación .....</i>	14
3.1.1 <i>Diagnóstico.....</i>	14
3.1.2 <i>Selección del sitio de disposición final .....</i>	15
3.1.3 <i>Evaluación del impacto ambiental .....</i>	17
3.2 <i>Sistemas de recolección y recuperación .....</i>	18
3.2.1 <i>Tipos de residuos y las seis “R” .....</i>	18
3.2.2 <i>Sistemas de reciclaje .....</i>	20
3.2.3 <i>Separación .....</i>	21
3.2.4 <i>Residuos peligrosos.....</i>	22
3.2.5 <i>Opciones de servicios y vehículos de recolección .....</i>	24
3.2.6 <i>Centros de transferencia .....</i>	26
3.2.7 <i>Optimización de sistemas de recolección.....</i>	28
3.3 <i>Tratamiento de los residuos .....</i>	29
3.3.1 <i>Compostaje.....</i>	30
3.4 <i>Disposición final.....</i>	31
3.4.1 <i>Rellenos sanitarios manuales.....</i>	32
3.4.2 <i>Rellenos sanitarios mecanizados.....</i>	35
3.4.3 <i>Tratamiento de lixiviados.....</i>	35
3.4.4 <i>Recolección y utilización del biogás .....</i>	36

3.4.5	Clausura de sitios viejos o ilegales.....	36
3.4.6	Costos de planificación, construcción y operación.....	37
<b>CAPÍTULO 4: Aspectos institucionales y legales.....</b>		<b>40</b>
4.1	Opciones de prestación de los servicios.....	41
4.2	Fortalecimiento de las unidades municipales.....	42
4.3	Otros actores importantes.....	42
4.4	Instrumentos legales y económicos.....	43
<b>CAPÍTULO 5: Participación del sector privado.....</b>		<b>45</b>
5.1	¿Para qué involucrar al sector privado?.....	46
5.2	¿Cuándo involucrar al sector privado?.....	46
5.3	¿Cómo involucrar al sector privado?.....	49
<b>CAPÍTULO 6: Participación pública y educación comunitaria.....</b>		<b>54</b>
6.1	Importancia de la participación pública en el manejo de residuos sólidos.....	54
6.2	Participación pública verdadera.....	55
6.3	Participación e implementación.....	56
6.4	Segregadores.....	57
6.5	Educación comunitaria.....	58
<b>CAPÍTULO 7: Aspectos financieros.....</b>		<b>60</b>
7.1	Instrumentos de manejo financiero.....	60
7.2	Opciones de financiamiento para la construcción.....	62
7.3	Opciones de financiamiento para la operación.....	63
7.4	Tarifas.....	64
<b>ANEXOS.....</b>		<b>66</b>
Anexo 1 - Recursos técnicos.....		66
Anexo 2 - Formulario de evaluación del estado de manejo integral de residuos sólidos.....		67
Anexo 3 - Proyectos ejemplares en Centroamérica.....		69
Anexo 4 - Diccionario de términos de residuos sólidos.....		70

## ***Presentación de la Guía y referencia a documentos complementarios***

Dada la diversidad de materiales técnicos sobre el manejo de residuos sólidos, ¿en qué se diferencia esta guía de las otras? Su particularidad reside en que está dirigida a los gerentes municipales de Centroamérica, con un enfoque de gestión. Este no es un manual de diseño para ingenieros; la información técnica que se presenta tiene el propósito de orientar a los que contratarán a los ingenieros. La guía se centra en zonas urbanas con poblaciones entre 5.000 y 100.000 habitantes.

Recomendamos visitar el sitio web del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS, en la siguiente dirección: <http://www.cepis.ops-oms.org/>. Su biblioteca electrónica es un excelente recurso para encontrar información sobre este tema aplicada a la región latinoamericana. Allí podrá encontrar en texto completo los siguientes documentos con una orientación similar al de esta guía:

***Guía para el Manejo de Residuos Sólidos en Ciudades Pequeñas y Zonas Rurales***, OPS/CEPIS, 1997. Serie Técnica No 31.

***Guía para el Diseño, Construcción, Operación y Monitoreo de Rellenos Sanitarios Manuales***, Jorge Jaramillo. OPS/CEPIS, 2002.

Este es la versión actualizada del mismo título desarrollado en 1991, el cual es llamado “la biblia” de los ingenieros para el diseño y operación de rellenos sanitarios manuales en América Latina.

***Indicadores para el gerenciamiento del servicio de limpieza pública***, Fernando Paraguasú de Sa. OPS/CEPIS, 2002.

***Guía para la regulación del servicio de limpieza urbana, colombiano***, Diego Fernández. OPS/CEPIS, 2002.

***Modelos de privatización del manejo de residuos sólidos urbanos***, Edmundo Costa Leite. OPS, 1997. Serie Ambiental, 17.

***Costos de Servicios Prestados - COSEPRE (software y manuales)***, Leandro Sandoval. OPS/CEPIS, 2001.

La guía se puede aplicar en el área centroamericana y el gerente, en cada país, deberá tener en cuenta la normativa nacional sobre el tema. La guía se puede complementar con la información antes mencionada o con otros documentos sobre tópicos específicos. En el primer anexo de la guía presentamos documentos enfocados en el proceso de compostaje, educación comunitaria, diseño de rutas de recolección, y caracterización y composición de los residuos sólidos.



## CAPÍTULO 1: Importancia y urgencia de esta Guía

La situación del manejo de residuos sólidos en Centroamérica, por lo general, se halla en un estado crítico. Los residuos se acumulan en las orillas de las carreteras, en las calles y en las quebradas o se queman a cielo abierto sin control y los equipos de recolección se encuentran en condiciones deplorables. Los sitios de disposición final son inadecuados y las operaciones ineficientes. Además, las municipalidades cuentan con limitados fondos para gerenciar este sector.



La producción diaria de basura por persona y el porcentaje de los residuos no biodegradables

**Botadero Municipal Bocas del Toro, Panamá, 2002**  
*Foto cortesía de Menajem Bessalel*

generados por persona se está incrementando. Esto indica un mejoramiento de la calidad de vida en Centroamérica; sin embargo, este cambio positivo agrava la situación del saneamiento básico y degrada los recursos naturales.

### **1.1 Impactos del mal manejo de los residuos sólidos**

El mal manejo de los residuos sólidos tiene un impacto negativo en la salud de la población, en los ecosistemas y en la calidad de vida. Los impactos directos sobre la salud afectan principalmente a los recolectores y segregadores<sup>1</sup> formales e informales. Estos impactos se agravan cuando los desechos peligrosos no se separan en el punto de origen y se mezclan con los desechos municipales, una práctica común en los países de la región. Algunos impactos indirectos se deben a que los residuos en sí y los estancamientos que causan cuando se acumulan en zanjas y en drenes, se transforman en reservorios de insectos y roedores. Los insectos y roedores son causantes de diversos tipos de enfermedades como el dengue, la leptospirosis, el parasitismo y las infecciones de la piel. Además, la quema de basura a cielo abierto, en el campo y en los botaderos aumenta los factores de riesgo de las enfermedades relacionadas con las vías respiratorias, incluido el cáncer.

*El mal manejo de los residuos sólidos tiene impactos en la salud, el ambiente y la calidad de vida.*

Los impactos al ambiente son la contaminación de los recursos hídricos, del aire, del suelo, de los ecosistemas tropicales diversos de Centroamérica y el deterioro del paisaje. La acumulación de residuos sólidos puede formar una barrera de contención del flujo del agua, lo que causaría inundaciones locales y, como consecuencia, la erosión y la pérdida de suelos fértiles. Además, los residuos acumulados atraen aves de rapiña y otros animales no deseables, y deteriora el valor estético de los hogares y de los paisajes.

---

<sup>1</sup> Personas que trabajan informalmente en el negocio de la separación y venta de componentes de los residuos sólidos. Otros términos para estas personas incluyen: pepenadores, clasificadores, picadores, guajeros, catadores y recicladores.

## **1.2 Responsabilidades de las municipalidades**

El buen manejo de los residuos sólidos es responsabilidad de todos. Sin embargo, por las leyes establecidas en cada país, una vez que los residuos sólidos son descartados por el generador, pasan a ser responsabilidad de los gobiernos locales. La responsabilidad principal de los municipios es de organizar y manejar el sistema de aseo público, incluida la provisión de infraestructura para el servicio de recolección y disposición final de los residuos sólidos. Un alto porcentaje de los presupuestos municipales se dedica al aseo urbano<sup>2</sup>. A pesar de esta responsabilidad, los gerentes municipales responsables suelen carecer de conocimiento sobre los principios y técnicas del manejo de los residuos sólidos, lo que les impide tomar decisiones acertadas para desarrollar mejores sistemas de aseo.

## **1.3 Propósito de la Guía**

El propósito de esta Guía es proveer orientación a los líderes municipales de Centroamérica y a las personas y organizaciones que los asesoran a fin de obtener mejores soluciones para el manejo de los residuos sólidos. Esperamos responder preguntas clave, como:

- ¿Cuáles son las mejores estrategias para involucrar al público en el manejo de los residuos sólidos?
- ¿Dónde y cómo empezar un programa para mejorar el manejo de los residuos sólidos?
- ¿Qué se puede hacer para adquirir los fondos necesarios?
- ¿Cuándo y cuáles son las formas más recomendables de involucrar al sector privado?

## **1.4 Situación del manejo de los residuos sólidos en Latino América**

Según el “*Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*”, realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en 1994-1998<sup>3</sup>, las debilidades principales de la gerencia de los residuos sólidos se pueden agrupar en cuatro categorías: 1) institucionales y legales, 2) técnicas y operativas, 3) económicas y financieras, y 4) sociales y comunitarias.

Dentro del área institucional y legal, la falta de reconocimiento como sector formal de residuos sólidos y la falta de prioridad del sector son problemas

---

<sup>2</sup> Díaz, L.F., G. M. Savage, L.L. Eggerth and C. G. Golueke. Solid Waste Management in Economically Developing Countries. ISWA, Denmark, 1996.

<sup>3</sup> Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. 2ª. Edición. BID y OPS, 1998.

clave. No hay políticas para reducir la generación de residuos y faltan recursos humanos capacitados y calificados en todos los niveles del sector.

En el área técnica y operativa, los residuos especiales y peligrosos generalmente se mezclan con los residuos sólidos municipales. La cobertura de recolección es reducida en las ciudades intermedias y menores, así como en los asentamientos marginales urbanos. Existen altos niveles de quema de los residuos sólidos dentro y fuera de los botaderos.

En el área económica y financiera, la mayoría de los gobiernos no han cuantificado los costos y posibles valores de los residuos y particularmente los municipios medianos y pequeños tienen dificultades para acceder a los créditos. Los ingresos son bajos porque las tasas y las tarifas no existen o son mínimas.

En el área social y comunitaria, la participación comunitaria es muy reducida, lo que trae como consecuencia una actitud negativa respecto al pago por el servicio. Otro problema social no resuelto es la presencia de segregadores como resultado de la desocupación elevada y la extrema pobreza.

