



Capítulo 3

SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (GIRSU)

Este capítulo compara al sistema de manejo de residuos con el sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos. De éste último sistema se describe cada una de sus etapas.

Antes de describir los sistemas de manejo de RSU es importante conocer que es un sistema.

Se entiende por sistema al conjunto organizado de cosas o partes interactuantes e interdependientes que se relacionan formando un todo unitario y complejo. De este modo, las cosas o partes pasan a ser funciones básicas realizadas por el sistema (Madrigal, 2002).

3.1 Sistemas de manejo de residuos sólidos urbanos

Para el manejo de RSU se han sumado diferentes actividades según los cambios que la sociedad presenta y las necesidades que se requieren.

En sus inicios, dado que las actividades a realizar generaban residuos que eran degradados por el ecosistema sin grandes dificultades, se creaba un ciclo que para su estudio se ha dividido en tres etapas; generación, recolección y disposición final. Para fines de esta tesis se presenta el siguiente diagrama denominado sistema simple que muestra la secuencia de estas (ver figura 3.1).



Figura 3.1 Sistema simple

A la par del desarrollo de las actividades del hombre en transformación de la materia prima y la producción en cadena de los productos se generaron residuos con propiedades de difícil degradación y en mayores cantidades que demandan un sistema de manejo de residuos con otras etapas adicionales. Este sistema es el que actualmente se lleva a cabo y se le conoce como Sistema de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (SMRSU) (ver figura 3.2)



Figura 3.2 Sistema de manejo de residuos sólidos urbanos (SMRSU).

El Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (SGIRSU), que se propone en este trabajo, tiene como objetivo aprovechar la mayor parte de los residuos que se generan y tiene como última opción la disposición final de aquellos residuos que no es posible aprovechar. Además, introduce un nuevo concepto, la gestión integral; es decir, propone emplear un conjunto de estrategias (como: reuso, reciclaje y compostaje) que respondan a las necesidades y a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia, así como el monitoreo y mejora del sistema.

La gestión integral debe unirse con la sustentabilidad. Un sistema sustentable es aquel que deriva beneficios ambientales, económicos y sociales, es decir; que durante el proceso del manejo de los residuos se permite proteger la integridad de los recursos naturales, ser rentable y socialmente aceptable para contribuir al crecimiento económico y bienestar social.

El sistema GIRSU incluye diferentes etapas para el control de generación y manejo de los residuos generados, entre ellas, se encuentra el reducir, reutilizar, reciclar, almacenar, recolectar y transportar, diferentes tipos de tratamientos con recuperación de energía y disposición final.

El siguiente modelo nos muestra la interrelación de las partes del sistema GIRSU, considerando a éste último como el más adecuado por ser el sistema más completo en materia de manejo de los RSU (ver figura 3.3).

