

## V. El manejo de los residuos sólidos no peligrosos

M.I.A. Hugo Alejandro Nájera Aguilar

### Introducción

**H**oy en día, en los centros urbanos del territorio nacional, los problemas en materia ambiental que se presentan son múltiples, y por lo regular están relacionados con la contaminación del aire, carencia de infraestructura para el tratamiento de las aguas servidas, afectación del suelo y de los acuíferos -afectados por malos manejos en los residuos peligrosos y no peligrosos-; sólo por citar algunos de los más importantes. A lo anterior, se suma el inusitado y desordenado crecimiento demográfico registrado en las últimas décadas, que se traduce en una alta demanda de servicios, acompañada del incremento en los niveles de marginación y de un decremento de la calidad de vida; fenómeno urbano que a su vez, presiona los ecosistemas ambientales, afecta la biodiversidad y deteriora los recursos naturales, poniendo en riesgo sobremanera, la calidad de vida de generaciones futuras además de la productividad del suelo y la calidad de los acuíferos.

En el presente trabajo se abordan las etapas que comprende el manejo de uno de los rubros que más trascendencia tiene hoy en día por las repercusiones que causa al ambiente; nos referimos a los residuos sólidos, y en particular, a los catalogados como no peligrosos y que cualquier individuo genera constantemente.

Cada una de las etapas reviste gran importancia y son temas de amplia discusión, en especial la generación, almacenamiento, recolección

y la disposición final, dado a que estas cuatro siempre estarán presentes no importando los volúmenes de basura producidos ni en tamaño de la población. Sin embargo, dado los alcances y objetivos del trabajo, sólo se abordarán los aspectos más trascendentes del manejo de los residuos sólidos no peligrosos, y se hará mayor énfasis en la etapa que más problemas de contaminación ocasiona, como lo es la disposición final. Asimismo, considerando la trascendencia de esta etapa, se comentará de manera general la situación que observan los municipios del estado de Chiapas con respecto a la forma de disponer la basura y el grado de cumplimiento con la normatividad ambiental.

## Antecedentes

Desde las sociedades primitivas hasta las modernas, el hombre ha empleado los recursos de la tierra para vivir y ha dispuesto sus residuos en ella. En las primeras, la generación de residuos no representaba un problema dado a que las poblaciones eran pequeñas, nómadas y con residuos predominantemente de naturaleza orgánica que fácilmente podían reincorporarse al suelo. En las sociedades actuales esto no sucede.

Así, los problemas de disposición de residuos aparecen en el tiempo en que las primeras agrupaciones de personas se hacen sedentarias y comienzan a formar poblados con la consecuente acumulación de basura.

Con el advenimiento de la Revolución Industrial, se incrementa el problema ocasionado por los residuos sólidos ya que se incorporan nuevos materiales, muchos de los cuales no son de naturaleza orgánica, o bien, si lo son pero refractarios. Es así, que acompañado de los beneficios de la tecnología vinieron los problemas ocasionados por los subproductos resultantes, no sólo del producto final, sino también de los generados durante las diferentes etapas de los procesos industriales. De esta manera, la Revolución Industrial significó el inicio de una sociedad tecnificada con crecientes problemas por la generación y disposición de residuos.

Es claro hoy en día, que una de las formas de reducir la cantidad de desechos sólidos a disponer, es limitar el consumo de las materias primas, hacerlas más biodegradables e incrementar las tasas de reci-

claje y revalorización de los residuos. A pesar de la simplicidad de los esquemas, se ha probado que efectuar estos cambios en una sociedad tan tecnificada, es tarea -hasta ahora- muy difícil de llevar a la práctica, con una sociedad cada vez más absorbida por la falsa cultura del “útese y tírese” impulsada por la voracidad del actual sistema del mundo capitalista que prácticamente controla el planeta.

## Residuos sólidos ¿qué son y cómo se clasifican?

Cualquier actividad desarrollada por el hombre, desde sus funciones vitales hasta las más superfluas, producen diversos materiales que no son susceptibles de utilizarse de forma directa en la misma actividad y por tal razón son considerados residuos<sup>[1]</sup>. Existen muchas definiciones de residuos sólidos, todas con el común denominador de percibirlos como materiales indeseables para quien los generó, y con la necesidad de deshacerse de ellos. A continuación se citan algunas de ellas.

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos “se entiende por residuo sólido cualquier basura, desperdicio, lodos y otros materiales sólidos generados o resultantes de las actividades industriales, comerciales y de la comunidad. No incluye sólidos o materiales disueltos en las aguas domésticas servidas o cualquier otro contaminante significativo en los recursos hídricos, ni los sedimentos, ni los sólidos suspendidos o disueltos en los efluentes de aguas servidas industriales, ni los materiales disueltos en las aguas de los canales de descarga de la irrigación, ni otros contaminantes comunes en el agua”.

Una definición menos extensa pero igual de completa es la siguiente: “los residuos sólidos son todos los desechos que surgen de las actividades humanas y animales, que normalmente son sólidos y que se desechan como inútiles o no requeridos”<sup>[1]</sup>.

La definición anterior es clara, un material se convierte en desecho una vez que éste no represente valor alguno en el espacio y tiempo donde se haya producido. De esta manera, lo que para algunos es material de desecho, para otros puede significar la materia prima que, a través de un proceso de conversión, pueda revertir su efecto nocivo por un beneficio adicional para las actividades productivas que lo generan.

En lo referente a las definiciones manejadas en el territorio nacional, destacan las siguientes:

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)<sup>[2]</sup> en su Art. 3ro. Frac. XXXI define el término de residuo como “cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó”.

Ahora bien, de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), un residuo “es todo material o producto que se desecha, que puede encontrarse en estado sólido o semi-sólido, líquido o gaseoso, estar contenido en recipientes o depósitos, y ser susceptible de valoración o sujetarse a tratamiento o disposición final”.

Por su parte en LGPGIR al igual que en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003<sup>[3]</sup>, a partir de lo que hasta antes del año 2003 se conocía como Residuos Sólidos Municipales, se derivaron los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y los Residuos de Manejo Especial (RME); los primeros son definidos como “los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que generen residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías públicas y lugares públicos”. En tanto que los segundos, son concebidos como “los generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como RSU, o que son producidos por grandes generadores de RSU”.

En cuanto a su clasificación, existen muchas formas de hacerlo; una de las más sencillas es agruparlos según su fuente de generación: domiciliarios, agrícolas, agropecuarios, industriales, de aeropuertos, etcétera. Ahora bien, toda esta gama de residuos sólidos pueden quedar integrados en dos grandes grupos: residuos sólidos peligrosos y no peligrosos. Estos últimos, la LGPGIR los clasifica en RSU y RME. Asimismo, la Ley en su Art. 18 subclasifica a los RSU en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria, de conformidad con los programas estatales y municipales que se establezcan.

Por su parte los RME de acuerdo con el Art. 19 de esta Ley, quedan subclasificados en diez fracciones, donde quedan comprendidos los residuos de las rocas o los productos de su descomposición; los de servicios de salud, con excepción de los biológico-infecciosos; los de actividades agrícolas, pesqueras, silvícolas, forestales, avícolas y ganaderas; los de servicios de transporte; los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales; los de centros comerciales; los de construcción y demolición en general; y los residuos tecnológicos provenientes de las industrias.

## Efectos de los residuos sólidos en el medio ambiente

El manejo de los residuos sólidos en general, representa un problema común para todas las poblaciones y cuya magnitud está directamente relacionada con las cantidades de residuos producidos; a mayor generación, mayor complejidad del problema. Por ejemplo, la generación de residuos sólidos urbanos depende de la población y del proceso de urbanización. En América Latina, en 1975, la población urbana ascendía a 192,026,000 (61%) y en el 2005 a 420,768,000 (77%)<sup>[4]</sup>. O sea, en 30 años la población que requería servicios de limpieza urbana creció más del 110%. En este aspecto, México no es la excepción. De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología, de los 103,263,388 habitantes registrados en el año 2005<sup>[5]</sup>, la población urbana ascendió a más del 70% y por lo tanto, se requiere de esquemas para dotar a las poblaciones de servicios apropiados de limpieza urbana, para alcanzar una gestión integral adecuada en el manejo de los residuos sólidos.