### **1.5 Situación del manejo de residuos sólidos en Centroamérica**

El diagnóstico de la situación de Latinoamérica refleja los problemas que también ocurren en Centroamérica. Sin embargo, existen municipalidades que han resuelto la mayoría de estos problemas y se han establecido algunos modelos de procesos y pasos hacia la sostenibilidad que se pueden replicar, por ejemplo:

- mayor participación del sector privado (Villa Nueva, Guatemala) para aumentar la eficiencia;
- cobro por el servicio de aseo con una tasa de impuestos general (Quetzaltenango, Guatemala) o junto con el agua (Esquipulas, Guatemala) o la electricidad (San Salvador, El Salvador) para reducir la morosidad; conjunto de mecanismos legales para el corte de los servicios de agua o electricidad si no se paga el servicio de aseo;
- organización y capacitación de cooperativas y microempresas de segregadores (Barrio Alameda del Norte, Guatemala, Guatemala), (Colonia Zacamil, Mejicanos, San Salvador) para mitigar el problema social de los segregadores.

### **1.6 Hacia una solución**

En Centroamérica se está despertando la conciencia con respecto al ambiente y al mejor manejo de los residuos sólidos. Las comunidades están exigiendo que las autoridades municipales mejoren el manejo de los residuos sólidos y los actores clave están ofreciendo su colaboración. Ahora es el momento de ofrecer un liderazgo capacitado para mejorar la situación de la gerencia de los residuos sólidos. No es necesario esperar que los organismos externos

*La falta de prioridad del manejo de los residuos sólidos y la falta de reconocimiento como sector formal son problemas clave.*

realicen el diseño y financiamiento de un proyecto civil de alto costo. Se puede llevar a cabo un mejoramiento continuo si se considera:

- el desarrollo e implementación (o actualización) de un plan de acción con participación de la comunidad y de actores clave de varios sectores y partidos políticos;
- el mejoramiento del sistema de manejo de residuos sólidos existente, incluidos la cobertura y calidad de servicio de recolección, el manejo controlado del sitio de disposición, el fortalecimiento institucional, el manejo financiero y cobro de tarifas, y
- la planificación y gerencia de recursos para inversiones necesarias para la adquisición de terrenos y la construcción de un relleno sanitario. Es importante considerar las ventajas de las soluciones regionales y no las de cada comunidad individualmente.

Esta guía presenta los elementos que se deben considerar en cada etapa y también incluye información técnica para apoyar la toma de decisiones de cada etapa.

*El mejoramiento del manejo de residuos sólidos debe empezar con un plan de acción que incluya el mejoramiento del sistema existente y una planificación con visión de futuro.*

## **CAPÍTULO 2: Introducción al manejo integral de los residuos sólidos**

### ***2.1 El concepto de manejo integral de los residuos sólidos***

Los residuos sólidos son productos de la relación del hombre con su medio, por lo que su mejor definición es: “Todo material descartado por la actividad humana, que no teniendo utilidad inmediata se transforma en indeseable”<sup>4</sup>. En esta guía se utiliza el término *residuos sólidos* para hacer referencia al material que tiene valor potencial de ser reutilizado o procesado. Sin embargo, el término *desechos sólidos* se utiliza en el nivel profesional y legal de diferentes países para referir lo mismo.

*Residuo sólido: “Todo material descartado por la actividad humana, que no teniendo utilidad inmediata se transforma en indeseable”.<sup>4</sup>*

El desecho sólido no-reutilizable es una concepción humana. Los sistemas ecológicos, en cambio, son sistemas dinámicos en los cuales todos los elementos residuales de cualquier organismo son reciclados o reincorporados constantemente. El balance ecológico se mantiene de forma compleja, todos sus elementos son interdependientes y todos los organismos tienen crecimiento limitado. Debemos buscar formas de reducir y reutilizar los desechos que generamos y de conocer y respetar los principios del balance ecológico.

El manejo integral de residuos sólidos se define como la aplicación de técnicas, tecnologías y programas para lograr objetivos y metas óptimas para una localidad en particular. Esta definición implica que primero hay que definir una visión que considere los factores propios de cada localidad para asegurar su sostenibilidad y beneficios. Después, se debe establecer e implementar un programa de manejo para lograr esta visión. Este programa debe optimizar, en lo posible, los siguientes aspectos:

*Un sistema de manejo integral de residuos sólidos debería optimizar los aspectos técnicos, organizativos y económicos, y optimizar los impactos sociales, en la salud, y en el ambiente.*

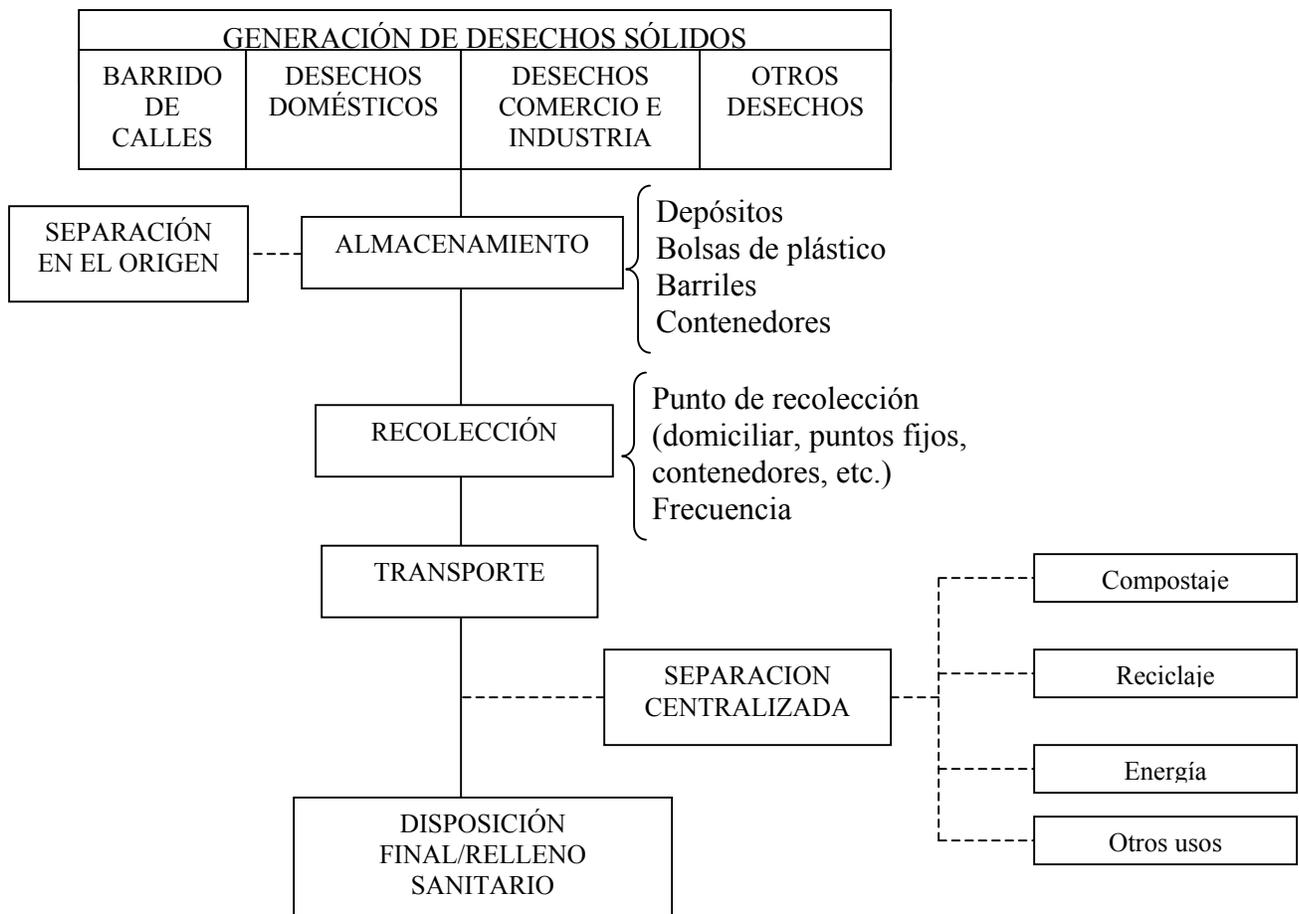
- Aspectos técnicos: La tecnología debe ser de fácil implementación, operación y mantenimiento; debe usar recursos humanos y materiales de la zona y comprender todas las fases, desde la producción hasta la disposición final.
- Aspectos sociales: Se debe fomentar hábitos positivos en la población y desalentar los negativos; se promoverá la participación y la organización de la comunidad.
- Aspectos económicos: El costo de implementación, operación, mantenimiento y administración debe ser eficiente, al alcance de los recursos de la población y económicamente sostenible, con ingresos que cubran el costo del servicio.

---

<sup>4</sup> Tchobanoglous, George, Hilary Theisen, & Samuel A. Vigil. Integrated solid waste management. McGraw Hill, 1993.

- Aspectos organizativos: La administración y gestión del servicio debe ser simple y dinámico.
- Aspectos de salud: El programa deber pertenecer o fomentar un programa mayor de prevención de enfermedades infecto-contagiosas.
- Aspectos ambientales: El programa debe evitar impactos ambientales negativos en el suelo, agua y aire.

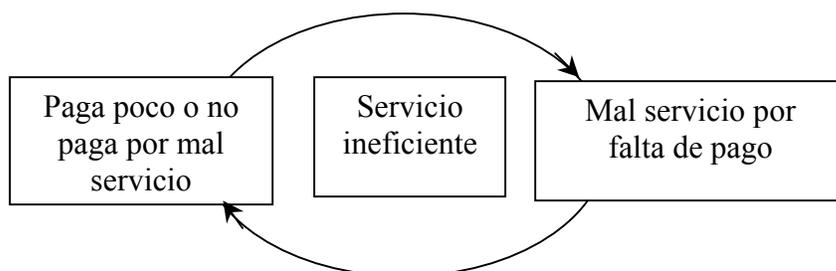
Para ofrecer una solución integral al problema de manejo de residuos sólidos, las alternativas deben incluir los elementos imprescindibles, es decir, aquellos que no pueden faltar en el sistema, como son la recolección, el transporte y la disposición final, complementados por estaciones de transferencia, almacenamiento temporal, separación centralizada o en el punto de origen y compostaje por la comunidad o municipio. A continuación se describen los elementos físicos que componen un sistema de gestión de residuos sólidos y sus interrelaciones. Para mayor ilustración se presenta la figura 1.



**Figura 1. Elementos físicos del sistema de manejo de residuos sólidos**

## 2.2 *Mejoramiento continuo del manejo de residuos sólidos*

Por lo general, los municipios en la región centroamericana, al igual que en otras regiones en vías de desarrollo, han operado sistemas de aseo con poca planificación, lo cual se refleja en sus bajos niveles de recaudación, de eficiencia, de calidad y de cobertura. Por consiguiente, tienen una ciudadanía inconforme y poco sensibilizada con respecto al servicio público de aseo. Esta situación crea un círculo vicioso. La ciudadanía no está dispuesta a pagar por un servicio ineficiente y las municipalidades no pueden brindar un servicio eficiente sin recursos económicos.