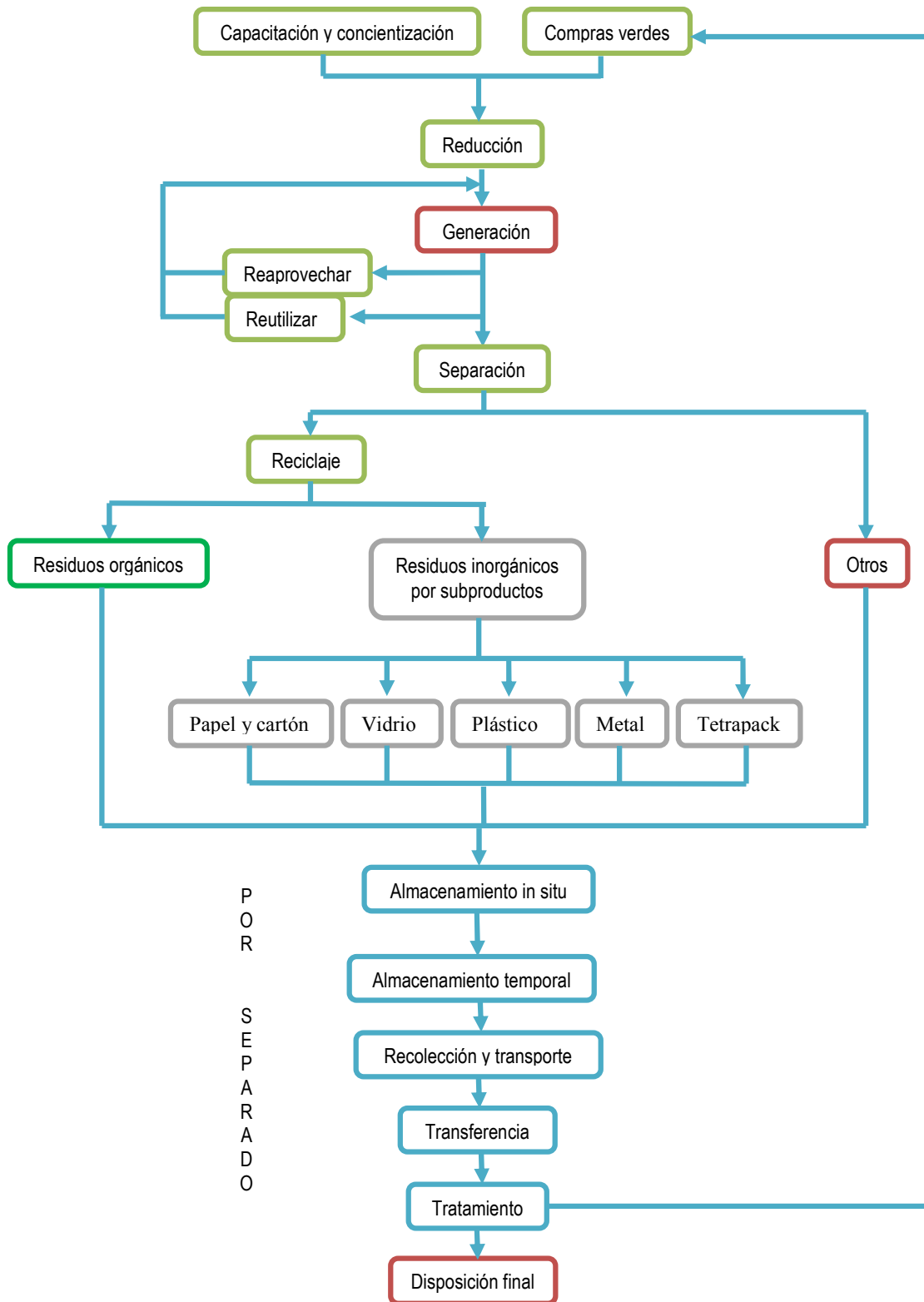


Figura 3.3 Sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU).



3.2 Sistema GIRSU

El sistema GIRSU engloba varias actividades: el control de generación, separación por subproductos, reciclaje y aprovechamiento, almacenamiento por subproductos, almacenamiento temporal, recolección y transporte, transferencia, tratamiento y disposición final en un sistema de manejo práctico para cualquier región. Cabe mencionar que para que sea un sistema sustentable no necesariamente requiere de cada una de las etapas, el punto clave es que responda a las necesidades y políticas ambientales en la materia; si se logra, entonces la comunidad ha desarrollado un sistema GIRSU eficaz y rentable.

Cuando no se cuenta con un sistema GIRSU agravamos diferentes tipos de contaminación, tales como:

- Contaminación del agua, al tirar nuestros RSU en los cuerpos de agua superficiales como ríos, lagos y océanos se provoca su contaminación y la muerte de varios animales. Existen reportes de especies como las tortugas y peces que confunden las partículas de los envases de unicel con alimento, los ingieren y se asfixian (Fadrique, 2007). Otra forma de contaminar es a través de la filtración de lixiviados, de rellenos sanitarios y tiraderos, hacia los mantos freáticos; ésta se considera una forma indirecta de contaminación del agua que diariamente consumimos.
- Contaminación del suelo, el arrojar los RSU al suelo, no solo provoca una contaminación visual, sino que también altera su composición química obstruyendo la germinación y crecimiento de las plantas.
- Contaminación del aire. Los gases de descomposición de la materia orgánica por la acción bacteriana, son dispersados por el viento, así como las partículas desprendidas de los RSU y los microorganismos patógenos que en ellos se encuentran, lo cual trae como consecuencia que puedan ser respiradas y causen enfermedades, principalmente de las vías respiratorias.

En un sistema GIRSU debe considerarse que no siempre el reciclado de todos los residuos es la mejor opción, ésta dependerá de un diagnóstico que permita conocer, respecto al tipo y volumen del residuo, la infraestructura disponible para su manejo, la factibilidad ambiental y económica.

Es imposible evitar generar residuos, sin embargo, podemos tratar de disminuirlos y minimizar la cantidad que llega a los sitios de disposición final. Un sistema GIRSU exitoso requiere que los miembros de la sociedad, productores de materias primas, fabricantes, distribuidores, comerciantes, consumidores y autoridades asuman su responsabilidad por los residuos que generan.

Enseguida se explica cada etapa del sistema GIRSU, empezando por el control de generación de RSU el cual involucra las 3R's: reducción, reutilización y reciclaje.

3.3 Generación

De acuerdo con la LGPGIR, la generación es la acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.



La composición de los RSU que se generan no es homogénea, ya que responde a los hábitos de consumo y el poder adquisitivo de la población, por lo que se requiere de información sobre la cantidad y los subproductos de RSU generados en una localidad, como datos indispensables para diseñar el sistema de gestión integral.

Es pertinente mencionar que la composición de los RSU no es constante, en el verano se presenta un aumento en la cantidad de materia orgánica debido a la disponibilidad de frutas y verduras y en el invierno ésta se reduce; además, al aumentar el poder adquisitivo aumentan los materiales de más lenta degradación como los empaques de producto (ProMIR, 2005).

En la etapa de generación es importante reconocer que varios de los residuos que se crean pueden considerarse como recurso en otra área, teniendo así la opción de ser reutilizables, reaprovechables o reciclables.

3.3.1 Reducción

Reducir implica minimizar la generación de los residuos tanto en cantidad como en su potencial de contaminar el ambiente.

La reducción en origen es la primera acción dentro del sistema GRSU y es la forma más sencilla de disminuir la cantidad generada de RSU. Las iniciativas para prevenir la generación de RSU son una contribución importante a la estrategia del sistema GRSU. Entre ellas está la capacitación y concientización de las personas acerca de los impactos que diferentes residuos causan; el plantear la necesidad de adoptar medidas preventivas, considerando los costos y beneficios de la acción de consumir o no un producto; y el análisis de los posibles daños que los residuos puedan causar a la salud y/o al ambiente, ofreciendo sustitutos más amigables con el ambiente que satisfagan las mismas necesidades.