Desafortunadamente, la problemática que envuelve el manejo de los residuos sólidos se ha agudizado en las últimas décadas, y es a partir del inicio de los años 90, cuando las autoridades competentes comienzan a tomar cartas en el asunto al percatarse de la magnitud y consecuencias que trae consigo el manejo inadecuado de los residuos. Los cuales, día a día adquieren mayor importancia, con una generación ascendente como consecuencia del crecimiento demográfico acelerado, de los cambios de hábito de consumo, de un mejor nivel de vida, así como de un desarrollo industrial. Hasta hace unos 50 años la generación de residuos por persona era de 0.300 Kg/hab/día, mientras que para el año 2004 era de 0.900

Kg/hab-día<sup>[6]</sup>, y para el año 2006 se estima una generación de 0.679 Kg/hab/día para zonas rurales y 1.339 Kg/hab/día en zonas urbanas<sup>[7]</sup>. Pero el problema no radica solamente en la cantidad, sino también en la calidad o composición, que pasó de ser densa y casi completamente orgánica a voluminosa, menos biodegradable y con porcentajes ascendentes de materiales tóxicos. Todo ello ha contribuido a una contaminación creciente del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales.

Sin lugar a dudas, el impacto mayor por el manejo de los residuos sólidos se tiene en la etapa de disposición final, cuya práctica común en el territorio nacional ha sido los denominados Tiraderos a Cielo Abierto (TCA), donde los residuos se depositan sobre el suelo sin control alguno, generando por este hecho una serie de agresivos efectos hacia el hombre y el medio en el que se desarrolla. En primer término se tiene la decadencia del paisaje; el impacto estético no es sólo del sitio en sí, sino que además diversos objetos ligeros contenidos en los residuos sólidos son esparcidos por el viento, afectando áreas vecinas. El aire se contamina cuando los incendios se producen, el humo afecta la visibilidad y provoca irritaciones nasales, así también, se suman las afectaciones pulmonares por los malos olores generados durante la descomposición bajo condiciones predominantemente anaerobias, de la materia orgánica presente.

La contaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas es la afectación más seria y menos reconocida por el vertido de la basura al suelo, ocurre por el proceso de formación de un líquido llamado lixiviado, el cual se produce durante la descomposición de los desechos y por efecto del paso del agua de lluvia a través de ellos. Algunos autores<sup>[8]</sup> definen al lixiviado como el agua de lluvia que pasa a través del sitio de disposición final (SDF) además del líquido que se genera en la degradación de los desechos dentro de un relleno sanitario. Otros autores<sup>[9]</sup> definen a estos líquidos como aguas residuales complejas generadas cuando el contenido de humedad o de agua de los residuos sólidos en un relleno sanitario, es mucho mayor a su capacidad de campo.

Los lixiviados provienen de desechos muy heterogéneos en composición y arrastran todo tipo de contaminantes, muchos de ellos en concentraciones elevadas, por lo que es catalogado como uno de los más complejos y difíciles de tratar<sup>[10]</sup>, al contener desde concentraciones ele-

vadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos incluyendo ácidos húmicos, nitrógeno amoniacal y metales pesados, hasta sales inorgánicas<sup>[8,11]</sup>.

Asimismo, no hay que olvidar que un SDF no controlado resulta ser un hábitat ideal para el desarrollo y proliferación de cierta fauna nociva para el hombre, como son: moscas, mosquitos, cucarachas y ratas; todos ellos vectores biológicos, transmisores de una serie de enfermedades, por lo que representan un peligro a la salud pública.

Por otro lado, la presencia de pepenadores en estos sitios, procurando obtener algunos materiales que le sean de cierta utilidad, para reusarlos o comercializarlos, ocurriendo todo ello en condiciones de insalubridad y vergonzosa marginación, le da a la problemática ambiental antes descrita, un sesgo social pocas veces considerado en los programas tendientes a mejorar la gestión para el manejo de la basura. Con las actividades de pepena y segregación practicadas por estos grupos, se recuperan diversos materiales, como son: plásticos, papel, cartón, vidrio, latas y fierro, con tasas verdaderamente marginales.

De lo anterior se desprende la necesidad de implantar sistemas de manejo que reduzcan los impactos antes citados. Estos sistemas involucran todas las actividades asociadas con la gestión de los residuos sólidos dentro de la sociedad; desde la generación, almacenamiento in situ, recolección, transferencia y transporte, recuperación y/o tratamiento, hasta la disposición final<sup>[1]</sup>.

## Normatividad aplicable

El Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, se divide en VIII subcomités. El subcomité III trata la Normatividad relacionada con los Residuos Municipales, Materiales y Residuos Peligrosos. Como se mencionó en párrafos anteriores, los Residuos Municipales hoy en día son manejados bajo los términos de RSU y RME.

En lo referente a la normatividad existente para el manejo de los RSU, se resumen los siguientes puntos.

El artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos otorga el poder a los municipios para manejar de forma autónoma sus residuos sólidos urbanos.

Por su parte, en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)<sup>[12]</sup> en su Capítulo IV “Prevención y Control de Contaminación del Suelo” se establecen los siguientes artículos al respecto:

Art. 134. Prevención y control de la contaminación del suelo por residuos.

Art. 135. Ordenación urbana, servicio de limpia y sitios de disposición final.

Art. 137. Autorización del funcionamiento de sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RSM).

Art. 139. Contaminación por lixiviados.

Art. 140. Disposición de residuos de lenta degradación.

Mientras que la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en su artículo 10 estipula que los municipios tienen a su cargo la Gestión Integral de los RSU y RME. Esta Ley dentro del artículo 5 define a esta actividad como las acciones que desarrolla la autoridad municipal para manejar y gestionar adecuadamente los RSU y RME de su comunidad. De igual manera, en dicho artículo el Manejo Integral de los Residuos es concebido como la parte técnica de la gestión integral e incluye a todos los aspectos relacionados con los RSU y RME.

En suma, la LGPGIR reglamenta las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en lo que se refiere a la protección al ambiente, en materia de prevención y gestión de los residuos, y establece bases para: principios de valorización, responsabilidad compartida, manejo integral, criterios de gestión integral, mecanismos de coordinación entre entidades, mercado de subproductos, participación de la sociedad, creación de sistemas de información referentes a gestión de RSU y RME, prevención de la contaminación de sitios, fortalecimiento de la innovación tecnológica, establecimiento de medidas de control y seguridad, entre otras<sup>[13]</sup>.

Ahora bien, la actividad de disposición final, etapa donde ocurren los procesos de estabilización y transformación de los residuos sólidos dentro de los SDF, con la consecuente generación de los subproductos de mayor riesgo -biogás y lixiviados-<sup>[14,15]</sup>, se encuentra regulada por la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 la cual



establece las “Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un SDF de RSU y RME”. De acuerdo con esta Norma, los rellenos sanitarios se categorizan según la cantidad de RSU y RSM que reciben diariamente, tanto de domicilios, comercios e industrias (no peligrosos), como de los servicios de limpieza de calles y lugares públicos. La norma fue publicada el 20 de octubre de 2004 y entró en vigor a partir del 19 de diciembre del mismo año.

Por otro lado, también existen Normas Mexicanas cuyo objetivo es el de estandarizar procedimientos tales como: NMX-AA-15-1985 Muestreo-Método de cuarteo, NMX-AA-19-1985 Determinación del peso volumétrico “*in situ*”, NMX-AA-22-1985 Selección y cuantificación de subproductos, NMX-AA-61-1985 Determinación de la generación, entre las principales.

## Etapas del manejo de los residuos sólidos

Para evitar los efectos negativos de los RSU y RME en la salud de la población y en el medio ambiente, debe brindarse una gestión y manejo integral de los residuos. Este último, tal y como se estableció en el apartado 5, trata la parte técnica de la gestión integral e incluye a todos los aspectos relacionados con los RSU y RME<sup>[13]</sup>, en otras palabras, el manejo de los residuos sólidos puede definirse como “la disciplina asociada con el control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento y disposición final de residuos sólidos de una manera que sea acorde con los mejores principios de salud pública, economía, ingeniería, conservación, estética y otras consideraciones ambientales”. Cada una de las etapas funcionales que forman el sistema de manejo de residuos sólidos está íntimamente relacionada con las otras, como se muestra en la figura 1.

En la figura 1 puede observarse que el flujo seguido por las flechas que relacionan las cajas en oscuro, son los esquemas de manejo de residuos sólidos que comúnmente han operado en el territorio nacional, lo que ha tenido efectos nada favorables para el ser humano y en general para los seres vivos. Dentro de las principales consecuencias se tienen:

mayor explotación de recursos naturales para la síntesis de nuevas materias primas, saturación de los SDF con materiales orgánicos de baja biodegradabilidad, reducción en la vida útil de los SDF, mayor afectación al suelo, aire y cuerpos de agua por la emanación de lixiviados y biogás, entre los principales.