**Figura 2. Círculo vicioso del manejo de residuos sólidos**

Este círculo vicioso puede romperse mediante la implementación de planes de manejo integral, con mejoramiento continuo del sistema de manejo de residuos sólidos. El mejoramiento del manejo de los residuos debe estar basado en realidades locales y debe estar concebido como un proceso de mejoramiento continuo a partir del estado actual hacia un estado ideal. Las metas a lograr deben estar enmarcadas en un plan de corto, mediano y largo plazo y se priorizarán las mejoras según un análisis de costo-beneficio. Los elementos que indican el estado del manejo de los residuos sólidos se presentan en el cuadro 1.

El anexo B de esta guía contiene un formulario con el cual se puede realizar una autoevaluación del estado del manejo de los residuos sólidos de una municipalidad, con una escala de 0 a 100. Esta evaluación puede utilizarse antes de realizar un plan de mejoramiento y se puede aplicar periódicamente para medir el progreso. Otros indicadores del nivel de eficiencia del sistema que se pueden utilizar incluyen:

- costo por kilogramo recolectado (minimizar)
- kilogramo por persona o casa generado (minimizar)
- kilogramo por persona o casa reciclado o recuperado (maximizar)
- personas servidas/toneladas recolectadas por trabajador (maximizar)
- satisfacción de la comunidad (número de quejas/encuestas).
- personas servidas o toneladas recolectadas por camión (maximizar).

*El círculo vicioso del mal servicio y alta morosidad se puede romper mediante la implementación de planes de manejo integral, con mejoramiento continuo.*

**Cuadro 1. Esquema del mejoramiento continuo en el manejo de los residuos sólidos**

<i>Situación inadecuada</i>	<i>Aspecto</i>	<i>Situación ideal</i>	<i>Responsables</i>
Se desconocen los datos de catastro, cartografía urbana y de las características y generación de residuos.	Conocimiento del sistema ====>	Los datos de los últimos dos años han sido actualizados.	Encargado del catastro y encargado del aseo
No hay un plan maestro ni plan de acción.	Planificación ====>	Plan de acción en implementación.	Consejo municipal
Uso ineficiente del personal, personal sin capacitación y falta de reglamentación.	Administrativo y legal ====>	Alto nivel de eficiencia y capacitación del personal. Reglamentación adecuada.	Encargado del aseo
Bajos niveles de cobertura, de eficiencia y de seguridad del personal.	Recolección y transferencia ====>	Alto nivel de eficiencia del servicio y seguridad del personal.	Gerencia
No existe un estudio ni programa de reciclaje.	Reciclaje ====>	El programa de reciclaje diseñado para la localidad está funcionando bien.	Gerencia
Residuos en las calles, en sitios ilegales, inapropiados y mal manejados.	Disposición final ====>	Todos los residuos se llevan a un relleno sanitario, bien manejado.	Encargado del aseo
Alta morosidad, poca preocupación y no existen tarifas.	Participación y apoyo público ====>	Participación activa. Alta tasa de pago de tarifas.	Consejo Municipal

### **2.3 Implementación del plan de manejo integral de residuos sólidos**

El plan de manejo integral de residuos sólidos debe incluir una serie de etapas: la planificación, el diseño, la construcción, la operación y la evaluación, los que representan un ciclo que debe repetirse de forma periódica para que exista una revisión y ajuste constante del sistema. Cada etapa deberá contemplar los aspectos técnicos, institucionales, administrativos, legales, de participación del sector privado, de participación pública, y financieros del manejo de residuos sólidos.

En el cuadro 2 se presentan los elementos de un programa de manejo integral de residuos sólidos, con ejemplos de tiempos de ejecución para los diferentes componentes del programa. La voluntad política de las autoridades municipales y de los habitantes es un requerimiento básico para implementar el programa de manejo de residuos sólidos. Ambos deben considerar el proyecto de residuos sólidos como suyo y entender sus beneficios.

*Nadie quiere crear elefantes blancos*

*Dos factores importantes para la sostenibilidad de un servicio de aseo son la recaudación efectiva de las tasas y la participación social.*

**Cuadro 2. Esquema del manejo integral de los residuos sólidos**

ASPECTOS	ETAPAS													
	Planificación				Diseño				Construcción				Operación y evaluación	
Meses														
<u>Técnico</u>														
- diagnóstico	■													
- estudio de mercado, materiales reciclables	■													
- análisis de opciones para el diseño	■													
- análisis y selección de sitio para la disposición final	■	■	■	■										
- diseño de rutas y equipos para recolección		■												
- diseño preliminar del relleno sanitario			■	■	■									
- diseño de centros de transferencia			■	■	■									
- cálculo de costos de capital y de operación		■					■							
- realización del estudio de impacto ambiental o formulario ambiental						■	■							
- diseño final del relleno sanitario						■	■	■						
- construcción de centros de transferencia									■					
- construcción del relleno sanitario									■	■	■	■		
- cierre de botaderos o rellenos viejos o ilegales				■		■						■	■	→
- operación, monitoreo y control												■	■	→
<u>Participación pública</u>														
- programa de participación pública		■	■	■	■	■		■		■			■	→
- estudio participativo, rol de los segregadores		■											■	→
- programa de educación comunitaria			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	→
<u>Financiero</u>														
- optimización de manejo financiero		■												→
- implementación de tarifas			■					■						
- compra de equipos necesarios		■												
- compra de terreno						■					■			
- gestión de recursos para la construcción					■		■	■	■					
<u>Administrativo y legal</u>														
- actualizar registro de usuarios o catastro	■													
- estudio de eficiencia de los recursos humanos	■													
- definición del tipo de servicio y administración	■	■												
- optimización del uso de personal			■											
- revisión de ordenanzas	■	■												
- capacitación del personal				■						■				
- actualización, ordenanzas de aseo y tarifas			■											
- escritura del terreno					■									
- obtención del permiso ambiental					■	■	■							
- administración del relleno												■	■	→

El camino hacia la solución del problema es una vía con múltiples opciones que se debe analizar con la participación de los actores clave de la comunidad. Finalmente, la selección e implementación de la mejor alternativa, incluido su sistema administrativo, será responsabilidad de las autoridades municipales. A continuación, se describen los elementos que se deben considerar en cada etapa del manejo, mientras que los detalles de las opciones se discuten en los siguientes capítulos.

*Ningún problema que involucre la participación de toda la población se resuelve de la noche a la mañana.*

### 2.3.1 Etapa 1: Planificación

El manejo integral de los residuos sólidos requiere un proceso con alto nivel de participación de la ciudadanía, planificación y tiempo. La duración de esta etapa se estima entre 6 a 12 meses y podría incluir los siguientes componentes:

*La planificación del programa integral y la adecuación del sitio de disposición final se pueden realizar mientras se implementan mejoras en los sistemas de administración, manejo financiero, recolección y*

- Diagnóstico. La duración necesaria para hacer un diagnóstico de las condiciones existentes se estima en un mes. Es importante destacar que el diagnóstico debe considerar las condiciones demográficas y cartográficas urbanas del municipio y datos de generación, composición y densidad volumétrica de los residuos sólidos. Además, es necesario obtener datos de los niveles de recolección, reciclaje, transferencia y disposición.
- Inicio del programa de participación pública.
- Establecimiento del plan de acción. Se preparan planes y se establecen prioridades, pasos y responsabilidades para mejorar el manejo técnico, institucional, legal, económico, social, ambiental y administrativo.
- Análisis de alternativas para los sitios de disposición final. El paso más crítico y potencialmente conflictivo en la planificación e implementación de un programa de manejo integral de los residuos sólidos es la ubicación y compra del sitio de disposición final. La alternativa ideal debe ser aceptable en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales.
- Evaluación del marco institucional.
- Estudio de mercado de materiales reciclables y de compost.
- Mejoras en los sistemas de administración y manejo financiero.
- Clausura de sitios de disposición final ilegales.
- Mejoras en el manejo del sitio de disposición final.
- Establecimiento de mecanismos de recaudación. Se debe promover que el sistema pase de ser un servicio al crédito a un servicio al contado: “mes servido mes pagado”.
- Actualización del registro de usuarios o catastro.

### **2.3.2 Etapa 2: Diseño y mejoramiento**

Esta fase podría incluir los siguientes elementos:

- Continuación del programa de participación pública.
- Análisis de alternativas para el diseño del sistema de aseo público.
- Inicio del programa de educación comunitaria.
- Selección del sitio de disposición final.
- Priorización e inicio del cierre de sitios ilegales de disposición.
- Gestión para la compra del terreno para el sitio de disposición final.
- Diseño final.
- Análisis y diseño de rutas de recolección.
- Establecimiento de nuevas tarifas.
- Establecimiento de nueva ordenanza.
- Finalización del estudio de impacto ambiental y su gerencia.

### **2.3.3 Etapa 3: Construcción**

Esta fase podría incluir los siguientes elementos:

- Continuación del programa de participación pública.
- Continuación del programa de educación comunitaria.
- Establecimiento de nuevos arreglos institucionales.
- Compra de nuevos equipos de recolección.
- Construcción de la primera fase del sitio de disposición final y del camino de acceso.
- Establecimiento de centros de transferencia y de acopio de materiales.

### **2.3.4 Etapa 4: Operación y evaluación**

Esta fase podría incluir los siguientes elementos:

- Clausura del anterior sitio de disposición final.
- Continuación del programa de participación pública.
- Continuación del programa de educación comunitaria.
- Establecimiento del programa de reciclaje, con apoyo a las microempresas.
- Evaluaciones periódicas del funcionamiento del sistema, incluido el monitoreo ambiental.

## **2.4 *Herramientas para la implementación del plan de manejo***

Para la implementación del plan de manejo de residuos sólidos, las municipalidades cuentan con las siguientes herramientas:

- **Sistema administrativo:** Sin una eficiente administración, el sistema no funcionará de la forma prevista. En algunos casos, será necesario reestructurar todo el sistema administrativo, elaborar manuales de funciones, perfiles del personal, etc. Además, la municipalidad puede optar por un sistema de administración propio, privado o mixto, según la alternativa elegida (véase el capítulo 4).
- **Partidas presupuestarias:** Se deberán modificar o crear dentro del presupuesto anual de la municipalidad partidas que incluyan los ingresos y los costos del sistema, de tal manera que el sistema disponga de fondos propios para cubrir sus necesidades (véase el capítulo 7).
- **Sistema de cobro:** Posiblemente se necesite modificar el sistema de cobro, tanto la forma de cobrar como el sistema contable, a fin de lograr la máxima cobertura de recaudación para que el sistema sea auto-sostenible (véase el capítulo 7).

## 2.5 Evaluación del sistema de manejo de residuos sólidos

El mejoramiento continuo de la gestión del manejo de residuos sólidos incluye aspectos administrativos, técnicos y financieros. Una herramienta que se puede utilizar para evaluar el progreso de la gestión es el formulario del anexo B. Además, en el cuadro 3 se encuentran algunos indicadores de eficiencia con los cuales se puede evaluar también el manejo.