La industria juega un papel importante para la reducción de residuos, esto se logra a través de diferentes estrategias en el diseño, la fabricación, el envasado, embalaje y la vida útil de los productos a la venta. La reducción debe hacerse tomando en cuenta todo el ciclo de vida (CV) del producto (ver figura 3.4), de esta manera se previene que los problemas sólo cambien de lugar, ya que una mejora aparente en alguna etapa del CV puede llevar a otros problemas en etapas posteriores del ciclo (INE-Semarnat, 2002).



Figura 3.4 Ciclo de vida del producto.

El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto cuenta con tres etapas (Suppen, 2008):

1. *Inventario de ciclo de vida*. Base de datos que cuantifica la energía y la materia prima, así como sus emisiones, residuos y desechos.
2. *Evaluación del impacto*. Proceso para evaluar y ponderar efectos de las cargas ambientales del inventario.
3. *Interpretación o mejora*. Evolución sistemática de las necesidades y oportunidades para reducir el impacto ambiental.

Además, a través del uso de programas como *SW Simapro* -un software gratuito para almacenar y comparar datos de diferentes productos que satisfacen la misma necesidad- es posible evaluar el impacto ambiental de cada producto y compararlos entre sí para elegir la mejor opción.

Como consumidor se puede contribuir a la reducción de los RSU a través de las compras selectivas, también conocidas como compras verdes o compras inteligentes. El cambiar los patrones de consumo; es decir, fijarse en lo que se compra y consume, permitirá adquirir bienes y servicios que ayuden a conservar los recursos naturales y ahorrar energía evitando el desperdicio.

Compras verdes es la práctica de consumir con responsabilidad los bienes materiales y servicios procurando disminuir el impacto negativo al medio ambiente. Para llevarlo a cabo se requiere tomar en cuenta varias estrategias como: adquirir artículos hechos con material reciclado, de este modo contribuimos a reducir el consumo de los recursos naturales; y rechazar productos con embalajes sofisticados e innecesarios, ya que además de incrementar nuestros residuos encarecen el producto.

En resumen, para reducir nuestros residuos debemos:

- Preferir insumos reciclados, reciclables, biodegradables, reutilizables y reaprovechables
- Evitar empaques y embalajes excesivos; preferir productos a granel
- Optar por productos orgánicos no procesados



Reutilizar es volver a usar un producto una y otra vez cumpliendo con la misma tarea para lo que fue hecho, como un recipiente de mermelada que se puede utilizar para almacenar otro tipo de alimento.

Reaprovechar es darle una nueva utilidad a un producto; es decir, que una vez que el producto haya terminado la tarea para la cual fue fabricado se aprovecha en otra tarea diferente. Por ejemplo, los neumáticos que una vez desgastados pueden ser utilizados como macetas.



Figura 3.6 Reuso y reaprovechamiento.

3.3.3 Reciclaje

Reciclar es tomar los residuos valorizables –vidrio, metal, papel, cartón, PET, residuos orgánicos y tetrapack- como materia prima y transformarlos mediante procesos industriales en nuevos productos que satisfagan la misma tarea u otra diferente, como al reciclar una botella de vidrio y poderla transformar en otra botella del mismo material o en otro producto; ya sea un vaso, plato o adorno de vidrio.

Al reciclar:

- Se ahorra en recursos naturales y combustibles.
- Se disminuye la contaminación de agua, suelo y aire.
- Se prolonga la vida útil de los rellenos sanitarios, sólo se llevarían los residuos no reusables o no reciclables a la etapa de disposición final.

El beneficio ambiental de reciclar varía de acuerdo con los materiales y las tasas de reciclaje, de manera que altas tasas de reciclaje no son necesariamente iguales a mejoras ambientales. Los beneficios obtenidos del reciclaje son mayores cuando los residuos se componen de materiales valorizables, limpios y disponibles en grandes cantidades (INE-Semarnat, 2002).

Para el reciclaje sustentable se debe separar los RSU desde el lugar de origen –hogar, oficina, escuela, etc.-. Existen varias formas de separar los residuos, la más sencilla y la que propone la LGPGIR es entre orgánicos e inorgánicos. Para que un sistema GIRSU opere de forma óptima, la separación debe ser por subproductos (ver capítulo 2.3.1 *Tipos de residuos sólidos urbanos*).

Como parte de una estrategia del sistema GIRSU, el reciclaje de subproductos puede ayudar a conservar recursos naturales y evitar que materiales valorizables vayan a disposición final. Sin embargo, el reciclaje es un proceso complejo que en sí consume recursos durante el transporte,



selección, limpieza y reprocesado de los materiales reciclables. Además, en esta etapa también se generan residuos, por ello, el reciclaje debe ser considerado como parte de una estrategia y no como un fin en sí mismo, promoviéndose únicamente cuando ofrece beneficios ambientales, económicos y sociales.

El D.F. cuenta con tres plantas de separación de residuos ubicadas en Bordo Poniente, San Juan de Aragón y Santa Catarina, en donde se recuperan materiales útiles para otros ciclos productivos. Sin embargo, como se puede observar en la siguiente tabla, de todos los residuos que ingresan a las plantas de selección sólo el 6% es recuperado (SMA, 2008).