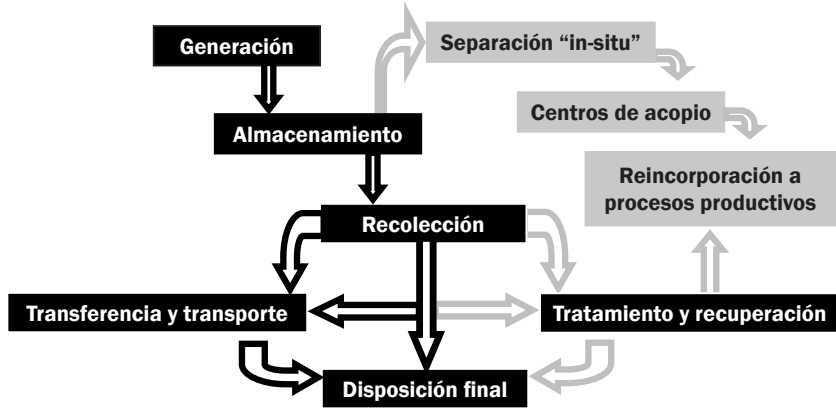


Figura 1. Diagrama simplificado del manejo de los residuos sólidos. (Fuente: Adaptado de Tchobanoglous *et al.*, 1994)

En los últimos años -aunque lentamente- estos esquemas se han ido modificando para algunas ciudades, en gran parte por las nuevas políticas de los tres órdenes de gobierno, que se han percatado de la magnitud del problema por el manejo inadecuado de los residuos sólidos, especialmente en su disposición final. Se ha impulsado la valorización y separación de subproductos -en algunos casos desde la misma fuente-, actividades de reciclaje desde la etapa de recolección, instalación de mayores centros de acopio, y la conducción de subproductos hasta los procesos productivos, es decir, se ha seguido el flujo de materiales indicado por las flechas de color gris, con lo que se disminuye en parte, las consecuencias adversas arriba mencionadas.

Hay mucho de qué hablar en cada una de las etapas del manejo de residuos sólidos, pero el objetivo del trabajo no es profundizar en cada una de ellas, por lo que a continuación solo se abordará su definición e importancia dentro del sistema.

## Generación

La generación constituye la primera etapa del manejo de los residuos sólidos, en la que todo individuo participa de manera directa desde el momento en que se producen materiales indeseables o no requeridos, y por lo mismo, son desechados. En otras palabras, la generación hace referencia a la cantidad de desechos producidos por unidad de fuente generadora en un período de tiempo dado.

Las unidades con las cuales se representa la generación, están en función del origen de los desechos. Por ejemplo, la generación de residuos de procedencia domiciliaria, se expresa en Kg/hab-día. Expresión que puede ser aplicable a los residuos comerciales, o bien, la de Kg/# clientes. Mientras que la generación de origen industrial, se expresa en Kg/unidad de producción o Kg/m<sup>2</sup>.

Ahora bien, las tasas de generación para los RSU y RME se ven afectadas por diversos factores, como son: localización geográfica, estación del año, frecuencia de recolección, poder adquisitivo de la población, operación de pepena y reciclaje, legislación, características de la población, entre los principales.

Para determinar la cantidad generada de ellos, pueden emplearse diferentes métodos:

- Análisis de conteo de carga
- Análisis peso volumen
- Análisis de balance de materiales
- Muestreo simple estratificado

Los dos primeros, presentan la desventaja de que se analiza sólo lo que se recoge, es decir, los residuos que llegan al sitio de disposición final. Por lo tanto, con estos dos métodos no se analiza lo que realmente se genera. Sin embargo, son métodos que se adecuan a las necesidades de la legislación en el País, dado que la cantidad de residuos sólidos a la que hace referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMAR-NAT-2003 dentro de las cuatro categorías con las cuales clasifica a los Rellenos Sanitarios, se refiere a la cantidad de basura que se recibe en el SDF y no la que se genere en el lugar de estudio.

El tercer método tiene más aplicación en industrias, donde puede tenerse un mejor control de las entradas y salidas del proceso. Por último, el cuarto método es el que más aplicación ha tenido, y se encuentra regido por la Norma Técnica NMX-AA-61-1985 -Determinación de la generación de residuos sólidos-.

## Almacenamiento y reducción en la fuente

Se refiere a la acción de almacenar temporalmente en el punto de generación la basura producida en tanto se entrega al servicio de recolección. En el caso de casas-habitación, los recipientes de almacenamiento son pequeños y su capacidad puede variar desde los 10 hasta 100 litros aproximadamente. De igual manera, el material de los recipientes es diverso, predominado las bolsas de polietileno y los botes de plástico rígido.

Para puntos de mayor generación tales como mercados, panteones, restaurantes, plazas comerciales, entre otros, se disponen desde tambos de 200 litros de capacidad -de plástico o metálico- hasta cajas metálicas contenedoras (fig. 2). Durante esta etapa, se ven involucrados aspectos de salud pública y estética, en cuanto al manejo en la fuente y el procesamiento “*in situ*”.

El manejo en la fuente involucra todas las actividades asociadas con el manejo de los residuos sólidos hasta que se depositan en recipientes utilizados para su almacenamiento antes de su recolección.

En el procesamiento “*in situ*”, lo que se persigue es la reducción del volumen de los materiales, alterar su forma física y la recuperación de subproductos que puedan ser reincorporados a los sistemas de producción.



Figura 2. Contenedor metálico para una fuente de alta generación (panteón mpal. SCLC).

De acuerdo con algunos autores<sup>[16]</sup>, según el lugar, el almacenamiento puede ser del tipo domiciliario, institucional o industrial.

## Recolección

Esta actividad consiste en retirar los residuos sólidos de las diferentes fuentes de generación y trasladarlos a puntos de concentración donde se vacía el contenido de los vehículos de recolección, como pueden ser una estación de transferencia (ET) o el SDF; la primera, puede acompañarse de actividades de segregación de subproductos para posteriormente trasladar los residuos descartados para su reciclaje, al SDF del lugar. En el territorio estatal opera únicamente una ET.

La recolección de residuos sólidos en áreas urbanas es una tarea difícil y compleja, debido a que la generación de los RSU y RME es un proceso difuso que tiene lugar en cada casa, edificio de departamentos y en cada instalación comercial e industrial, así como en las calles, parques, panteones y mercados. Adicionalmente, el crecimiento desordenado de la población y en zonas con topografías del terreno poco accesibles, con caminos de terracería en mal estado, pendientes pronunciadas, un solo sentido, etc., ha complicado la tarea de recolección.

Los problemas logísticos asociados a la recolección se hacen cada vez más complejos debido a que los patrones de generación se vuelven más difusos y a que la cantidad total de residuos sólidos se incrementa.

Aunque estos problemas han existido siempre en alguna medida, ahora resultan más críticos debido a los altos costos de los combustibles y la mano de obra. De la cantidad total del presupuesto asignado al Sistema de Aseo Urbano -recolección, transporte y disposición final-, se gasta alrededor del 50% en la operación de recolección cuando en el servicio se incluye transferencia; el 75% sin transferencia y, del 90% cuando la disposición final se realiza en un tiradero a cielo abierto (TCA)<sup>[17]</sup>. Este hecho es muy importante ya que una pequeña mejora en la operación de recolección puede representar un ahorro sustancial en los costos totales del manejo de los RSU y RME.

Existen diferentes tipos de servicios de recolección: el de acera, recolección de callejuela, llevar y traer, el de llevar, el que se le proporciona a comercios e industrias, etc. Con respecto a este último, es muy difícil definir cualquier tipo de servicio que sea representativo, debido al hecho de que la recolección de residuos sólidos industriales depende de la localidad y del tipo de industria. Por lo general, se utilizan grandes contenedores con aditamentos para moverlos y/o compactadores estacionarios.

En los servicios comerciales en los cuales se utilizan contenedores con ruedas, los contenedores cargados se llevan manualmente al vehículo de recolección y se vacían también manualmente. Debido al gran peso involucrado, otra forma es la recolección directa. Cuando se utilizan contenedores muy grandes, toda la operación se realiza por medios mecánicos.