**Cuadro 3. Indicadores de eficiencia en el manejo de residuos sólidos<sup>5</sup>**

<i>Indicador</i>	<i>Unidad</i>	<i>Rango típico</i>
Barrenderos	Barrenderos/1.000 habitantes	0,4 a 0,8
Barrido de calles, manual	km/barrendero/día	1 a 2 (2 cunetas)
Barrido de calles, mecánico	\$/km	\$ 0,25 a 0,50
Rendimiento de barrido	kg/km	30 a 90
Recolección	Habitantes/operador	4.000 – 10.000
Costo de recolección	\$/tonelada	\$ 15 a 40
Costo de disposición en relleno sanitario	\$/tonelada	\$ 7 a 12
Costo total de recolección y disposición (sin barrido)	\$/tonelada	\$ 24 - 70

Nota: todos los valores están en dólares de Estados Unidos.

<sup>5</sup> Guido Acurio, Antonio Rossin, Paulo Fernando Teixeira, Francisco Zepeda. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe. BID y OPS, 1998.

La gestión del manejo de los residuos sólidos tiene la virtud de involucrar a todos los sectores y de buscar diferentes modalidades de prestación del servicio. Sin embargo, esta misma virtud la convierte en una gestión compleja que debe ser planificada en diferentes etapas con metas de corto, mediano y largo plazo. Se trata de un proceso de participación social que busca resolver un problema de salud pública y contribuir a la gestión ambiental del municipio, el país y el planeta en general.

## CAPÍTULO 3: Aspectos técnicos

El propósito de este capítulo es proporcionar información sobre los elementos que se deben considerar en las etapas de gestión de residuos sólidos a fin de que los líderes municipales puedan manejar los conceptos técnicos básicos de un sistema de manejo integral de residuos sólidos. Este capítulo se divide en las siguientes cuatro secciones:

- Planificación
- Sistemas de recolección y recuperación
- Disposición final
- Costos de la planificación, construcción y operación.

### 3.1 Planificación

Hay tres elementos técnicos importantes en la etapa de planificación y diseño: el diagnóstico de la situación actual, la selección del sitio de disposición final, y el estudio de impacto ambiental. A continuación se describen las consideraciones importantes para cada uno de estos elementos.

#### 3.1.1 Diagnóstico

La planificación del sistema de residuos sólidos nace de la necesidad de reestructurar el servicio existente o modelo tradicional de ofrecer el servicio. Como primer paso se requiere conocer el estado actual del mismo, a través de un diagnóstico de las condiciones actuales. El diagnóstico debe de incluir: encuestas; caracterización del área de estudio; proyecciones demográficas; generación de los residuos; caracterización de los residuos; cobertura del servicio; estado de los equipos de recolección, barrido y disposición final; características de los recursos humanos; mercados disponibles para los materiales reciclables; y aspectos institucionales, gerenciales, financieros (incluido el costo actual del servicio y los ingresos) y administrativos.

La caracterización de los residuos es importante para planificar ampliaciones y mejoras de los servicios y programas de reciclaje. En los países de Centroamérica, frecuentemente los municipios generan un promedio de 40 a 70% de materia orgánica; el resto de materia inorgánica, con un promedio de 0,3 a 1,4 kg/hab/día, tiene 25 a 50% de residuos de origen comercial e industrial<sup>6</sup>.

*Antes de decidir qué materiales se van a reciclar es importante realizar un estudio de mercado.*

---

<sup>6</sup> Guido Acurio, Antonio Rossin, Paulo Fernando Teixeira, Francisco Zepeda. Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. BID y OPS, 1998.

El mercado para los materiales recuperados es importantísimo. Antes de decidir qué tipo de material se va a recuperar del flujo de residuos sólidos, se debe estudiar la demanda de los diferentes materiales a fin de asegurar que los materiales recuperados tengan un mercado inmediato. En caso contrario se estaría invirtiendo recursos (tiempo, dinero y espacio para almacenamiento) en una actividad que posiblemente no produzca beneficios.

En Centroamérica existen mercados para el aluminio, la chatarra, el papel, el plástico y el vidrio. Los precios de estos materiales varían, así como el costo de recuperación y transporte a los sitios de los compradores. También es importante determinar el impacto en el ambiente ocasionado por el proceso de recuperación y reciclaje.

Las encuestas son instrumentos que las municipalidades pueden usar para evaluar, diagnosticar y hacer proyecciones para el manejo de los residuos sólidos. Las encuestas pueden determinar tanto una tendencia de disposición de los residuos sólidos con el propósito de definir el método de recolección, como la voluntad de pagar por los servicios del manejo integral de los residuos sólidos. Generalmente, en el sector de residuos sólidos, las encuestas son conducidas para obtener datos de generación y disposición en las residencias, comercios, industrias y centros de salud.

### 3.1.2 Selección del sitio de disposición final

El municipio debe tener un sitio adecuado para la disposición final de aquellos residuos que al momento de la disposición no tienen valor económico. Este sitio debe ser evaluado técnicamente y ser el resultado de un análisis de alternativas que llene las condiciones y requisitos ambientales para no alterar el ecosistema y especialmente para no contaminar los cuerpos de agua. Cada sitio de disposición final tiene una vida útil, idealmente de 20 a 30 años.

*La Comisión Nacional de Desechos Sólidos de Nicaragua, conformado por MINSA, MARENA e INIFOM, en 2002, detuvo un proyecto de relleno sanitario, a pesar de que la municipalidad había comprado un sitio para el relleno y obtenido financiamiento para su construcción, porque no estaba de acuerdo con el sitio escogido; probablemente esta municipalidad tendría un relleno si hubiese involucrado a la Comisión en el proceso de evaluación de sitios.*

Si el sitio de disposición final de la municipalidad no es apropiado o si se estima que se llegará a su capacidad total dentro de los próximos cinco años, es importante iniciar el largo y políticamente sensible proceso de selección del sitio, aprobación y construcción de un relleno sanitario. El primer paso es la investigación, evaluación e identificación de un mínimo de tres sitios alternativos para el desarrollo del relleno sanitario que sean:

- técnica, económica y ambientalmente factibles
- socialmente y políticamente aceptables

- de fácil adquisición dentro del tiempo requerido para la implementación del proyecto propuesto.

El proceso de selección de sitio debe ser participativo para que la oposición pública al sitio finalmente recomendado sea mínima. También debe ser desarrollado según las leyes de cada país e idealmente en cooperación con el Ministerio del Ambiente u otro ente responsable de aprobar los sitios para rellenos sanitarios en el país.

Para la identificación de los tres sitios alternativos se proponen las siguientes actividades:

**a) Eliminación de las áreas potencialmente no aptas para sitios de disposición final de desechos sólidos.**

Como primer paso en la selección de sitios deben descartarse los sitios que reúnan las características que se describen a continuación:

- Humedales;
- suelos inestables, por ejemplo, zonas susceptibles a deslizamientos;
- áreas con fallas, zonas de impacto sísmico y terrenos inundables, aun con un período de frecuencia de cien años o las zonas cercanas a los aeropuertos;
- sitios cercanos a fuentes de abastecimiento de agua y áreas de recarga de aguas subterráneas, y
- zonas con hábitat de especies en extinción, corredores de vida silvestre, y sitios históricos o arqueológicos.

Para esta actividad se tomarán en cuenta mapas topográficos; estudios de suelos; datos climáticos, meteorológicos y eólicos; mapas de infraestructura de saneamiento y drenaje; mapas de ubicación de las fuentes de abastecimiento de agua; mapas de la infraestructura vial; registros de propiedad de la tierra y valor de la misma.

**b) Evaluación de los sitios potenciales**

En la preselección, los criterios se analizarán para cada sitio bajo consideración. Se establecerá una escala relativa de valores numéricos para denotar la potencialidad equivalente de cada sitio con respecto a cada factor. Generalmente se utiliza una escala numérica en donde se califica cada factor de campo; la suma de todos los factores representa la ponderación total del sitio en una escala de 0 a 100. Cada factor es analizado independientemente. A cada factor se le asigna un peso relativo de acuerdo con el juicio profesional del equipo evaluador que realiza el análisis.

Los factores analizados se presentan en el siguiente cuadro, con las normas establecidas en Nicaragua como punto de referencia.

**Cuadro 4. Criterios para la localización de sitios para relleno sanitario**

<i>Aspecto</i>	<i>Norma Nicaragua, INIFOM 2002</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Distancia perimetral de la ciudad</li> <li>● Periodo de traslado al centro de la ciudad</li> <li>● Crecimiento de la ciudad</li> <li>● Proximidad a servicios de abastecimiento de agua potable.</li> <li>● Nivel freático</li> <li>● Ubicación con respecto a los vientos</li> <li>● Tipo de suelo</li> <li>● Vocación del suelo</li> <li>● Tipo de material de cobertura disponible</li> <li>● Distancia al banco de cobertura</li> <li>● Vida útil</li> <li>● Grado de la pendiente y estado de las vías de acceso</li> <li>● Restricciones de las vías de comunicación</li> <li>● Proximidad a sitios de valor histórico, cultural y arqueológico</li> <li>● Potencial para impedir la vista a paisajes</li> <li>● Proximidad a asentamientos poblacionales</li> <li>● Proximidad a usos de terrenos incompatibles, como escuelas, iglesias, aeropuertos, etc.</li> <li>● Facilidad de adquisición del sitio</li> <li>● Proximidad a hábitats críticos y disturbios a santuarios de especies en extinción</li> <li>● Dirección del agua subterránea</li> <li>● Características topográficas del sitio</li> </ul>	<p>&gt; 1000 metros</p> <p>&lt; 30 minutos</p> <p>dirección contrario al sitio</p> <p>&gt; 800 metros horizontal,</p> <p>&gt; 5 metros</p> <p>sotavento de la ciudad</p> <p>arcilloso</p> <p>poco fértil</p> <p>arcilloso</p> <p>&lt; 500 metros</p> <p>&gt; 10 años</p> <p>&lt; 10°, buen estado</p>

Otros sitios que se deben considerar son los terrenos para la construcción de los centros de transferencia y de tratamiento.

### 3.1.3 Evaluación del impacto ambiental

Durante la etapa de análisis de opciones para obras de infraestructura es importante considerar sus impactos potenciales al ambiente y a la calidad de vida. Es importante considerar todo el sistema de manejo de residuos sólidos, incluidos los sitios de transferencia, separación, tratamiento y disposición final. Estos sitios deben cumplir los requerimientos de cada país. Por ejemplo, es necesario verificar que un relleno sanitario no afectará los mantos acuíferos y que un centro de transferencia o separación no contamine el aire ni los cuerpos de agua superficial.

Esta evaluación no es solo un instrumento para el trámite de aprobación de la infraestructura, sino que forma parte del ciclo del proyecto. Las consideraciones ambientales documentadas en esta evaluación incluyen un plan para monitorear los impactos al ambiente, la frecuencia del monitoreo y responsabilidades. Los estudios de impacto ambiental deberán cumplir los requerimientos que se tengan para cada país de Centroamérica.