Tabla 3.1 RSU que ingresaron, recuperaron y egresaron de las plantas de selección (2008)

	Total (ton/año)	% Porcentaje
Ingreso	1 688 923	100
Recuperación	107 573	6
Egreso	1 581 250	94

Fuente: Secretaría de obras y servicios, 2010

Con un sistema GIRSU, el realizar la separación de subproductos desde el momento de su generación permitiría que se eleve el porcentaje de recuperación de materiales. A través de centros de acopio, intermediarios entre la generación y reciclaje, y lugar que tiene como función reunir residuos reciclables que puedan competir en cantidad y calidad como recurso para otras empresas.

Existen dos tipos de centros de acopio (PRIA, 2009):

- Sin compra: En estos tipos de centro sólo se depositan los residuos separados.
- Con compra: Centros de acopio en donde se ofrece incentivos financieros como pago en efectivo por la compra de los materiales entregados. La siguiente tabla muestra el precio de algunos residuos.

Tabla 3.2: Precios de compra de residuos reciclables.

SUBPRODUCTO	\$ / Kg
Aluminio	10.00
Bronce	15.00
Cartón	0.40 - 1.00
Cobre	35.00
Fierro	1.00 - 1.50
Papel	1.10 -1.40
PET	0.10 - 0.50
Tetrapack	0.50
Vidrio	0.30

Fuente: Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA), 2009



3.4 Almacenamiento in situ y almacenamiento temporal

Las etapas de almacenamiento consisten en depositar los RSU en contenedores desde el momento en que se generan hasta la recolección de los mismos.

El almacenamiento in situ corre a cargo de quien genera los RSU y se refiere a la acción de retener por un tiempo corto los residuos en el sitio de generación mediante contenedores que se ubican en diferentes puntos de la casa habitación, oficinas, escuelas, etc. Siendo los más comunes:



Figura 3.7 Contenedores de RSU comúnmente usados para almacenamiento in situ.

En esta etapa existen recipientes como las bolsas de polietileno que constituye problemas de operación en el sistema debido a su poca resistencia y bajo peso específico, las bolsas se rompen al trasladar los residuos al camión recolector, lo cual baja la eficiencia del proceso por los tiempos de espera, incrementa los costos, contamina y da mala imagen a los municipios (ProMIR, 2005).

El almacenamiento temporal se define como la retención temporal de los RSU entre la fuente de generación –almacenamiento in situ- y la recolección, con el fin de minimizar inconvenientes que ocasionan y evitar riesgos a la salud o al ambiente hasta que sean utilizados o entregados al sistema de recolección del Sistema de Aseo Urbano (SAU) de la localidad (INE-Semarnat, 2002).

Al igual que sus capacidades existen diferentes tipos de diseños de los contenedores (ver la figura 3.8).



Figura 3.8 Contenedores de RSU utilizados en la etapa de almacenamiento temporal

En las etapas de almacenamiento se recomienda depositar los residuos segregados por subproductos, de manera higiénica en contenedores adecuados con el fin de aprovecharlos al máximo, evitando se genere fauna nociva, malos olores y una imagen poco favorable para la localidad.

Las características de los contenedores de RSU son (Domínguez, 2006):

- Capacidad suficiente para recibir los residuos generados
- Con tapa para evitar que se liberen malos olores e ingrese fauna nociva
- Sin aristas afiladas para seguridad de usuario
- De fácil manejo para su limpieza, mantenimiento y desinfección
- De material resistente -plástico, aluminio o acero inoxidable- a agentes externos como la humedad

Los sistemas de almacenamiento están constituidos por dos elementos principales: el sitio de ubicación y las características de los contenedores. Ambos elementos deben estar diseñados de acuerdo con la composición de los residuos, su cantidad, peso volumétrico y la frecuencia de recolección establecida por el SAU que proporciona el servicio (INE-Semarnat, 2002).

Cabe mencionar, que los residuos no deben exceder de dos a tres días en la etapa de almacenamiento para su recolección y transporte. El motivo de ello es que parte de los residuos –residuos orgánicos- se descomponen generando líquidos conocidos como lixiviados que arrastran contaminantes solubles y sólidos pequeños difíciles de transportar (Jiménez, 2001).

3.5 Recolección y transporte

De acuerdo a la Ley General de Residuos Sólidos del Distrito Federal, la recolección es la acción de recorrer las áreas donde están ubicadas las fuentes de generación, recolectar los RS generados y trasladarlos a las instalaciones para su transferencia, tratamiento y disposición final.



Durante la recolección se debe conservar los materiales separados para mantenerlos limpios y poder aprovecharlos. Por ello, los vehículos de recolección deben ser especiales para que cada subproducto sea transportado en forma adecuada hasta los centros de reprocesamiento o estaciones de transferencia.

Con el sistema de recolección se pretende disminuir los riesgos a la salud al minimizar el tiempo de residencia de los RSU en la fuente de generación, evitando malos olores y proliferación de fauna nociva.

Existen diferentes formas de recolectar los residuos de la ciudad, como el intradomiciliario, por contenedores, acera, esquina y parada fina, éste último el más común (ProMIR, 2005).