**Sistemas de recolección.** Los sistemas de recolección de residuos sólidos pueden clasificarse desde muchos puntos de vista, tales como modo de operación, equipo utilizado, y tipos de desechos recolectados. Tchobanoglous *et al.*<sup>[1]</sup> clasifican a los sistemas de recolección según su forma de operación en dos categorías: sistemas de transporte de contenedores y sistemas de contenedores estacionarios. El primero se refiere a los sistemas de recolección en los cuales los contenedores utilizados para almacenar los desechos se transportan al sitio de disposición, se vacían y se devuelven a su ubicación original o a alguna otra. Estos sistemas son ideales para la remoción de desechos producidos en fuentes de alta tasa de generación, debido al tamaño relativamente grande de los contenedores utilizados. Una de las ventajas de los sistemas de

transporte de contenedores es su flexibilidad, ya que están disponibles en muchas formas y tamaños para todo tipo de desecho.

Los sistemas de recolección en los cuales los contenedores o recipientes utilizados para almacenar los desechos permanecen todo el tiempo en el punto de generación, con excepción de los viajes cortos ocasionales que realizan al vehículo de recolección, se conoce como sistema de contenedores estacionarios. Los cuales, pueden ser utilizados para la recolección de todo tipo de desechos. Estos sistemas pueden variar según el tipo y la cantidad de desechos que se requiere manejar, así como por el número de puntos de generación. Existen dos tipos principales: sistemas de carga mecánica y sistemas de carga manual.

De acuerdo con la SEMARNAT y la GTZ<sup>[7]</sup>, dentro de la recolección pueden distinguirse tres grupos:

- El barrido o limpieza de la vía pública
- La domiciliaria o recolección directa en casas, comercios, etcétera
- La especializada

Los dos primeros grupos queda claro qué tipo de residuos se recolectan. La tercera hace referencia a residuos inadecuados para trasladar al SDF; por ejemplo, escombros, electrodomésticos, mobiliario, etcétera, así como los RME, que generalmente carecen de programas específicos y terminan en terrenos baldíos, barrancas y derechos de vías.

**Rutas de recolección.** Son los puntos de generación que recorre un vehículo para recolectar los residuos sólidos. En el diseño de rutas deben considerarse ciertos factores dentro de los cuales destacan los siguientes:

1. Identificación de políticas y reglas relacionadas con la recolección (métodos, puntos de recolección y frecuencias).
2. Coordinación de equipo y condiciones existentes (tales como el tamaño de la cuadrilla y el tipo de vehículo).
3. Cuando sea posible, las rutas se deben diseñar de forma tal que empiecen y terminen cerca de calles o avenidas con buena circulación, utilizando las barreras físicas como fronteras de ruta.
4. Topografía. En áreas de topografía irregular, las rutas deben empezar en la parte más alta e ir recolectando hacia la parte más baja, para evitar que el vehículo cargado suba cuestas pronunciadas.

5. Fin de ruta. El último punto de recolección de la ruta debe de estar localizado lo más cerca posible de la estación de transferencia o del SDF.
6. Densidad del tráfico. Los residuos que se recolectan en zonas de mucho congestionamiento vehicular, deben cubrirse lo más temprano posible en el día, o bien, mediante recolección nocturna.
7. Fuentes de alta generación. El servicio de recolección en zonas de alta generación de residuos debe proporcionarse durante la primera parte del día.
8. Fuentes de poca densidad de población y poca generación. En lo posible, se debe considerar el servicio en un viaje, o al menos el mismo día.

## Estaciones de transferencia (ET)

El empleo de ET no es nada nuevo; cuando se establecieron los primeros sistemas de recolección de residuos sólidos, las ET eran una necesidad, ya que el servicio se prestaba en pequeños vehículos de tracción animal, por lo que era necesario un lugar donde estos vehículos depositaran sus residuos de manera temporal, para transferirlos posteriormente a vehículos de mayor capacidad y trasportarlos fuera de la población. Con el advenimiento de los vehículos automotores las ET cayeron en desuso. Actualmente, el crecimiento desordenado de las poblaciones, la carencia de espacio para ubicar sitios de tratamiento y disposición final de residuos cercanos a las poblaciones y los aumentos en los costos de adquisición de los vehículos de recolección, gasolina, lubricantes y mano de obra, ocasionan que en muchos casos el empleo de ET sea una necesidad.

El objetivo central de una ET es el de incrementar la eficiencia global del servicio de recolección de residuos sólidos, y puede definirse como el conjunto de instalaciones y equipos donde se lleva a cabo el transbordo de los residuos sólidos, de vehículos recolectores de menor capacidad a camiones de mayor capacidad de carga, conocidos como vehículos de transferencia. A través de éstos últimos, se efectúa el transporte final de la basura de la ET hasta el sitio de disposición final.



Con la operación adecuada de la ET, no solamente se logra reducir el tiempo ocioso de mano de obra, sino también los costos y tiempos de transporte de los residuos sólidos. Estos ahorros se deben básicamente a las causas siguientes:

- El tiempo improductivo de transporte de los camiones de recolección se reduce, debido a que ya no tienen que viajar hasta su destino final, con lo cual se obtiene un ahorro en los costos unitarios de operación.
- Al reducirse el kilometraje recorrido por los vehículos de recolección, se origina un ahorro en los costos de operación.
- Los costos de mantenimiento de la flotilla de camiones recolectores se reducen, debido a que las unidades que la integran, ya no transitarán más hasta el SDF, lugar en donde por lo general sufren daños las suspensiones, muelles, ejes y llantas, acentuándose dichos daños en época de lluvias.

Además de las ventajas anteriores, una ET ofrece las siguientes:

- Una mayor regularidad en el servicio de recolección de los residuos sólidos, por un mayor control ejercido sobre las unidades, así como por la disminución de la ocurrencia de desperfectos mecánicos de menor grado
- Al transitar únicamente los camiones de transferencia hasta el SDF, se reduce la contaminación atmosférica ocasionada por los gases de combustión interna de las unidades.
- Se reducen las afectaciones a la salud pública al minimizarse la generación de olores ofensivos, acarreo de moscas y la anulación de dispersión de residuos en las unidades recolectoras cargadas, al no transitar más hasta el SDF.

Las ET pueden ser de tres tipos: descarga directa, indirecta y combinada. En la primera, los residuos sólidos de los vehículos recolectores son transbordados mediante vaciado por gravedad a los camiones descubiertos, cuya capacidad varía de 25 a 60 m<sup>3</sup>. En la segunda, los residuos antes de ser descargados a los vehículos de mayor capacidad, son colocados en áreas de clasificación para la recuperación de subpro-

ductos. Mientras que la combinada, es el resultado de una mezcla de las primeras. En la figura 3 puede verse los componentes de una ET de descarga directa.

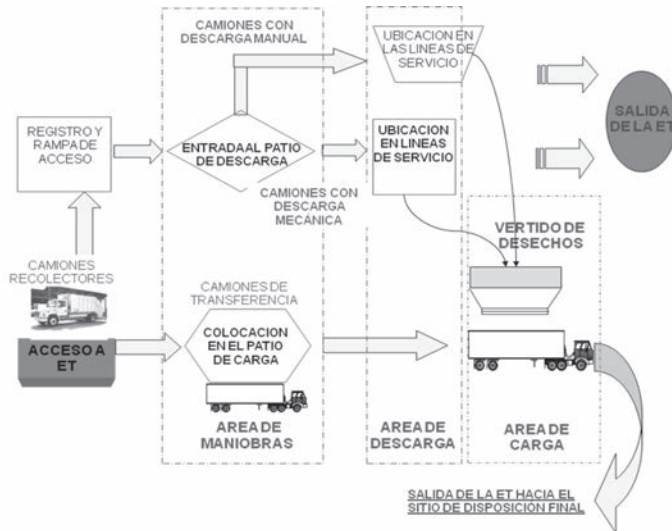


Figura 3. Componentes de una ET de descarga directa.

## Tratamiento y recuperación

Existen diferentes opciones de recuperación y tratamiento de residuos sólidos, tales como la trituración, compactación, la incineración, el composteo, el vermicomposteo, entre otros. En este apartado se tratarán las principales características de algunos de ellos.

**Compactación.** Las compactadoras pueden reducir el volumen original de los residuos hasta un 70%, solamente se pueden utilizar para una pequeña proporción de los residuos sólidos generados. Aunque el uso de estos equipos reduce el volumen en bruto de los residuos que hay que manejar, el peso, por supuesto, sigue igual.

La compactación es muy importante en instalaciones comerciales. Como la mayoría de los procesos son muy específicos de cada industria, no se ha hecho ningún intento de documentación respecto a los múltiples procesos que se utilizan.