### 3.2 *Sistemas de recolección y recuperación*

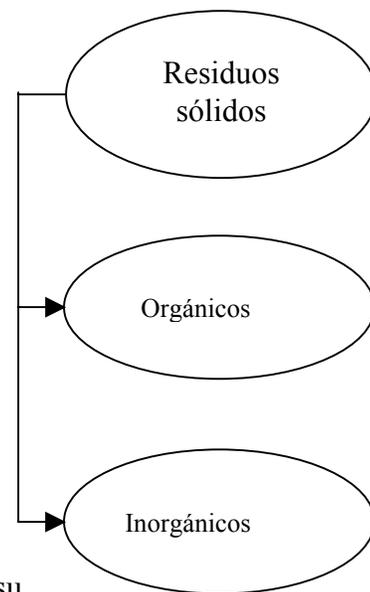
Mientras los centros urbanos crecen y mejora la calidad de vida, los individuos utilizan productos más contaminantes e incrementan la generación de residuos sólidos. Debido a esto, los sistemas de recolección se hacen más complejos. En América Latina, la recolección representa un alto porcentaje del costo de los sistemas de manejo de residuos sólidos; una pequeña mejora en la fase de recolección puede reducir considerablemente los costos del manejo de los residuos sólidos.

El término recolección incluye no sólo el almacenamiento de los residuos sólidos en sus varias fuentes de generación, sino también el transporte de esos residuos hasta el sitio de disposición final. La lucha por manejar mejor los residuos en el mundo ha generado algunas iniciativas que parten del concepto de que los residuos no son desechos y que si los separamos podemos obtener mejores resultados en su manejo. A continuación se describen los tipos de residuos y las opciones de manejarlos en forma diferente.

#### 3.2.1 Tipos de residuos y las seis “R”

Los residuos se dividen en dos grandes grupos:

Orgánicos	<u>Descomposición rápida:</u> restos de alimentos, papel, corta de césped, poda de árboles, etc. <u>Descomposición lenta:</u> textiles, cueros, etc.
Inorgánicos	Todos los elementos que no se degradan biológicamente (vidrio, aluminio, chatarra y latas).



Los residuos una vez separados pueden tomar diferentes rutas para su tratamiento. Los residuos orgánicos pueden convertirse, por transformación biológica, en compost para ser utilizado como un mejorador de suelos.

Los materiales inorgánicos pueden optar por varias rutas, conocidas como la práctica de las R, en algunas ocasiones se menciona que son tres y en otras ocasiones se agregan más. En este manual se definen seis R:

- Rechazados
- Reducidos
- Reparados
- Reusados
- Reutilizados
- Reciclados

El *rechazo* es una práctica por medio de la cual el consumidor evita comprar productos con empaques contaminantes, como es el caso de los envases no retornables o que representen riesgos a la salud y al ambiente, como los aerosoles.

Otra R se aplica cuando se evita consumir productos con empaques innecesarios, cuando se utiliza una sola bolsa resistente en lugar de varias bolsas plásticas para realizar las compras. La práctica de la *reducción*, también conocida como minimización, es más efectiva cuando se adopta como política de gobierno y se prohíbe la introducción o fabricación de envases no retornables o la reglamentación de los embalajes y envasados de productos.

En nuestras sociedades centroamericanas, en el interior de cada país, la *reparación* es una opción bastante utilizada, pues los muebles y electrodomésticos se utilizan más allá de su vida útil.

El *reúso* se aplica cuando se usa un elemento para el mismo fin con que fue concebido, más allá de su vida útil, por ejemplo, reusar papel en las oficinas o escuelas, rellenar los cartuchos de tinta en lugar de desecharlos, etc.

También se practica la *reutilización* cuando se utiliza un elemento para un uso distinto del que fue concebido, por ejemplo, los envases de plástico y vidrio utilizados como macetas, como recipientes para almacenar agua y granos básicos, como flotadores para las redes de pesca, etc. Este concepto muchas veces se incluye como reúso.

En Centroamérica, el *reciclaje* es quizás el más difícil de aplicar, pues requiere la transformación completa del elemento. Para el papel, cartón, vidrio y metales, que son los principales componentes de los residuos, es necesario contar con una industria que utilice estos elementos como materia prima.

Una interesante combinación de reciclaje y reutilización se manifiesta en los productos artesanales hechos con materiales desechados, a los cuales se les adicionan elementos como pintura, clavos, remaches y cuero, que convierten el producto en un elemento nuevo para un uso diferente.

### 3.2.2 Sistemas de reciclaje

La experiencia en Centroamérica con sistemas de reciclaje y compostaje ha permitido aprender muchas lecciones. Es importante que cada municipalidad considere sus condiciones y establezca las metas de su sistema de reciclaje. Se recomienda hacer un estudio de los costos y beneficios del sistema propuesto y empezar en pequeña escala, con proyectos pilotos para comprobar el costo del sistema y el valor de los materiales recuperados, antes de hacer mayores inversiones o aprobar ordenanzas municipales sobre el reciclaje.

*El análisis para decidir los materiales recuperables deberá valorizar el espacio que se ahorra en el relleno sanitario.*

El análisis de costo-beneficio de la recuperación de materiales deberá valorizar el costo que se ahorra al evitarse la disposición final de estos materiales. Además, se pueden estimar otros beneficios ambientales del proceso de reciclaje, como la reducción de la extracción de materia prima y la consecuente disminución de impactos negativos al ambiente al bajar la extracción. El análisis de beneficios debe comprender la situación del mercado de productos desde el inicio de la planificación. El mercado de materiales reciclables de Centroamérica se presenta de manera general en el cuadro 5.

**Cuadro 5. Mercado de materiales reciclables en Centroamérica**

<i>Material</i>	<i>Mercado</i>
Compost de material orgánico	El valor del compost varía según la localidad y la calidad; el compost de lombricultura tiene el valor más alto.
Papel	Existen algunas industrias locales que reciclan papel.
Material ferroso (chatarra)	Existen algunas plantas grandes en la región que lo reciclan.
Aluminio	Existe un mercado de exportación planificado y se paga bien por el producto.
Plástico	La mayoría del material recuperado es exportado. Existe una industria incipiente que no logra cubrir la oferta.
Vidrio	Existen algunas industrias locales, pero no están preparadas para recibir grandes cantidades de material de la calidad que se puede obtener en un programa ordinario de reciclaje municipal.

Por lo general, los volúmenes de residuos municipales reciclables recolectados en Centroamérica no representan un valor económico significativo.

### 3.2.3 Separación

Si se decide apoyar un proyecto de reciclaje o compostaje en el municipio es preferible implementar la separación de los residuos sólidos en la fuente de generación. La separación de los residuos debe hacerse, por lo menos, en dos categorías diferentes: residuos orgánicos húmedos que se pudren (putrescibles) y residuos secos que no se pudren (no putrescibles). Una alternativa puede ser que el servicio municipal adquiera y distribuya las bolsas o contenedores de diferente color para los residuos putrescibles y para los residuos no putrescibles.

*En algunas municipalidades de Centroamérica se adelantaron campañas públicas de separación antes de tener una infraestructura para manejar los elementos separados. Esto resultó contraproducente. La gente pierde su confianza y entusiasmo si ven que el sistema no funciona.*

Para que un programa de separación para reciclaje o compostaje funcione es imprescindible incorporar la educación comunitaria. La corporación municipal podría tener toda la buena voluntad de implementar dicho programa y conseguir los recursos necesarios para el procesamiento de los materiales, pero si la población no colabora en la separación de los residuos en sus casas, el programa no tendrá el éxito esperado. Por esta razón, un buen programa de educación comunitaria debe ser continuo y masivo. Refiérase al capítulo sobre participación pública y educación comunitaria para conocer cómo manejar un programa de educación comunitaria.

*Cualquier programa de separación tiene que ser implementado en conjunto con un sistema de recolección.*

Hay que tomar en cuenta que si se implementa un programa de separación de residuos en la fuente de generación, también sería necesario implementar un sistema de recolección que contemple la separación. Si los residuos se mezclan durante el proceso de recolección, el programa fracasaría. Hay varias opciones que se puede implementar:

- separación física en el vehículo recolector para que los residuos no se mezclen;
- recolección con diferentes vehículos, por ejemplo, un día se recolectarían los residuos putrescibles y otro día los no putrescibles.

*El centro de acopio de la ONG RECICARIBE en Puerto Viejo, Costa Rica, ha ayudado a buscar mejores precios de los compradores de vidrio, aluminio, y plástico reciclado.*

Un programa de separación en los hogares nunca es 100% perfecto; es necesario tener un centro de separación y recuperación de materiales para complementar el trabajo realizado por los usuarios. Este centro servirá para verificar la clasificación hecha por los usuarios y también para sub-clasificar los materiales (por ejemplo, si se separa lo orgánico y lo inorgánico en los domicilios, separar lo inorgánico en vidrio, aluminio, etc.). Si la ciudad cuenta con una estación de transferencia, lo ideal sería establecer el centro de separación en dicha estación. Un centro de separación y recuperación de materiales es una instalación que cuenta, por lo menos, con una mesa larga o con una cinta transportadora en donde los operarios estén cómodos para separar manualmente los residuos. Lo ideal es contar con una cinta transportadora con operarios ubicados a lo largo de la cinta. Cada operario se

especializa en separar solo un tipo de material para que el trabajo sea más eficiente.

Si se contempla la separación y venta de materiales reciclables como vidrio, plástico, material ferroso, etc., es importante considerar la necesidad de un centro de acopio para almacenar los materiales y obtener más rentabilidad de la venta.

### 3.2.4 Residuos peligrosos

Los residuos peligrosos que son descargados por algunas industrias y comercios representan un problema para la salud y el ambiente. Estos residuos no son responsabilidad de la municipalidad; sin embargo, se deben conocer para estar alerta.

Los residuos peligrosos son todos aquellos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas representen un peligro para el equilibrio biológico, el ambiente o para los segregadores. Existen métodos apropiados para tratar todo tipo de residuo peligroso, pero son métodos caros, por lo que no se sugiere que cada municipalidad maneje su propio equipo. Es mejor que el tratamiento lo realicen las empresas especializadas, que pueden ser las industrias que generan los desechos. Los sitios de tratamiento o disposición final pueden ser localizados fuera de la zona urbana.

Es importante notar que las fábricas industriales, talleres automotores, gasolineras, hospitales, centros de salud y clínicas generan residuos sólidos municipales y residuos peligrosos. Por eso es necesario obligar a los generadores de residuos peligrosos, por medio de un reglamento municipal, (en el caso de que no exista una ley o reglamento nacional) a que manejen sus propios residuos peligrosos; que consideren cambios en sus procesos a fin de minimizar su generación; que los separen de los residuos municipales y que los etiqueten debidamente. Si es factible, es preferible que los generadores de residuos peligrosos sean responsables de darles un tratamiento adecuado o que contraten servicios de tratamiento para evitar que los residuos peligrosos lleguen al sitio de disposición final.

En los hogares también se generan residuos peligrosos (baterías usadas, restos de pesticidas y medicamentos con fecha vencida). La cantidad es relativamente pequeña y se pueden manejar a través de campañas de recolección selectiva o centros de acopios especiales durante días asignados al mes. Por ejemplo, las compañías o distribuidoras de pinturas o baterías pueden establecer lugares especiales durante días asignados para ese propósito.