- **Intradomiciliario:** En esta modalidad, los operarios del vehículo recolector entran hasta la casa-habitación por los contenedores de RSU, los vacían en el camión recolector y los regresan hasta el sitio de donde los tomaron.
- **Por contenedores:** El vehículo recolector debe detenerse en puntos donde los contenedores temporales están ubicados y los vacían.
- **Acera:** Consiste en recorrer con el vehículo las calles de la zona e ir recolectando los residuos generados en presencia o no del usuario. En esta modalidad únicamente es necesario dejar los residuos fuera del domicilio.
- **Esquina:** La cuadrilla de recolección cuenta con un campanero que avisa a los pobladores para que lleven sus RSU hasta un punto preestablecido donde se estaciona el vehículo.
- **Parada fija:** El vehículo de recolección se detiene en ciertos puntos y horarios predeterminados donde los usuarios han depositado sus RSU unos minutos antes o acuden personalmente a dejarlos y esperan al camión.

Las autoridades municipales cuentan con vehículos de diferentes tipos. Estos vehículos están constituidos por el chasis, la cabina y la caja. La caja puede o no tener mecanismos para compactación o simplemente ser camiones de volteo o de redilas, cuando tienen mecanismos de compactación, por la forma de depósito, se les denomina de carga lateral, trasera o frontal.

Los equipos más utilizados son los camiones compactadores con capacidad de 10 a 15 m³ con los que se recolecta de 6 a 8 toneladas por viaje. En el caso de las cajas, éstas varían de 0.5 hasta 18 m³ cuando no tienen compactación y hasta 30 m³ los de compactación. En localidades con mayor marginalidad es común encontrar que su flota de camiones son de tipo volteo, hasta en un 50%, cuya capacidad oscila entre 6 a 8 m³ y recolectan de 1.2 a 1.6 toneladas por viaje y los de redilas de 3.5 a 8 toneladas.

Existe también un tipo de camión exclusivamente diseñado para dar servicio a contenedores denominado roll on/roll off, puede ser de balancín o góndola y son utilizados para residuos de gran peso volumétrico (INE- Semarnat, 2002).



Figura 3.9 Equipos más utilizados en la etapa de recolección y transporte de RSU.

La recolección por lo general se realiza en dos turnos, en cuanto al personal de operación, en algunas ocasiones la cuadrilla está compuesta por otros elementos no incluidos en la nómina municipal que realizan la denominada pepena. La pepena consiste en separar los subproductos que son factibles de comercializar como metales, cartón, papel, botellas de plástico, vidrio y latas de aluminio principalmente. En promedio cada jornalero –personal destinado a actividades exclusivas de recolección- recolecta entre dos y cuatro toneladas por turno (INE-Semarnat, 2002).

La recolección no sólo involucra la recogida de RSU sino también su transporte. Según datos del Preliminar Inventario de Residuos Sólidos del 2009, el D.F. cuenta con 2 mil 623 unidades recolectoras de diferentes capacidades que van desde los 0.5 m³ a los 18 m³.

El transporte de los RSU, desde el lugar en que se almacenan hasta la siguiente fase del sistema de manejo, puede realizarse en dos modalidades: cuando el mismo vehículo recolector realiza el viaje hasta el sitio de tratamiento o disposición final y cuando los RSU son transportados hasta estaciones de transferencia para su posterior traslado a los sitios de tratamiento o disposición final, a través de vehículos denominados tractocamiones o transfer de cajas con capacidad entre 14 y 25 toneladas, si se considera un peso volumétrico de 350 kg/m³ (INE-Semarnat, 2002).

En la etapa de recolección y transporte se ve involucrado el barrido de calles y áreas públicas. El barrido se lleva a cabo manualmente en la mayoría de las calles, mientras que en las avenidas principales y vías rápidas se realizan por medios mecánicos. Se ocupan dos tipos de barredoras: la de tres ruedas, de baja velocidad, con cepillos y bandas elevadoras para la descarga de los RS en las tolvas de almacenamiento; y la de cuatro ruedas que consta con cepillos laterales y un mecanismo de succión que absorbe y deposita en la tolva de almacenamiento que puede estar o no equipada con descarga elevada o de volteo (INE-Semarnat, 2002).



3.6 Transferencia

Esta etapa tiene como propósito reducir el número de viajes para llevar los residuos sólidos al lugar de tratamiento o disposición final que, comúnmente, se localiza fuera de la ciudad. Esta fase se emplea cuando las distancias entre el punto de generación y el sitio de disposición final o tratamiento supera los 15 km (Jiménez, 2001).

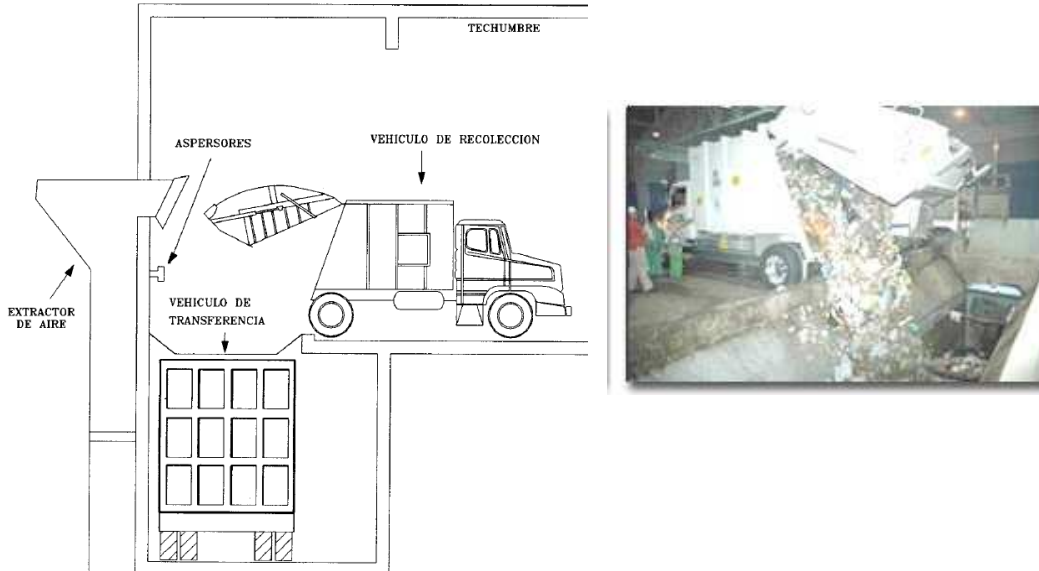
De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (INE), una estación de transferencia es el conjunto de equipos e instalaciones en donde se hace el transbordo de basura de un vehículo recolector a otro con mayor capacidad de carga, el cual transportará dichos residuos hasta su tratamiento o disposición final.