**Trituración.** Es un proceso unitario por el que se reduce mecánicamente el tamaño de los materiales residuales recogidos. Se utiliza el término trituración para describir las operaciones mecánicas de reducción de tamaño. El objetivo de la reducción de tamaño es obtener un producto final que sea razonablemente uniforme y considerablemente reducido en tamaño comparándolo con su forma original. Hay que resaltar que la reducción en tamaño no implica necesariamente una reducción en volumen. En algunas situaciones, el volumen total del material puede ser mayor que el volumen original después de la reducción en tamaño.

El equipo utilizado para la reducción de tamaño incluye trituradoras para vidrio, madera, plásticos, etcétera. Uno de los equipos más comunes utilizados para reducir el tamaño de los residuos sólidos en el molino de martillos.

Hoy en día, esta operación representa una opción muy atractiva para la gente involucrada con las actividades de reciclaje, dado que con ella se reducen los costos en almacenamiento y transporte de los subproductos segregados.

**Incineración.** La incineración puede definirse como el proceso térmico de los residuos sólidos mediante oxidación química en presencia de oxígeno, donde puede reducirse el volumen de los residuos (alrededor del 90%) y su peso (en 75%) con la posibilidad de recuperar energía.

La incineración de los sólidos no es en realidad una forma de eliminarlos, porque la mayor parte de las sustancias sólidas contienen elementos combustibles que dejan cenizas residuales. Dentro de los principios básicos que rigen la combustión de los residuos sólidos se encuentran los siguientes:

- Exceso de aire
- Utilización mínima de aire de inyección inferior
- Utilización adecuada del aire secundario
- Temperatura
- Volumen suficiente de combustión
- Tiempo de permanencia

La operación de un incinerador provoca la producción de diversas emisiones gaseosas y partículas, muchas de las cuales se piensa que

pueden tener graves impactos sobre la salud, a pesar de que la contaminación sigue siendo una preocupación importante en la implantación de este tipo de sistemas, se pueden cumplir los requisitos más estrictos sobre control de contaminación atmosférica, sin embargo, el costo de la tecnología es aún elevado.

Entre las emisiones de contaminantes de los incineradores de residuos sólidos reguladas en Estados Unidos, otros países de Europa y en México con la Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMAR-NAT-2002<sup>[18]</sup>, se cuentan el CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partículas, los metales, los gases ácidos, las dioxinas y furanos.

**Composteo.** Uno de los procesos de conversión biológica más populares e importantes es el composteo, y se concibe como aquél en el cual la materia orgánica alcanza su estabilidad bajo condiciones controladas y en un menor tiempo que el requerido bajo condiciones no controladas<sup>[19]</sup>. La degradación es llevada a cabo por el metabolismo catabólico de una serie sucesiva de microorganismos, abarcando desde bacterias mesofílicas y termofílicas hasta hongos mesofílicos. El desarrollo de este proceso permite la destrucción de microorganismos patógenos, lo cual es de gran importancia, pudiéndose manejar cualquier desecho de naturaleza orgánica; el producto final puede emplearse como mejorador de suelos<sup>[16,20]</sup> o material de cobertura en rellenos sanitarios<sup>[21]</sup>.

Durante el proceso de composteo, están activos diversos microorganismos aerobios facultativos y obligados. El proceso se caracteriza por la presencia de temperaturas altas con la consecuente remoción de patógenos, ausencia de olores, y estabilización más rápida de los desechos<sup>[22]</sup>.

El composteo aerobio funciona en ambas regiones de temperatura, entre 30 y 38°C en la etapa mesofílica y en el rango de 50 y 60°C en la fase termofílica<sup>[1]</sup>.

Respecto a la tecnología empleada en el proceso, existen 3 métodos: el de hilera, el de pila estática aireada y el de biorreactor; los dos primeros se realizan a cielo abierto, y el de bioreactor es un sistema cerrado donde el proceso se desarrolla dentro de un digestor.

Como en todo proceso, se tendrán factores que deberán controlarse para el buen funcionamiento del sistema. En el composteo se tienen dos tipos de factores: los ambientales y los relacionados al sustrato. En

el grupo de los primeros, se encuentran la disponibilidad de oxígeno, temperatura, contenido de humedad y pH, mientras que en los segundos, la naturaleza del mismo, su porosidad y tamaño, y la disponibilidad de nutrientes.

Abordar cada uno de estos factores es amplio, por lo cual solo se menciona la importancia de los más relevantes.

**Disponibilidad de oxígeno.** Este factor durante el proceso es de primordial importancia, ya que el composteo es una oxidación biológica, en la cual es usado por los microorganismos como receptor terminal de electrones para la respiración aerobia, y la oxidación de varios tipos de sustancias presentes en los materiales<sup>[23]</sup>.

Las necesidades de oxígeno dependen de la composición de los desechos, de su naturaleza y estructura, así como del tamaño de partícula. Por ejemplo, una combinación de desechos altamente biodegradables con una población microbiana vigorosa demanda una cantidad mucho mayor de oxígeno que una combinación de materiales refractarios con poblaciones poco densas<sup>[16]</sup>.

Aunque en teoría se sabe que la cantidad de oxígeno requerido es determinado por la cantidad de carbono a ser oxidado, es imposible llegar a una cantidad precisa de oxígeno requerido sobre las bases del contenido de carbono en los desechos, ya que una fracción desconocida de carbono se convierte a material celular y otra de naturaleza refractaria permanece inaccesible para los microorganismos<sup>[19]</sup>.

**Contenido de humedad.** El contenido de humedad permisible y la disponibilidad de oxígeno se encuentran estrechamente interrelacionados<sup>[16]</sup>. Cuando el agua excede al valor permisible, el aire contenido entre los intersticios de los desechos se ve desplazado por las partículas de agua, presentándose zonas anaerobias, lo que propicia un descenso de temperatura y la producción de olores ofensivos<sup>[24]</sup>.

Aunque el contenido de humedad óptimo en el composteo varíe y esencialmente dependa del estado físico y del tamaño de las partículas<sup>[23]</sup>, se considera un rango entre 50 a 60%<sup>[1]</sup>.

**Temperatura.** Durante el proceso se pueden observar 4 etapas: mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración, con un perfil típico como el mostrado en la figura 4<sup>[25]</sup>.

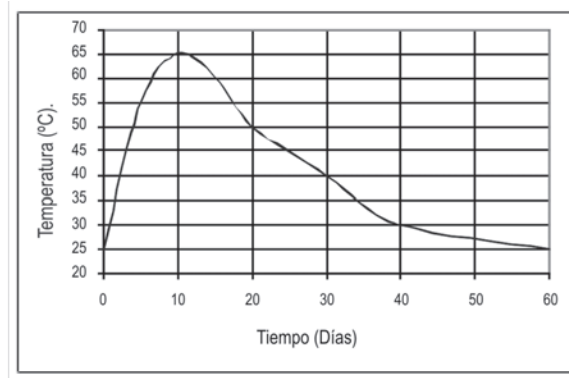


Figura 4. Curva típica del perfil de temperatura durante el proceso de composteo.

La etapa mesofílica ( $<40^{\circ}$ ) es promovida por la disponibilidad inicial de nutrientes, donde los microorganismos participantes presentan una gran actividad reflejándose en el carácter exponencial del incremento de temperatura<sup>[19]</sup> con una duración de 24 a 72 hrs. Al pasar el umbral de  $40\text{-}45^{\circ}\text{C}$ , los microorganismos mesofílicos, dejan de participar activamente, dando paso a los microorganismos responsables de la fase termofílica.

Dependiendo del sistema empleado y de la naturaleza de los desechos, el período termofílico ( $50\text{-}65^{\circ}\text{C}$ ) puede persistir de una a tres semanas y luego comenzar a declinar gradualmente hasta alcanzar la temperatura ambiente. Durante este período es necesario alcanzar temperaturas altas para la destrucción de patógenos. De acuerdo con la EPA, la pila debe exponerse a temperaturas de  $55^{\circ}$  durante 48 horas para destruir la microflora patógena<sup>[1]</sup>.

Cuando los materiales de fácil degradación (azúcares, almidones, otros) han sido composteados, los materiales refractarios prevalecen, y la actividad microbiana disminuye acompañada del descenso en la temperatura, lo que señala el inicio de la etapa de enfriamiento<sup>[19]</sup>. Las temperaturas registradas durante este período permiten el desarrollo de eumicetos y actinomicetos, los cuales son los principales descomponedores de polímeros de cadena larga, celulosa y lignina<sup>[26]</sup>. La finalización de esta etapa se presenta cuando la temperatura de la pila se aproxima a la del ambiente o la iguala<sup>[27]</sup>.

Después de la etapa de enfriamiento o estabilización inicia la fase de maduración. La cual se asocia con el potencial de crecimiento de las plantas o la fitotoxicidad<sup>[28]</sup>.