Los residuos médicos merecen atención y manejo especial. En las áreas metropolitanas, la responsabilidad por el manejo de estos residuos no

Residuos peligrosos son aquellos cuyas características se definen como:

- Corrosivos
- Reactivos
- Explosivos
- Tóxicos
- Inflamables
- Infecciosos

involucra a la municipalidad; los ministerios de salud o el sector privado se encargan de su separación, recolección y tratamiento adecuado. En municipalidades pequeñas y lejos de las áreas metropolitanas, en cambio, estos se disponen en los rellenos municipales. Generalmente, 85% de los residuos generados en los establecimientos de salud no son peligrosos<sup>7</sup>, ya que se trata de residuos similares a los residuos municipales, tales como comida, papelería, envases y otros. Por eso es importante que el personal de salud realice la separación de los diferentes tipos de residuos.

Un programa de manejo de residuos médicos debe incluir:

- La separación de los residuos peligrosos de los no peligrosos por el personal de salud en el momento de su generación; esto implica capacitación de los empleados y participación de los médicos.
- El aislamiento
- El transporte separado de los residuos peligrosos.
- La destrucción o disposición aislada de los residuos peligrosos en un lugar especial del relleno sanitario. En el segundo caso, esto implica capacitación y concienciación de todas las personas que trabajan en el sitio de disposición final, incluidos los segregadores. de los residuos peligrosos de otros residuos, desde la generación hasta la disposición final. Esto implica el uso de contenedores o fundas de colores codificados, normalmente de color rojo.

En América Central, el punto más débil de esta cadena ha sido el manejo de los residuos peligrosos separados por los hospitales, pues se les ha encontrado mezclados con los residuos municipales o manejados incorrectamente por las instituciones.

Las opciones para la desinfección de los residuos biológico-infecciosos a fin de eliminar los microorganismos patógenos normalmente se instalarán en las áreas metropolitanas que recibirán un volumen apreciable de desechos biológico-infecciosos. Las opciones son:

- Incineración con manejo controlado; las cenizas se disponen en un relleno sanitario. Aunque es una opción común, puede generar sustancias tóxicas.
- Desinfección química con un rango de desinfectante que generalmente se descarga en las alcantarillas. Se debe tener cuidado con la disposición final del producto, ya que podría impactar negativamente en el sistema de tratamiento de aguas servidas si el producto se descarga en grandes cantidades directamente al alcantarillado.
- Desinfección termal de alta humedad con autoclave a 160 °C (o 185 °C según los reglamentos locales) y bajo presión alta.
- Desinfección con microondas.

---

<sup>7</sup> Querétaro, México: Estudio de residuos hospitalarios. Banco Mundial, 1992.

- Irradiación con rayos X.

En América Central existió un programa de gestión de residuos hospitalarios desde 1995 a 1998, conocido como ALA 91/33, mediante convenio entre la Unión Europea y los Gobiernos Centroamericanos. Bajo este convenio, el Salvador logró incentivar a tres empresas privadas para que ofrecieran servicios de recolección selectiva y de tratamiento por autoclave y disposición final en el relleno sanitario de San Salvador. Bajo el ALA 91/33, los residuos médicos se clasifican en cinco categorías, cada uno con su manejo especial, listados en el cuadro 6.

La producción promedio de residuos bio-infecciosos, de acuerdo con la experiencia de El Salvador, es de 0,65 kg/cama/día y para los centros de atención de salud sin hospitalización 0,65 kg/cama/día por cada 10 consultas. Estos datos pueden ser utilizados para estimar rápidamente la generación por centro de atención de salud. Si la generación es pequeña se podrá buscar soluciones sin recurrir a tecnologías de alto costo, pues solo bastará con manejarlos en forma aislada y enterrarlos para solucionar el problema.

**Cuadro 6. Clasificación de los residuos sólidos hospitalarios, ALA 91/33<sup>8</sup>**

<i>Categoría</i>	<i>Subcategoría</i>	<i>Ejemplos</i>
Residuos comunes		Comida Papelería Envases y otros
Residuos peligrosos		
Bio-infecciosos	Infecciosos	Materiales de salas de aislamiento Materiales biológicos Sangre humana y productos derivados
	Patológicos	Residuos anatómicos, patológicos y quirúrgicos Residuos de animales
	Punzo cortantes	
Químicos	Inflamables	
	Corrosivos	
	Reactivos	
	Tóxicos	
	Citotóxicos	
	Explosivos	
Radiactivos		
Especiales		Residuos de gran tamaño, contenedores presurizados, maquinaria obsoleta

### 3.2.5 Opciones de servicios y vehículos de recolección

Existen diferentes opciones para el servicio de recolección domiciliar de residuos sólidos, desde la recolección casa por casa hasta centros de acopios o

<sup>8</sup> Referencia: <http://www.info.ccss.sa.cr/germed/gestamb/samb17.htm>

almacenamiento temporal. Lo ideal es ofrecer el servicio casa por casa, que cada casa respete la frecuencia de recolección y saque la basura en el día y horario programado para la zona. En sectores donde no es posible pasar con un vehículo a motor casa por casa, se pueden colocar contenedores por pasaje o se puede optar por recolectar la basura casa por casa con carritos halados a mano o con triciclos.

Es importante saber seleccionar el tipo de vehículo para el transporte de los residuos. Existen muchas opciones, desde un vehículo tan rudimentario como una carretilla de mano, hasta algo tan sofisticado como los camiones compactadores. El método más conveniente depende de varios factores como son: el número de habitantes a servir, la estructura urbana de la ciudad (la topografía del lugar, el ancho de las calles, el diseño vial, el diseño urbanístico de los barrios, colonias y lotes), la facilidad de reparación del equipo seleccionado y los recursos municipales disponibles.

Es importante analizar diversas opciones antes de tomar una decisión. El cuadro 7 presenta los factores que se deben considerar para diferentes opciones de vehículos de recolección, los cuales se discuten en esta sección.

**Cuadro 7. Factores a considerar para decidir sobre los vehículos**

<i>Tipo de vehículo</i>	<i>Tracción humana</i>	<i>Tracción animal</i>	<i>Camión con carrocería de madera o metal</i>	<i>Camión compactador</i>
Ventajas y aplicación apropiada	Implementación relativamente fácil, de baja inversión inicial, facilita la recolección en calles angostas o con pendiente, genera más empleo y menor dependencia tecnológica.	Ventajas similares a la tracción humana	Bajo costo de operación y mantenimiento. Es el vehículo más usado en las ciudades pequeñas y medianas de Centroamérica.	Potencialmente bajo costo por tonelada (siempre y cuando se recoja una alta cantidad de residuos). Aplicación óptima es en rutas donde se ocupa el volumen total.
Desventajas	Se limita a áreas pequeñas.	El costo por tonelada normalmente no es óptimo.	Si se usan sin lona y los residuos no están colocados dentro de bolsas plásticas, el viento puede diseminar los residuos ligeros en el trayecto.	Alto costo de compra y de operación y mantenimiento.

Es importante señalar que el análisis debe considerar los costos de capital y operación por un periodo de 10 años o más para toda la municipalidad y optimizar el uso de vehículos con capacidad apropiada para la cantidad de residuos generados. Dos errores comunes que se deben evitar son: 1) la

compra de vehículos usados con altos costos de operación y mantenimiento y poco tiempo de vida útil, y 2) la adquisición de vehículos compactadores de capacidad excesiva y alto costo de operación y mantenimiento.

**Tracción humana.** Entre estas opciones están: un trabajador que transporte los residuos en un costal al hombro, un operario que conduzca una carretilla de mano en la cual deposita los residuos recolectados o un operario que conduzca un triciclo con uno o dos barriles metálicos para depositar la basura (experiencia en barrios marginales de Lima, Perú<sup>9</sup>).

**Tracción animal.** En esta categoría se encuentra la carreta halada por caballos, mulas o bueyes.

*En varias municipalidades de Nicaragua se ha empleado con éxito el uso de volcарetas para la recolección de los residuos.*

**Camión con carrocería convencional de madera o metal:** Es el tipo de vehículo más accesible, pero si se usa sin lona presenta el inconveniente de que el viento puede diseminar los residuos ligeros en el trayecto, debido a que generalmente los residuos no están colocados en bolsas plásticas. Para su operación óptima se necesitaría cuatro personas por unidad: un conductor, dos jaladores que depositarán los residuos en el camión y un acomodador que se encargará de ordenar los residuos para que éstos ocupen el menor espacio posible dentro del camión.

Es importante señalar que se debe modificar la forma de descargar los residuos, para que sea mecánica (se debe contar con sistema de volteo), a fin de reducir el tiempo que se gasta en el volteo de los vehículos y para reducir riesgos a los trabajadores.

**Camión con carrocería metálica.** Igual que el anterior tipo de camión, con la diferencia de que al acomodador le puede resultar desagradable trabajar en un ambiente cerrado.

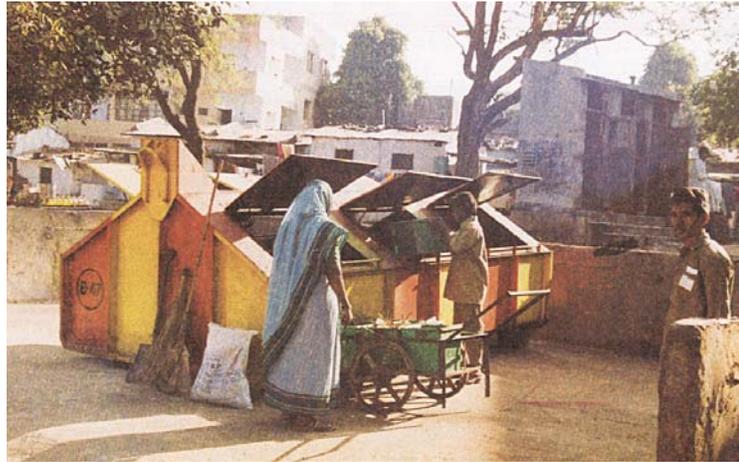
**Camiones compactadores.** Existen varios tipos, dependiendo de la ubicación del alimentador de residuos sólidos. El más común en Centroamérica es el que tiene el alimentador en la parte trasera con una capacidad de 11 a 25 yardas cúbicas (8 a 19 m<sup>3</sup>). Para hacer funcionar un sistema con este tipo de vehículo se requieren tres personas por unidad: un conductor y dos recolectores.

---

<sup>9</sup> <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt044.html>

### 3.2.6 Centros de transferencia

Los centros de transferencia son estaciones que se utilizan para depositar los residuos en forma temporal para que sean transferidos a un vehículo de mayor capacidad. Típicamente son lugares donde el contenido de los vehículos recolectores pequeños, sean éstos de tracción humana, animal o mecánica, es transferido a vehículos más grandes, normalmente de tracción mecánica, para transportar los residuos al sitio de disposición final. De esta forma se optimiza el trabajo de los vehículos pequeños, ya que mientras el vehículo grande hace su trabajo en un viaje largo los pequeños pueden cubrir más rutas de recolección, en vez de invertir todo el tiempo en hacer un viaje largo. Las estaciones de transferencia se usan cuando el sitio de disposición final está ubicado a más de 50 km del punto de generación.