Figura 3.10 Esquema de estación de transferencia.

Las estaciones de transferencia deben estar ubicadas de manera que queden lo más cerca posible al centro de gravedad de las localidades por atender (INE-Semarnat, 2002). Las estaciones de transferencia son de tres tipos (INE, 1996).

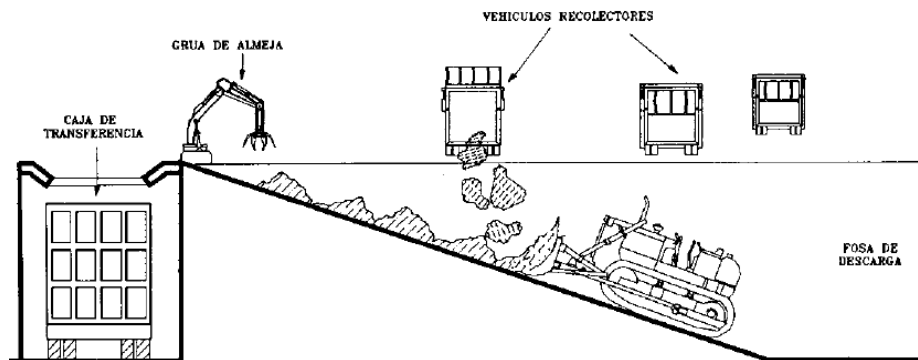
- Estaciones de descarga directa: En este tipo de estaciones se recibe a los vehículos, se registran y se pesan para posteriormente ser dirigidos a las rampas de acceso donde se ubican las líneas de servicio, las cuales cuentan con varias tolvas que descargan por gravedad los residuos al vehículo de transferencia que una vez llenos, se cubren con una lona para que los RSU no se dispersen en el traslado al sitio de disposición final.



Fuente: INE, 1996

Figura 3.11 Estación de descarga directa.

- Estaciones de descarga indirecta: De la misma forma, los vehículos recolectores son registrados y pesados, pero ahora, se dirigen a la plataforma para verter los residuos a la fosa, regresando después a la báscula donde son pesados nuevamente, con esto se obtiene la cantidad de residuos transferidos. Los residuos son removidos de la fosa con grúas hacia las cajas de transferencia, los cuales se mueven por medio de un montacargas hacia la zona de despunte, posteriormente, es enganchada al tráiler que los transportará al sitio de disposición final.



Fuente: INE, 1996

Figura 3.12 Estación de descarga indirecta.

- Estaciones de descarga combinada: Se cuenta con las características de los dos sistemas anteriores de transferencia, usándolos simultáneamente o uno en vez de otro, para dar mantenimiento o en situaciones de contingencia.

Existen dos tipos de camiones que se emplean en las estaciones de transferencia: los que están equipados con sistemas hidráulicos de compactación y descarga, y los que tienen un piso móvil



con cadenas sin fin -denominado piso vivo o *walking floor*- para el acomodo y descarga de los residuos en los sitios de tratamiento o disposición final (ver figura 3.13).



Fuente: Secretaría de obras y servicios, 2010

Figura 3.13 Camiones empleados en las estaciones de transferencia.

Hoy en día, el D.F. cuenta con 13 estaciones de transferencia y están localizadas en 12 delegaciones, con un rango de influencia de 7 kilómetros cada una (ver figuras 3.14 y 3.15). Las estaciones de transferencia del gobierno del D.F. son cerradas, con la finalidad de controlar los efectos ambientales adversos, tales como ruido, polvo, fauna nociva y malos olores, además de que cuentan con sistemas de aspersión en la zona de descarga, áreas verdes de amortiguamiento y brigadas de limpieza constante (INE-Semarnat, 2002).



Fuente: Secretaría de obras y servicios, 2010

Figura 3.14 Estaciones de transferencia del D.F.