**Relación carbono-nitrógeno (C/N).** De los requerimientos nutricionales para los microorganismos, la relación carbono-nitrógeno contenida en los desechos es el factor más importante. Los microorganismos al utilizar los compuestos orgánicos como fuente de energía, convierten 2/3 partes de carbono a dióxido de carbono. El carbono remanente pasa a formar parte de la pared o membrana celular, protoplasma y productos de almacenamiento. Respecto al nitrógeno, los microorganismos lo emplean únicamente en la formación de nuevas células, por ello, durante el proceso de composteo los microorganismos requieren mucho más carbono que nitrógeno<sup>[19]</sup>, lo que explica el descenso en la relación C/N a lo largo del proceso.

Para que los microorganismos puedan utilizar correctamente la combinación de nutrientes, estos deben encontrarse en proporciones adecuadas. Por lo regular, muchos autores consideran 25 partes de carbono por 1 de nitrógeno<sup>[1,16]</sup> o 30 partes de carbono por 1 de nitrógeno<sup>[24]</sup>. A estas proporciones se les conoce como la relación óptima de nutrientes en el proceso de composteo.

En general, materiales que son verdes y húmedos tienden a contener mucho nitrógeno, y aquellos que son cafés y secos presentan un alto contenido de carbono. En la tabla 1 se citan algunos de ellos.

Tabla 1. Materiales con alto contenido de carbono y materiales ricos en nitrógeno<sup>[29]</sup>.

<b>Materiales con alto contenido de carbono</b>	<b>Relación C/N</b>	<b>Materiales con alto contenido de nitrógeno</b>	<b>Relación C/N</b>
Hojas de otoño	30-80:1	Residuos vegetales	15-20:1
Paja	40-100:1	Residuos de café	20:1
Trozos de madera y aserrín	100-500:1	Recortes de hierbas	15-25:1
Corteza	100-130:1	Estiércol	5-25:1
Papel de periódico o cartón	560:1		

## Disposición final

La disposición final se entiende como la última actividad en la cual los residuos son descargados en forma definitiva; los principales métodos son los siguientes:

1. Vertido a corrientes de agua o al mar
2. Tiraderos a cielo abierto
3. Relleno sanitario

La disposición de los residuos a cuerpos de agua es inaceptable ambientalmente debido al desequilibrio ecológico que se produce, sobre todo por la generación excesiva de nutrientes y carga orgánica aportada al agua, dando lugar a la eutroficación de los cuerpos de agua.

Los tiraderos a cielo abierto, aunque no es un método de disposición adecuado, es el más utilizado en los municipios del país, además, es el método más antiguo para la disposición de los residuos sólidos urbanos. Cuando la basura se acumula en un lugar como éste, sin haber recibido tratamiento alguno, originan muchas afectaciones al entorno y representan un riesgo de salud pública. Las principales repercusiones de esta práctica de disposición inadecuada, ya fueron comentadas anteriormente.

De los métodos citados, el único ambientalmente aceptable, es el relleno sanitario, ya que diseñado, construido y operado en forma correcta, los impactos al entorno y los riesgos a la salud, se reducen casi en su totalidad.

La necesidad de atender la disposición final de los residuos sólidos es un asunto que no puede seguir postergándose, ya que según indicadores de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, válidos para la región de América Latina, es paradójicamente la actividad a la que, por un lado, se le destinan menos recursos humanos y económicos, mientras que, por otro lado, es la que implica un mayor daño a la salud pública y un alto riesgo ambiental.

Así, el relleno sanitario se concibe como un conjunto de instalaciones utilizadas para la disposición segura y fiable a largo plazo de los residuos sólidos, diseñadas, construidas y operadas con el fin de minimizar los im-



pactos ambientales y efectos negativos que ésta pudiera tener sobre la salud pública. En el relleno sanitario se utilizan principios de ingeniería para lograr el confinamiento adecuado de los residuos sólidos.

En términos generales, la técnica del relleno sanitario consiste en depositar la basura por capas sobre una superficie impermeabilizada, distribuyéndola y compactándola con maquinaria pesada, para reducir su volumen y maximizar así la vida útil del relleno. Diariamente se aplica una capa de material inerte que sirve de cubierta, sobre la celda diaria de basura, preferentemente material del sitio, con lo que se evita la proliferación de vectores sanitarios y de malos olores.

La descomposición de los residuos genera subproductos que pueden salir ya sea en forma de líquidos o gases; los primeros, también llamados lixiviados, deben ser adecuadamente manipulados, para evitar que contaminen el medio ambiente; los segundos o comúnmente denominados biogás, constituye un interesante recurso energético si es que se canaliza y explota apropiadamente.

Una forma de clasificar a los rellenos sanitarios está relacionada con la forma de operación de los mismos, en este caso se tienen 3 tipos: el de zanja o trinchera, el de área y el combinado; el primero, es aplicable cuando el nivel freático en el sitio no está cercano a la superficie, los espesores de suelo son de fácil excavación y el mismo material de excavación se aprovecha como cubierta diaria; el segundo, es recomendado para superficies relativamente planas o en aquellas donde no sea factible excavar, o bien, el nivel de aguas freáticas se encuentre muy cercano a la superficie; finalmente, el tercer tipo, como su nombre lo dice, es una combinación de los dos primeros. Lógicamente, cualquiera de estos rellenos sanitarios, demandan obras de control como son los sistemas de impermeabilización -naturales o sintéticos- para el control de lixiviados y pozos de venteo para el control del biogás.

## El manejo de los residuos sólidos en el territorio nacional y estatal

En las últimas décadas, el problema de la explosión demográfica y el desarrollo tecnológico en el país, ha estimulado un cambio en los hábitos de consumo de la población con la falsa cultura del consumismo, inci-

diendo en la generación de grandes cantidades de residuos sólidos en los asentamientos humanos, lo que ha rebasado la capacidad de la naturaleza para neutralizar los problemas de contaminación ambiental.

Al igual que sucede con la mayor parte de las localidades del país, en el estado de Chiapas, el manejo de los residuos sólidos no peligrosos generalmente involucra las etapas de generación, almacenamiento, recolección y disposición final, excepto en algunas ciudades por arriba de los 100 mil habitantes, en las cuales se cuenta con ET. En el caso del estado de Chiapas, únicamente la ciudad de Tuxtla Gutiérrez cuenta con una ET.

A continuación se abordan aspectos generales observados en cada una de estas etapas y que se repite en menor o mayor escala en los municipios del territorio nacional y en prácticamente la totalidad de los municipios de la entidad, esto de acuerdo con información generada por el extinto Instituto de Historia Natural y Ecología (IHNE, 2004), ahora Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Urbano y Vivienda (SEMADUVI).

Así, las extintas dependencias estatales en materia ambiental -Secretaría de Ecología, Recursos Naturales y Pesca (SERNyP) y el IHNE-, entre los años de 1995-2001 realizaron estudios de generación en las 18 cabeceras municipales principales del estado, tomando como referencia la metodología establecida en la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985. Asimismo, efectuaron estudios de macro ruteo y micro ruteo para el mejoramiento de los sistemas de recolección en seis ciudades del estado.

De igual manera, en otras ciudades a partir del 2001 se realizaron estudios de macro localización de sitios para la disposición final de los residuos sólidos y cursos de capacitación en el área.

Por otro lado, a partir del año 2003 se realizaron diagnósticos en materia de residuos sólidos para ciertas regiones del estado, así como evaluaciones técnicas de ubicación conforme a la normatividad ambiental aplicable.

Los datos y resultados más relevantes de toda esta serie de estudios realizados en el Estado, pueden resumirse como sigue.

- La generación per cápita domiciliar oscila entre 0.3989 y 0.9417 Kg/hab-día.

- La generación per-cápita total promedio en el estado hacia el año 2003 era de 0.8769 Kg/hab-día, mientras que para el año 2007 de acuerdo con lo proyectado, se encuentra en 1.04 Kg/hab-día.
- Considerando la generación per cápita promedio del año 2003 y la población en el Estado, la cantidad de basura estimada era de 3,645 ton/día, mientras que para el 2007 puede alcanzar cerca de las 4,700 ton/día.
- El peso volumétrico promedio de los residuos sólidos es de aproximadamente 197 Kg/m<sup>3</sup>. Dato importante para calcular el número de unidades de recolección necesarias así como la capacidad de equipos contenedores.
- En cuanto a la composición de los residuos domiciliarios, la materia orgánica sigue siendo en principal subproducto, con una aportación del 57.7%.