**Centro de transferencia, Ahmedabad, India**  
*Manual on Municipal Solid Waste Management, Gob. de India*

Las estaciones de transferencia deben utilizarse luego de un análisis de costo-eficiencia en el que se haya concluido que resultan más económicas que transportar directamente los residuos hacia el sitio de disposición final, pues por sí solas no son elementos para el manejo integral de residuos sólidos, son más bien tecnologías que permiten hacer más eficiente y económico un sistema de recolección y transporte.

Los centros de transferencia también pueden convertirse en centros de separación y recuperación de residuos útiles para la industria del reciclaje (vidrio, papel, aluminio) o compostaje (materiales orgánicos putrescibles).

El análisis de la necesidad de centros de transferencia es una comparación de costo eficiencia que considera la distancia de las rutas de recolección y el tipo de vehículos previsto para la recolección de cada sector de la municipalidad. También es importante considerar el factor social.

Si se decide construir un centro de transferencia es necesario considerar los siguientes aspectos para elegir el sitio más adecuado:

- Que esté lo más cerca posible al área donde se está prestando el servicio de recolección.
- Que sea accesible a la ruta de acceso al sitio de disposición final.

- El diseño debe incluir una zona de amortiguamiento con árboles y suficiente espacio para parqueo, carril de desaceleración y espacio para que los vehículos esperen turnos para descargar y salir fácilmente.
- El diseño debe reducir los impactos negativos a la comunidad y al ambiente (control del polvo, materiales dispersos, insectos y roedores, olores, tránsito y aseo de los alrededores).
- Deberá tener agua, electricidad y estar techado.

### **3.2.7 Optimización de sistemas de recolección**

Entre los servicios de residuos sólidos, el de mayor costo es el de recolección de residuos. Se puede disminuir costos de aceite, gasolina, repuestos y mano de obra mediante cambios en la frecuencia, en la manera de prestar la recolección y en la manera como los ciudadanos almacenan sus residuos para ser recogidos. La optimización del sistema de recolección es un paso que se puede tomar en el corto plazo para reducir costos y mejorar la calidad y cobertura del servicio.

La optimización de los sistemas de recolección implica analizar y maximizar la eficiencia de los siguientes elementos:

- Selección de vehículos
- Diseño de rutas
- Uso de personal
- Nivel de cobertura
- Frecuencia de recolección
- Tiempos requeridos para la recolección y el transporte de los residuos.

Al optimizar los sistemas de recolección se tendrán en cuenta las siguientes metas: proveer un nivel de servicio apropiado, satisfacer los reglamentos, cumplir las condiciones de seguridad y de salud ocupacional, y completar el servicio de recolección con el menor costo posible.

#### Frecuencia de recolección

Los factores a ser considerados en la definición de la frecuencia de recolección son los siguientes: costo, calidad y cantidad de los residuos generados, expectativas de la población, limitación del almacenamiento y clima.

#### Parámetros de calidad de servicio de recolección

Los parámetros más comunes para evaluar la calidad de los servicios de recolección son:

- tiempo de recolección por ruta;
- tiempo por rutas en: paradas, tránsito, en recolección, en ir y regresar al relleno para continuar la ruta o al lugar de resguardo del vehículo;
- tiempo de descarga en el sitio de disposición final;

- toneladas recolectadas por trabajador (total recolectado por camión/ número de personas que integran la tripulación incluido el conductor);
- frecuencia de recolección y horario de servicio por zonas (residencial, comercio y públicas);
- grado de limpieza de la ciudad por ruta o zona (aspecto bueno, regular o malo);
- número de quejas, y
- satisfacción de la comunidad (encuestas).

### Selección de alternativas

Para la selección de la mejor alternativa se tomará en cuenta:

- costos de inversión (equipos e infraestructura) y la condición financiera de la comunidad;
- equidad del servicio, cobro y máxima cobertura;
- costos de operación y mantenimiento;
- menor riesgo de abandono de la infraestructura por haberse creado condiciones para hacer participar a toda la comunidad;
- evaluación del mercado en caso del compost y reciclaje, y
- compatibilidad de costos con el presupuesto disponible.

### **3.3 Tratamiento de los residuos**

El tratamiento es un proceso que modifica las características físicas, químicas o biológicas de los residuos para aprovecharlos, estabilizarlos o reducir su volumen antes de la disposición final. Las tecnologías más comunes de tratamiento se resumen en el cuadro 8.

**Cuadro 8. Opciones para el tratamiento de residuos**

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>	<i>Consideraciones</i>	<i>Experiencia en Centroamérica</i>
Compactación	La compresión de los residuos para reducir su volumen por métodos mecánicos o manuales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Común y práctico.</li> </ul>	Generalmente se ha limitado a la compactación mecánica.
Compostaje	Descomposición aeróbica (en presencia de oxígeno) de los materiales orgánicos biodegradables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Común y práctico.</li> <li>▪ Trata y reduce solamente un porcentaje del volumen de residuos.</li> </ul>	Véase la sección sobre compostaje.
Digestión anaeróbica	Descomposición anaeróbica (sin presencia de oxígeno) de materiales orgánicos biodegradables en contenedores especiales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicable para ciertas categorías de residuos (e.g., lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales).</li> </ul>	
Incineración	Transformación termoquímica para reducir	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Requiere un poder calorífico alto de la materia prima.</li> </ul>	En la Ciudad de Guatemala, el

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>	<i>Consideraciones</i>	<i>Experiencia en Centroamérica</i>
	60% a 70% del volumen original de los residuos sólidos. Es posible recuperar energía en forma de calor, la cual puede usarse para producir vapor de agua a fin de mover una turbina que produzca electricidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto costo de instalación, necesidad de personal especializado.</li> <li>▪ Para evitar la contaminación del aire y particularmente la generación de sustancias orgánicas tóxicas persistentes, según el convenio de Estocolmo, se encarece y complica la instalación y operación de estos sistemas.<sup>10</sup></li> <li>▪ Es posible que se prohíba la incineración en Centroamérica.</li> </ul>	Hospital San Juan opera un incinerador centralizado para los residuos médicos infecciosos.
Pirólisis	Conversión de la fracción orgánica de los residuos en gases combustibles y residuos por la acción del calor en un ambiente deficiente de oxígeno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto costo de instalación, operación y mantenimiento y la necesidad de personal especializado.</li> <li>▪ Es posible que se prohíba la pirólisis en Centroamérica.</li> </ul>	Ninguna
Gasificación	Combustión parcial de fracción orgánica para producir gases combustibles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto costo de instalación, operación y mantenimiento y la necesidad de personal especializado.</li> <li>▪ Es posible que se prohíba la gasificación en Centroamérica.</li> </ul>	Ninguna

Por lo general, se estima que la mayoría de las municipalidades de Centroamérica tendrá algún nivel de compactación y compostaje, pero no tendrá ninguno de los otros métodos de tratamiento por consideraciones de costo-beneficio y del ambiente.

### 3.3.1 Compostaje

Se le llama compostaje a la descomposición aeróbica (en presencia de oxígeno) de los materiales orgánicos biodegradables por microorganismos bajo condiciones controladas a altas temperaturas a través del tiempo para producir un material estable parecido a la tierra llamado compost. El compost contiene nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, por ello, se utiliza en la producción de hortalizas, flores y árboles. Su uso potencial y mejor característica es como mejorador de suelos.

*La experiencia de la rentabilidad del compost ha sido variada en Centroamérica. En Matagalpa, Nicaragua, los ingresos de la venta del compost recompensaron con creces el costo de su producción, pero en Suchitoto, El Salvador, el mercadeo del producto no ha sido tan exitoso.*

Entre los materiales con potencial a ser utilizados en la producción de compost se encuentran los restos de comida y de su

<sup>10</sup> Convenio sobre sustancias orgánicas tóxicas persistentes, Estocolmo, Mayo 2001.

preparación, la mayor parte de los residuos de mercados, restos de cosechas, papel, cartón, madera y otros materiales orgánicos biodegradables.

Existen varios métodos de compostaje:

- El método más simple es el de pilas y el más reconocido de pilas es el “Windrow”.
- Tecnologías de descomposición del material en reactores.
- Lombricultura, la cual produce un compost de alto valor económico.

Para que el compostaje funcione adecuadamente, es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Regular la proporción de carbono y nitrógeno en la masa orgánica. La proporción ideal es alrededor de 30:1.
- La cantidad de humedad, uno de los factores más importantes, debe ser entre 40% a 60%.
- El tamaño de las partículas debe ser entre 1 a 5 cm.
- La porosidad (espacios de aire en la pila de material) debe ser mayor de 40%.
- La temperatura interna se debe mantener entre 43 y 65 °C durante la fase inicial. Eventualmente, la temperatura de la masa baja a niveles cerca de la temperatura del ambiente.
- Oxígeno (aire).

Si las condiciones son ideales se puede aplicar el compost a los cultivos después de tres meses de haberse iniciado el proceso de compostaje.

### **3.4 Disposición final**

La forma más común de disposición final de residuos sólidos es el botadero. Aunque es la modalidad más barata, también es la que ocasiona más problemas ambientales, ya que normalmente se realiza en cañadas o barrancos de donde los residuos son fácilmente esparcidos por acción de la lluvia o del viento. Los botaderos atraen animales y son centros de proliferación de ratas, moscas, cucarachas y otros insectos. Además, la lluvia que cae sobre los residuos produce lixiviados (líquidos percolados), los cuales pueden contaminar las fuentes de agua superficiales (ríos o lagunas) o subterráneas (agua de pozos).

En relación con el botadero, la opción más deseable es el relleno sanitario, el cual se define como un método de ingeniería para disponer residuos sólidos en el suelo de tal forma que proteja el ambiente. Los rellenos sanitarios pueden ser manuales o mecánicos (véase el cuadro 9).

Es importante hacer una buena planificación inicial para que el relleno sanitario tenga el éxito esperado. Las grandes actividades a cumplir son:

selección del sitio, diseño, construcción, operación, mantenimiento y clausura. Los factores que se deben tomar en cuenta en la planeación son: contar con información básica sobre la población a servir, la calidad y cantidad de los residuos sólidos a disponer, el uso futuro del relleno cuando éste se clausure, los recursos para financiar la obra y la asesoría técnica para implementar el relleno.