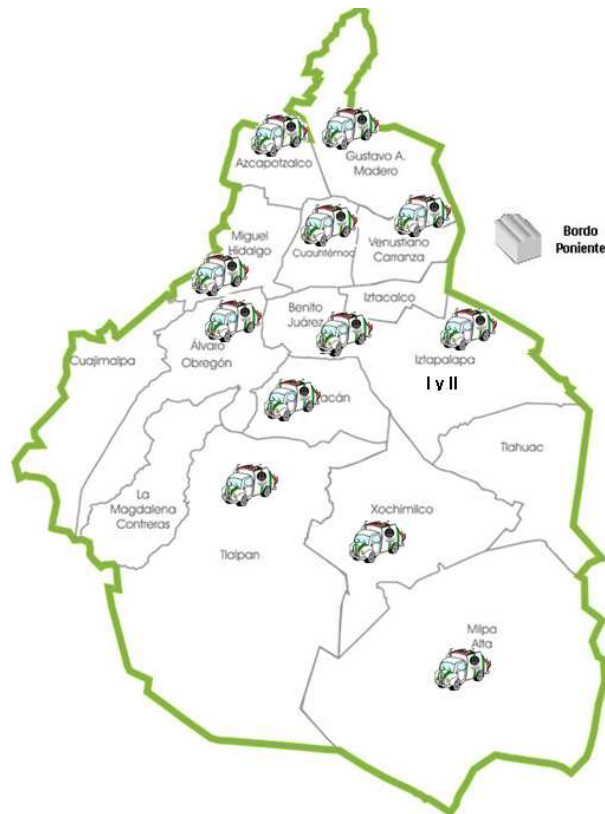


Figura 3.15 Localización de las 13 estaciones de transferencia en el D.F.

3.7 Tratamiento

Esta penúltima etapa consiste en actividades de aprovechamiento de los RSU como fuente de energía o materia prima para otros procesos antes de ser dispuestos de forma definitiva.

Las plantas de tratamiento permiten el ahorro de recursos naturales renovables y no renovables, prolongan la vida útil de los sitios de disposición final al reducir el volumen dispuesto, además de la creación de empleos y la preservación del ambiente (INE-Semarnat, 2002).

El tratamiento puede ser un procedimiento biológico, térmico, mecánico o químico, mediante el cual se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad (LRSDF, 2003). La selección del tratamiento dependerá de su costo, el mercado, la tecnología disponible y la composición de los residuos.

Tratamientos biológicos

Se enfocan a los residuos orgánicos mediante dos métodos: el aerobio, en presencia del aire; el anaerobio, sin presencia de aire.



- **Aerobio:** Uno de estos tratamientos es el composteo de los residuos orgánicos, donde sus componentes se biodegradan en presencia de aire en forma natural o inducido de manera controlada hasta convertirlos en abono.
- **Anaerobio:** La biodigestión es un tratamiento anaerobio de los residuos orgánicos que emplea contenedores cerrados –biodigestores- para obtener biogás (gas combustible formado por metano - C_{H_4} - en una proporción que va de un 50% hasta un 70% y dióxido de carbono - C_{O_2} -) que se puede utilizar en hornos estufas, calderas o para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas.

Actualmente en Bordo Poniente se tiene una planta de composta, con más de 6 000 m², administrada por la Dirección General de Servicios Urbanos de la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del D.F (ver figura 3.18). El programa de construcción inicio en 1988 y su principal objetivo es reducir el volumen de residuos orgánicos que se depositan en este relleno sanitario. Sin embargo, la planta sólo trata el 0.16% del 46.44% de residuos orgánicos generados por el D.F. (INE-Semarnat-GTZ, 2006).



Fuente: CEPRONA, 2010

Figura 3.16 Planta de composta aeróbica en el D.F.

La composta producida se utiliza en los parques y jardines de las delegaciones del D.F., en las áreas verdes de escuelas públicas y para sanear las celdas del relleno sanitario.

Tratamientos térmicos

Pueden llegar a reducir el volumen de los residuos hasta en un 90%. Dentro de este tratamiento existen principalmente tres tipos: incineración, pirólisis y gasificación.

- **Incineración:** Los RSU son trasladados a una caldera de combustión donde se queman a altas temperaturas. Los vapores y gases generados pasan a una caldera secundaria donde se les somete a un proceso de limpieza, añadiéndoles cal y carbón activado con el objeto de absorber las sustancias tóxicas como metales pesados, después, estos gases y vapores pasan a través de un filtro que retiene las partículas. Por último, los gases son liberados por una chimenea y el vapor sobrecalentado alimenta las turbinas para generar energía eléctrica. Las cenizas generadas se recolectan para disponerse en



los rellenos sanitarios o para usarse como agregados en la industria de la construcción (INE-Semarnat, 2002 y Elías, 2003).

- **Pirólisis:** Este tipo de tratamiento es la descomposición de los residuos orgánicos por calentamiento a altas temperaturas, bajo presión y en una atmósfera pobre en oxígeno. Al capturar los gases producidos durante el proceso se puede obtener energía en forma de calor para generar electricidad.
- **Gasificación:** Este tratamiento es usado para convertir materiales orgánicos en un gas combustible de bajo poder calorífico, mediante un proceso térmico que permite la conversión de un residuo sólido en un combustible gaseoso, a través de la oxidación; como agente oxidante se puede emplear vapor, oxígeno o aire.

Tratamientos mecánicos

Permiten reducir el volumen de los residuos que han de evacuarse; ya sea por enfardamiento – compactación- o trituración (Hüttner, 2003).

- **Enfardamiento:** Consiste en un sistema de prensado de los residuos a presiones del orden de los 100 a 2000 kg/cm² para producir fardos –bloques-, reduciendo el volumen original hasta una quinta parte. Posteriormente, estos bloques pueden ser revestidos con tela y sumergidos en un baño asfáltico o de cemento para mejorar su protección.
- **Trituración:** Consiste en la reducción de la granulometría de los residuos por medio de molinos, facilitando el proceso de biodegradación en los residuos orgánicos.