En lo relacionado al servicio de recolección y transporte se destaca lo siguiente:

- En la mayoría de las localidades, el número de unidades disponibles para la recolección no son suficientes ni adecuadas. Aunque en las principales ciudades se cuenta con un trazo de rutas de recolección, con prioridad hacia las zonas de alta tasa de generación.
- El estado actual de las unidades de recolección van en su mayoría de regular a malas, producto de la ausencia de programas de mantenimiento preventivo y correctivo, a lo se suma las condiciones poco adecuadas de los caminos y las largas distancias que los vehículos recorren hasta llegar al SDF.
- La frecuencia de recolección es en promedio de 2 veces/semana, sin embargo, en muchas localidades de la Entidad se ofrece 1 vez/semana, e incluso, el servicio llega a ser mensual o hasta bimestral, lo que favorece la creación de tiraderos clandestinos.
- Por lo general, el personal de las cuadrillas de recolección no se encuentra capacitado y no cuenta con el equipo de protección personal mínimo ni con servicios médicos.

- Las áreas encargadas del servicio de limpia municipal no cuentan con la infraestructura suficiente para la prestación del servicio, con excepción de las principales ciudades como es el caso de Tuxtla Gutiérrez.
- Arriba del 50% de las localidades evaluadas, no cuentan con centros de acopio o de reciclaje.
- Únicamente en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se cuenta con una ET, en la que además se efectúan actividades de recuperación de subproductos. Mientras que otras ciudades como San Cristóbal de Las Casas, carecen de este tipo de instalaciones, cuando ya son necesarias.

En cuanto a la situación de la disposición final, la práctica común continúan siendo los tiraderos a cielo abierto (fig. 5), con más del 96% de los sitios operando como tales. En el apartado siguiente se comenta más ampliamente la situación de la disposición final de los residuos sólidos en el territorio estatal.



Figura 5. Tiradero a cielo abierto con actividades de “pepena”.

## La disposición final de los residuos sólidos

La disposición final de los RSU y RME en nuestro País se encuentra regulada por la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, la cual dicta a que prácticamente todos los sitios operen como rellenos

sanitarios, clasificándolos en 4 categorías en función de las toneladas de basura que el SDF reciba: categoría A para mayor a 100 ton/día; B entre 50 y 100 ton/día; C entre 10 y menos de 50 ton/día; y finalmente, categoría D si recibe menos de 10 ton/día. De tal manera, que de los 118 municipios del estado, el 2.5% pertenecen a la categoría A, alrededor del 1.7% a la B, cerca del 21% a la C, y el resto cae dentro de la categoría D.

Desafortunadamente, la disposición final predominante de los RSU y RME en el territorio estatal y en general, en el País, se lleva a cabo mediante tiraderos a cielo abierto (TCA), donde los residuos se depositan sobre el suelo sin control alguno, generando por este hecho una serie de agresivos efectos hacia el hombre y los elementos ambientales en el que se desarrolla, al afectar la calidad del aire, la calidad paisajística del sitio, el impacto hacia el suelo y subsuelo, además de la posible afectación a los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos.

De acuerdo con Orta, *et al.*<sup>[14]</sup>, en términos generales, los impactos de mayor riesgo son representados por los lixiviados y el biogás, subproductos de los procesos de estabilización y transformación que sufren los residuos sólidos dentro del SDF. De estos subproductos, considerando los volúmenes de generación de residuos y las condiciones de nuestra región, los lixiviados representan la afectación más seria y por lo regular menos reconocida al ser líquidos potencial y altamente contaminantes de las corrientes líquidas. El lixiviado se genera como resultado de la percolación del agua y de otros líquidos a través de cualquier desecho. Así, el lixiviado puede definirse como el líquido que es producido cuando el agua u otro líquido entra en contacto con los desechos<sup>[30]</sup>.

Cabe mencionar, que tanto el biogás como los lixiviados se producen tanto en rellenos sanitarios como en sitios controlados y no controlados, con la única y gran diferencia de que en estos últimos, los subproductos quedan fuera de control con las repercusiones antes mencionadas. Lo que no sucede cuando un SDF opera como relleno sanitario conforme a la norma.

## Rellenos sanitarios en el territorio nacional y tratamiento de subproductos

Los rellenos sanitarios que operan en el territorio nacional son pocos si se considera la totalidad de ciudades con las que cuenta el País, aunado a lo anterior, no todos dan cumplimiento con los lineamientos principales contemplados en la Norma, específicamente los relacionados con los sistemas de impermeabilización. Por ejemplo, hasta el año 2007, en el País existían alrededor de 67 rellenos sanitarios de los cuales únicamente 10 contaban con lagunas de evaporación. En el resto, los lixiviados escurren libremente pudiendo contaminar cuerpos de agua de los alrededores, como son los casos siguientes: en el relleno sanitario de Culiacán, Sinaloa, los líquidos fluyen hasta alcanzar el arroyo “La Loma” afluente del río “Humaya”. Otro caso se tiene con el SDF de la ciudad de Chapala, Jalisco, de donde escurren los lixiviados hacia un riachuelo que llega a la presa San Nicolás de Ibarra, localizado a 2 Km del sitio, y cuya agua es utilizada para regar sembradíos de maíz, jitomate, chícharos y ejotes, entre los principales. Problemas similares se tienen con los rellenos sanitarios de Tlaquepaque y Tonalá en el estado de Jalisco e Islas Mujeres en Quintana Roo<sup>[31]</sup>.

Dentro de los rellenos sanitarios que cuentan con laguna para la evaporación de los lixiviados y recirculación de los mismos a estratos de basura y plataformas de celdas, se tienen al de las ciudades de Mérida, Durango, Nuevo Laredo, Puebla, León, Aguascalientes, Monterrey, rellenos del Distrito Federal y del estado de México -Tlanepantla, Bordo Poniente, Tecamac, entre los principales-. La acción de utilizar la evaporación y recirculación de los lixiviados como sistema de tratamiento, se encuentra en discusión dada la generación de aerosoles y de otros compuestos peligrosos con la subsecuente exposición de los trabajadores, además de otros impactos negativos tales como posibles daños a la vegetación<sup>[32]</sup>. Por ello es necesario proporcionar tratamientos adecuados a los lixiviados, como los utilizados en las aguas residuales convencionales -sistemas biológicos o fisicoquímicos-.

Del total de rellenos sanitarios existentes en el país, únicamente los de Tlanepantla -estado de México- y de Bordo Poniente -Distrito Fede-

ral- cuentan además de lagunas de evaporación de lixiviados y sistemas de recirculación, con otros sistemas de tratamiento. El primero, emplea un serpentín de seis Km de longitud para acelerar la evaporación en los lixiviados; el segundo, utiliza un proceso fisicoquímico -la única planta de tratamiento de lixiviados en Latinoamérica- para tratar los lixivios maduros que se producen en la zona conocida como primera etapa del relleno que comprende una superficie de 70 Ha.

En lo relacionado con el manejo de Biogás, prácticamente en la totalidad de los rellenos antes mencionados, no se lleva a cabo el aprovechamiento del mismo, excepto en rellenos como los de Monterrey y Aguascalientes. En otros, únicamente se quema -como el de Tecamac, Estado de México-, mientras que en la mayoría solo se ventea.

### La disposición final de los RSU y RME en el estado de Chiapas

Concretamente para el caso del estado de Chiapas, se estima que el 96.32% de las cabeceras municipales depositan su basura en TCA sin tomar en cuenta las condiciones mínimas necesarias para localización y operación de los sitios destinados como tales. El 3.68% restante, lo disponen en entierros, denominados técnicamente como rellenos de cubierta<sup>[33]</sup>, dentro de los cuales se encuentran los SDF de San Cristóbal de las Casas, Palenque, Tapachula y Tuxtla Gutiérrez. Aunque este último, a partir del mes de Mayo del 2008, comenzó a operar como relleno sanitario categoría A, por lo que representa uno de los dos rellenos sanitarios que actualmente se registran en la entidad.

El tratamiento que en este relleno sanitario se le brinda a los principales subproductos -biogás y lixiviados-, cae dentro de la práctica común de lo que se hace en el país, esto es, los lixiviados se recolectan en una laguna de evaporación para posteriormente realizar regados periódicos a los cuerpos de basura en la celda -proceso de recirculación-, en tanto que para el biogás, solo se cuenta con pozos verticales para el venteo de los mismos.