**Cuadro 9. Clasificación de la disposición final**

<i>Descripción</i>	<i>Botadero</i>		<i>Relleno sanitario</i>	
	<i>No controlado</i>	<i>Controlado</i>	<i>Manual</i>	<i>Mecanizado</i>
¿Uso de cobertura diaria?	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Impermeabilización del suelo	NO	NO	Normalmente con arcilla	Tecnificado, normalmente con arcilla o geomembrana
Sistema de recolección y tratamiento de lixiviados	NO	NO	SÍ, pero menos tecnificado que un relleno mecanizado	SÍ
Sistema de drenaje de aguas superficiales	NO	Varía	SÍ	SÍ
Sistema de control de gases	NO	NO	SÍ	SÍ
Compactación de material	Ningún	A mano	A mano	Con equipo mecanizado
Rutas de acceso pavimentado	NO	NO	NO	SÍ

El diseño del relleno sanitario es complicado y requiere las siguientes etapas:

- 1) Estudio diagnóstico.
- 2) Estudios topográficos.
- 3) Estudios geohidrológicos y geofísicos.
- 4) Geología y edafología.
- 5) Estudio de mecánica de suelos.
- 6) Estudio de impacto ambiental (programa de manejo ambiental).
- 7) Diseño del relleno (instalaciones de operación, terrazas, drenaje superficial, captación y tratamiento de lixiviados, extracción de gases y tratamiento de los mismos, dispositivos de monitoreo y control y presupuesto de todas las obras.
- 8) Elaboración del manual de operación y mantenimiento.

Las técnicas de disposición final de residuos sólidos se presentan a continuación.

### **3.4.1 Rellenos sanitarios manuales**

Como su nombre lo indica, los rellenos sanitarios manuales no necesitan equipos pesados permanentes para su operación, sino herramientas sencillas como palas, azadones, piochas, rastrillos, apelmazadoras manuales, etc. Además, su implementación representa generación de empleo en la comunidad. Únicamente se requiere equipo pesado para preparar el sitio, construir las vías internas, excavar las zanjas o extraer material de cobertura.

Es viable implementar un relleno manual en poblaciones que tengan menos de 40.000 habitantes o que generen menos de 20 toneladas (440 quintales)<sup>11</sup> diarias de residuos sólidos. Si hubiera dos o tres comunidades muy pequeñas relativamente cerca se puede hacer un solo relleno para atender a todas.

Básicamente existen dos métodos para realizar un relleno sanitario manual: el método de zanja o trinchera y el método de área.

**Método de trinchera.** Consiste en excavar zanjas de dos o tres metros de profundidad y entre tres y seis metros de ancho con una retroexcavadora; la tierra que se extrae se deja a un lado de la zanja para usarla después como material de cobertura. Los residuos se descargan del lado opuesto a donde se acumuló el material de cobertura y se acomodan dentro de la trinchera, compactándolos y cubriéndolos con tierra; esta es la parte de la operación que puede hacerse manualmente. Se recomienda hacer cada zanja de tal forma que pueda tener una vida útil entre 30 y 90 días, considerando que hay que tener lista una nueva zanja antes de clausurar la que está en uso. De otra forma se corre el riesgo de que el lugar se convierta en un botadero abierto. La separación entre zanja y zanja debe ser por lo menos de un metro, dependiendo del tipo de suelo del lugar.

Es importante tener datos sobre el nivel freático y el tipo de suelo antes de implementar este método, ya que si el nivel freático está muy próximo a la superficie del suelo existe un alto riesgo de contaminar los acuíferos. Por otro lado, los terrenos rocosos dificultan la excavación.

**Método de área.** Con este método, el relleno sanitario se construye sobre la superficie del terreno o para llenar depresiones. En este caso, el material de cobertura se debe importar de otros sitios o, si es posible, extraerlo de la capa superficial del sitio a rellenar para ahorrar lo más posible. Es importante construir las celdas diarias con una pendiente suave para evitar deslizamientos y estabilizar el relleno a medida que éste se eleva.

*Al final de la jornada es importante cubrir los residuos con una capa de tierra compactada de 10 a 20 cm de espesor.*

También es posible combinar los dos métodos, siempre y cuando la topografía y las condiciones físicas del terreno lo permitan. Cada celda debe tener una altura entre 1,0 a 1,5 m y los residuos se deben compactar en capas de 20 a 30

<sup>11</sup> Residuos sólidos municipales, *guía para el diseño, construcción, y operación de rellenos sanitarios manuales*. OPS/CEPIS, 2002.

cm de espesor para optimizar el volumen disponible para que toda la celda quede estable y así evitar futuros hundimientos. Algunas opciones para la compactación manual se indican en las fotos de abajo.



***En la foto de la izquierda se muestra un rodillo.  
La foto de la derecha arriba muestra un pisón para la compactación en un relleno manual.  
La foto de la derecha abajo muestra un relleno sanitario manual casi al finalizar la jornada.  
Fotos cortesía de Luis F. Díaz, CalRecovery.***

Los drenajes de los rellenos sanitarios son zanjas rellenas de piedras grandes en el fondo y piedras pequeñas en la superficie del drenaje. Para los gases también es necesario hacer una especie de chimenea. La base de la chimenea deberá instalarse sobre un drenaje para lixiviados, para que los gases que circulan por el drenaje horizontal puedan escapar por la chimenea.

Es necesario tener una caseta o garita para controlar el ingreso de los camiones a fin de evitar que ingresen residuos sólidos en horarios fuera de trabajo o en vehículos que no estén autorizados por la municipalidad. Si es posible instalar una báscula para controlar la cantidad de residuos a disponer en el relleno, mucho mejor. De esta forma se tendrá un registro cronológico y



será más fácil proyectar futuras acciones basadas en la realidad. En ausencia de una báscula en el sitio, se puede llevar el control volumétrico de las cajas de los camiones y realizar pesajes semestralmente en básculas cercanas para tener indicadores de densidad de los residuos en la época lluviosa y seca.

### 3.4.2 Rellenos sanitarios mecanizados

A diferencia de los rellenos manuales, en los mecanizados se puede disponer una gran cantidad de residuos sólidos al día, siempre y cuando la maquinaria sea suficiente para llevar al día las operaciones y haya suficiente área para la operación. Este tipo de relleno generalmente incluye sistemas de impermeabilización y control de gases.

Los métodos para implementar rellenos sanitarios mecanizados son los mismos que para los manuales: zanjas o trincheras y área, con la diferencia de que los frentes de trabajo se deben ajustar al tamaño del equipo con el que se está trabajando y al número y tipo de vehículos que ingresan al relleno; por ejemplo, el ancho de la trinchera mecanizada puede ser hasta de 15 m para que un tractor pueda trabajar cómodamente dentro de ella. En Centroamérica, dadas las características topográficas, lo más conveniente es destinar un terreno con una depresión natural (vaguada con no más de 30% de pendiente), siempre y cuando ésta sea seleccionada por el estudio de sitios y que disminuya al máximo el riesgo de contaminación.



Básicamente la operación de un relleno mecanizado es igual al de un relleno manual, con la diferencia de que en el relleno mecanizado todas las actividades se realizan con equipo pesado.

*Construcción del relleno sanitario de Usulután, El Salvador  
Foto cortesía de Kathy Gaynor, USEPA*

### 3.4.3 Tratamiento de lixiviados

Un aspecto importante del relleno sanitario, sea mecanizado o manual, es desviar las aguas de escorrentía para que no ingresen al relleno y recolectar y tratar las aguas que drenan de o por el material del relleno. Dentro del relleno es importante instalar drenajes para los lixiviados (líquidos percolados). Idealmente, los lixiviados deben ser captados y tratados adecuadamente. Dependiendo de las condiciones de cada sitio, el lixiviado se puede recircular, evaporar o tratar por medio de sistemas diseñados para el tratamiento de aguas

residuales. Los lixiviados tienen características que permiten su tratamiento por procesos biológicos. El tratamiento más utilizado en América Latina para los lixiviados es el uso de lagunas para su clarificación y evaporación, seguido de la recirculación (luego de la evaporación, los líquidos restantes son extraídos y vertidos en las celdas del relleno).

#### **3.4.4 Recolección y utilización del biogás**

El relleno sanitario es un digestor anaeróbico, en el cual debido al proceso de descomposición o putrefacción de los residuos sólidos se forman líquidos y gases. La primera fase de descomposición en un relleno es aeróbica porque que hay cierta cantidad de oxígeno atrapado en la masa. Una vez que el oxígeno se termina comienza la fase anaeróbica. La descomposición anaeróbica resulta en la producción de biogás. El biogás consiste principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y vapor de agua. El biogás es combustible; cuando el metano se concentra en el aire en proporciones de 5 al 15% en volumen, es explosivo.

El gas tiende a migrar en forma lateral y se acumula en lugares vacíos o busca fisuras o permeabilidad de la cobertura donde puede escaparse. Para evitar que se produzcan escapes es necesario llevar a cabo un control estricto de la migración de gases. El control se realiza mediante la construcción de sistemas de escape vertical en distintos lugares de la superficie del terreno. El metano puede ser quemado a la salida del relleno, con o sin utilización de este gas para beneficio humano.

El metano puede ser aprovechado desde el punto de vista comercial para producir calor, si es que hay un uso cercano, o para la generación de energía eléctrica. Para utilizarlo en la generación de energía eléctrica es recomendable procesar el metano a fin de eliminar impurezas, agua y otros gases formados durante el proceso de digestión anaeróbica.

#### **3.4.5 Clausura de sitios viejos o ilegales**

Es importante identificar y clausurar botaderos a cielo abierto manejados sin control, especialmente cuando estos se ubican cerca de cuerpos de agua o cuando se practica la quema en estos sitios y se ubican cerca de áreas pobladas. Se puede priorizar la clausura de sitios considerando:

- riesgos a la salud humana
- áreas sensitivas ecológicamente, y
- áreas de crecimiento urbano.

Paralelamente a la planificación del proceso de clausura, se debe buscar un lugar adecuado para los residuos que se disponían en el relleno que se va a cerrar.

El proceso de clausura de un botadero o suspensión definitiva de un sitio de disposición final de residuos sólidos conlleva un proceso gradual de saneamiento y de restauración ambiental del área.

La etapa de clausura consiste de:

- compactación;
- cobertura de tierra de 40 a 60 cm de espesor;
- construcción de obras de drenaje y manejo de lixiviados;
- manejo de gases;
- siembra de grama para estabilizar el suelo, y
- monitoreo.



***Clausura de sitio en Panamá***

*Foto cortesía de Kathy Gaynor, USEPA*

El control y mantenimiento de la superficie es importante debido a que la producción de biogás y lixiviado puede continuar durante 20 a 30 años más después que el relleno ha sido clausurado. Por tanto, una vez clausurado el relleno se requiere mantenimiento y control. Las áreas en donde no se ha depositado residuos pueden ser utilizadas como áreas de recreo y esparcimiento con acceso restringido a las zonas de chimeneas.

### ***3.4.6 Costos de planificación, construcción y operación***

Las categorías de costos más utilizadas para el manejo de residuos sólidos son:

- administración (incluye planificación y participación comunitaria)
- barrido
- recolección
- transferencia
- tratamiento (reciclaje y compostaje)
- disposición final y clausura.

Es importante estimar y presupuestar los costos de la planificación. En algunas municipalidades la planificación se programa dentro del presupuesto anual, en otras se realiza con la asistencia de instituciones financieras.

Típicamente la suma de costos del barrido, recolección, transferencia, reciclaje y compostaje representan 60 a 80% del costo de operación anual. Estos gastos deben incluir los de operación y mantenimiento de rutina más un costo anualizado para la compra de nuevos equipos y vehículos. Se debe considerar