Tratamientos químicos

Existen diferentes tratamientos químicos, entre ellos: la precipitación o floculación de sustancias disueltas y la neutralización que usa la cal como agente neutralizante de materiales ácidos.

Entre los principales materiales recuperados en el D.F. se encuentran: metales como el aluminio, hierro y cobre; vidrio como botellas de refresco y cerveza, vidrio ámbar, transparente y verde; cartón; todo tipo de papel incluyendo periódico; y plásticos como PVC, PET, plástico rígido y nylon. El material que no se recupera es llevado al sitio de disposición final Bordo Poniente (INE-Semarnat, 2002).

3.8 Disposición final

La disposición final de los RSU es la última fase del sistema y es la acción de depositar o confinar permanentemente RS en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos (LRSDF, 2007).

Esta etapa representa la forma menos deseada de tratar los residuos generados (ver figura 3.17). Un relleno sanitario es una instalación de ingeniería utilizada para la evacuación de residuos sólidos en el suelo o dentro del manto de la tierra sin crear incomodidades o peligros para la seguridad o la salud pública, tales como la reproducción de plagas nocivas y la contaminación de aguas subterráneas.



Figura 3.17 Acciones jerarquizadas dentro del sistema GRSU

Existen tres tipos de rellenos sanitarios: de zanja o trinchera, área o combinado y en todos los casos se debe realizar una impermeabilización del terreno para después depositar sobre él los RS (INE-Semarnat, 2002).

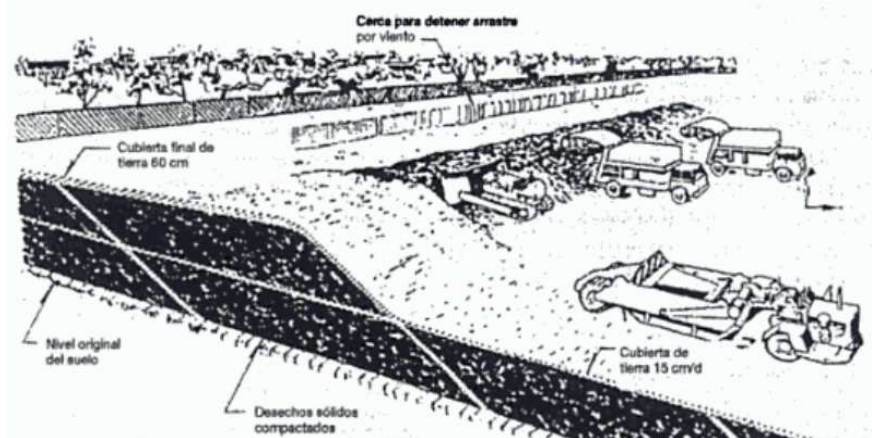
- De zanja: Este método se utiliza en regiones planas. Consiste en excavar periódicamente zanjas donde los RS son depositados y acomodados para luego compactarlos y cubrirlos con tierra (CEPIS, 2009).

Se debe tener especial cuidado con las lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas, por lo que es recomendable construir canales perimétricos para captarlas y desviarlas e incluso proveer a las zanjas de drenajes internos.



Figura 3.18 Relleno sanitario tipo zanja

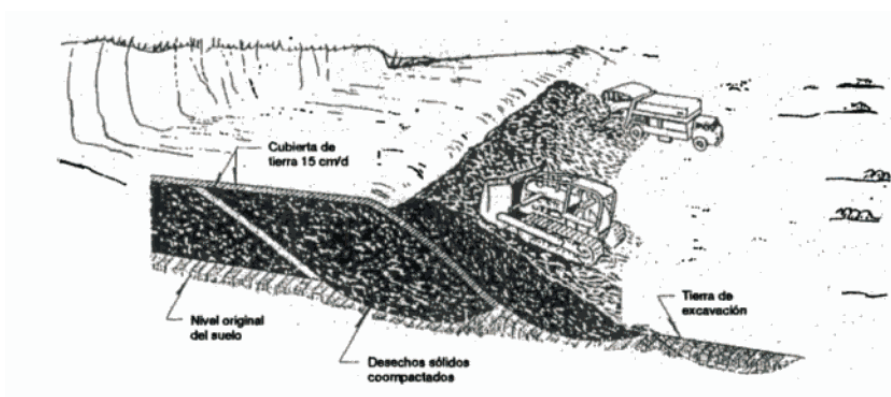
- De área: Se realiza en superficies relativamente planas. Las celdas se construyen con una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleve el relleno (CEPIS, 2009).



Fuente: Jiménez, 2001

Figura 3.19 Relleno sanitario tipo área

- **Combinado:** Es cuando el terreno en donde se realiza el relleno sanitario ya ofrece la pendiente y la profundidad para en él depositar los RSU, sin necesidad de realizar una zanja o una pendiente, combinándose ambos tipos de rellenos sanitarios.



Fuente: Jiménez, 2001

Figura 3.20 Relleno sanitario tipo ladera.

En los rellenos sanitarios se generan diferentes gases; entre ellos el metano. Cuando estos gases no son aprovechados se instalan chimeneas, tubos de venteo o lumbreras con el objetivo de evacuarlos de forma controlada y prevenir incendios o explosiones.