## Acciones realizadas en el territorio estatal y alternativas de tratamiento en la disposición final de los RSU y RME

Hasta el año 2007, se habían presentado para su evaluación ante el extinto IHNE, cerca 20 estudios de Diseños de Rellenos Sanitarios para igual número de localidades, algunos de los cuales ya fueron evaluados y resueltos por lo que las autoridades de esos municipios se encuentran en la fase de gestión de los recursos, o bien, en el mejor de los casos, en la fase de construcción de la obra civil. Por lo cual se espera, que en los próximos meses otros SDF se sumen al cumplimiento de la norma para operar como rellenos sanitarios.

Referente a investigaciones enfocadas a la disposición final de los residuos sólidos en el estado, hasta la fecha son contadas. Por ejemplo, Nájera *et al.*<sup>[34]</sup> llevaron a cabo el proyecto PROY-C03-070-CHIS-2005 financiado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas (COCYTECH) a través de los Fondos Mixtos (FOMIX), donde se conocieron las condiciones reales de operación de los SDF de RSU y RME de las ciudades de Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de las Casas, constatándose que de los principales problemas ambientales que enfrentan estos lugares, es la generación de lixiviados y su nulo tratamiento. Precisamente por la problemática que envuelve la generación de este líquido, el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en colaboración con el laboratorio de monitoreo ambiental del Instituto de Historia Natural y Ecología, realizaron en los años 2005 y 2006 muestreos mensuales -3 en el año 2005 y 12 en 2006- para la caracterización de los lixiviados que se producen en el SDF de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

### Comentarios finales

En el manejo de los RSU y RME -conocidos en el léxico común como basura-, convergen varios factores que lo convierten en una de las grandes problemáticas ambientales a las cuales el hombre se enfrenta en la actualidad. Por un lado, se tiene la adquisición de la falsa cultura del consumismo, lo que aunado a la explosión demográfica, ha favorecido una generación de residuos sólidos en constante aumento con cifras



nunca antes vistas, a lo que se suma la variabilidad en su composición, de constituyentes menos biodegradables y más tóxicos; por otro lado, la falta de infraestructura para hacer frente a los servicios de recolección y en especial de disposición final, a lo que podríamos adicionarle la disponibilidad cada vez más estrecha de terrenos para tales fines, así como sitios hoy en “operación” y con una vida útil agotada, con problemas de contaminación y en la mayoría de las ocasiones, hasta de índole social.

Ante este panorama poco alentador, es indudable que todos somos responsables y por consecuencia, la tarea es de todos. No sólo de las autoridades gubernamentales en materia ambiental, ni sólo de los Ayuntamientos, todos podemos y debemos cooperar, comenzando con el primer y gran paso desde la separación de subproductos en la fuente de generación, así también como en lo relacionado a un cambio en nuestros hábitos de consumo.

Por su parte, el papel fundamental de las autoridades gubernamentales radicará en dotar de mayor y mejor infraestructura a los departamentos de limpia y de recolección de residuos, así como en las actividades relacionadas con la disposición final, con la creación de verdaderos rellenos sanitarios y la consideración dentro de sus programas de trabajo de la rehabilitación de los tiraderos a cielo abierto. De igual manera, deberán impulsarse seriamente programas de reciclaje, programas de educación ambiental, creación de mayores centros de acopio, entre otros. Finalmente, la autoridad reguladora en la materia deberá exigir que se cumpla con la normatividad ambiental establecida, de tal manera que se reduzcan las afectaciones al entorno, y por consiguiente, menores problemas de salud pública y un mejor uso de los recursos.



## Bibliografía

1. Tchobanoglous, G., Theisen, H., y Vigil, S. 1994. “Gestión Integral de Residuos Sólidos”. Ed. Mc Graw-Hill/Interamericana de España, S.A. Vol. II. pp. 774-775.
2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)
3. Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. “Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial”. 20 de Octubre de 2004.
4. Boletín Demográfico No. 63, 2002. América Latina: Población total, urbana y rural.
5. II conteo de población y vivienda 2005 – INEGI.
6. Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos (2006). SEMARNAT-INE.
7. Una propuesta para la gestión ambiental municipal de los residuos sólidos (2006). SEMARNAT – GTZ.

8. Wiszniowski, J., Robert, D., Gorska, J., Miksch, K., Weber, J. 2006. Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ Chem Lett*.
9. Wang, F., Smith, D., & El-din, M. 2003. Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment – A review. *Environmental Eng. Sci.* 2: 413-427.
10. Luna, Y., Ota, E., Vilches, L., Vale, J., Querol, X., Fernández, C. 2007. Use of zeolitised cal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. *Waste Management*. 27. 1877-1883.
11. Lopes, J., y Peralta, P. 2005. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*. B123. 181-186.
12. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)
13. SEMARNAT – GTZ. Guía para la interpretación y cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (2005).
14. Orta, L., Monje, R., Rojas, V. (1999). Manejo de los lixiviados y el biogás procedentes de rellenos sanitarios en México. *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. 42. 13-21.
15. Nivala, J., Hoss, M., Cross, C., Wallace, S. & Parkin, G. (2007). Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland. *Science of the total Environment*. 380. 19-27.
16. Díaz, L., Savage, G., Eggerth, L., y Golueke, C. (1996). “Solid Waste Management for Economically Developing Countries”. ISWA. California, USA. pp. 141, 142, 152, 158.
17. SEDESOL. Manual para la rehabilitación y clausura de tiraderos a cielo abierto.

19. Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002 “Protección ambiental – Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes”.
20. Díaz, L., Savage, G., Eggerth, L., y Golueke, C. 1993. “Composting and Recycling Municipal Solid Waste”. Lewis Publishers. pp. 135-137.
21. Bravo, A. 1996. “Técnicas y Aplicaciones del Cultivo de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*)”. Lombricultura: Compost-Lombrices. <http://www.ven.net/~adnel/eisenia.htm>. pp. 1-7.
22. Biocycle Journal of Waste Recycling 1986. Garbage Compost for Landfill Cover. Vol. 27, No 3, pp. 50.
23. Golueke, C. 1989. The Rationale For Composting. “The Biocycle guide to Composting Municipal Wastes”. The JG Press, Inc. pp 1-5.
24. De Bertoldi, M., Vallini, G., y Pera, A. 1983. The Biology of Composting: A Review. *Waste Management and Research*. Vol. 1, No 2, 157-176.
25. Flintoff, F. (1984). Management of Solid Wastes in Developing Countries. World Health Organization. Regional Office For South-East Asia. pp. 152-155.
26. Gray, K., Sherman, K., y Biddlestone, A. 1971. “A Review of Composting, Part I”. *Process Biochem.*, pp. 32-36. Citado por: RABBANI, K. R. JINDAL, R. KUBOTA, H. (1983). *Environmental Sanitation Reviews (ENSIC)*. No 10/11 October. Bangkok, Thailand.
27. Dunlap, C., y Chiang, L. 1980. Cellulose degradation: A common link. In *Utilization and Recycle of Agricultural Wastes and Residues* (M. L. Shuler, Ed.) C.R.C. Press Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A. p. 19.
28. Mooijman, K. y Lustenhoumer 1987. Maturity Assesment in Food Waste Compost. *BioCycle Journal of Waste Recycling*. Vol. 28, No 2, pp. 34-35.

29. Iannotti, D., Pang, T., Toth, B., Elwell, D., Keener, H., y Hoitink, H. (1993). A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Science and Utilization*. 1(3):52-65. Citado por: HUE, N. V. & LIU, J. (1995). Predicting Compost Stability. "Compost Science and Utilization". Honolulu, Hawaii. Vol. 3, No 2, pp. 8-15.
30. The Composter (1997). How to Compost. What is Compost?. Passive Method. <http://digitalseed.com/composter/howtocompostt.htr>.
31. Bagchi, A. 1990. Design, construction and monitoring of Sanitary Landfill. Wiley (Editorial).
32. Rojas Valencia 2007. Instituto de Ingeniería, UNAM, Coordinación de Ingeniería Ambiental.
33. Gray, D., Pollard, S., Spence, L., Smith, & Gronow, J. (2005). Spray irrigation of landfill leachate: Estimating potential exposures to workers and bystanders using a modifield air box model and generalized source term. *Environmental Pollution*. 133. 587-599.
34. Instituto de Historia Natural y Ecología -IHNE- (2004). Diagnóstico de la generación, manejo, recolección y disposición final de residuos sólidos. pp. 15, 23-24.
35. Nájera, A., Escobar C., y Vera, T. (2007). Diagnóstico ambiental de los SDF de RSU y de ME de las ciudades de Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de Las Casas. Informe Técnico. PROY-C03-070, CHIS-2005-COCyTECH.