

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

1.1 ¿Qué son los residuos?

Los residuos sólidos urbanos, como oficialmente se les llama, no son otra cosa que los residuos generados en nuestras casas como resultado de las actividades domésticas y de los productos que consumimos. Entre ellos están los desechos orgánicos que resultan de los alimentos, así como el papel, cartón, vidrio, tela y plástico, entre otros materiales, que ya no utilizamos y no queremos más en nuestros hogares. En este conjunto de residuos también se incluyen los generados en restaurantes y centros comerciales, así como en la vía pública (SEMARNAT, 2008).

La cantidad de residuos que generamos está directamente relacionada con nuestro estilo de vida. Ésto quiere decir que si compramos una gran cantidad de productos, ya sea para nuestra subsistencia, arreglo personal o entretenimiento, grande será también la cantidad de basura que produciremos. Ésto se puede observar en la Figura 1.1 en la que las líneas de consumo y producción de residuos crecen de manera paralela.

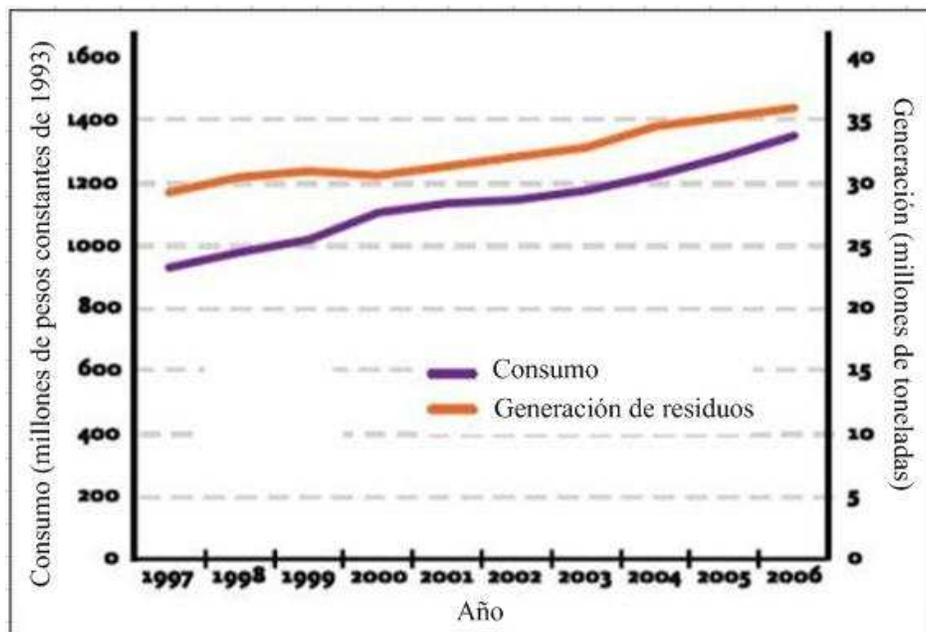


Figura 1.1 Líneas de consumo y producción de residuos (SEMARNAT, 2006)

Por otro lado, (SNZ, 2006) da a conocer la cantidad de residuos generados en Nueva Zelanda en ese mismo año, si los comparamos con los de México podemos darnos cuenta que son muy similares en ciertos campos. En la Figura 1.2 se pueden observar los resultados.

La recolección de basura está a cargo de las Delegaciones del Distrito Federal. Una amplia red de carritos atiende el barrido de calles y 2,097 camiones hacen un promedio de dos viajes diarios para concentrar los desperdicios en 13 estaciones de transferencia.

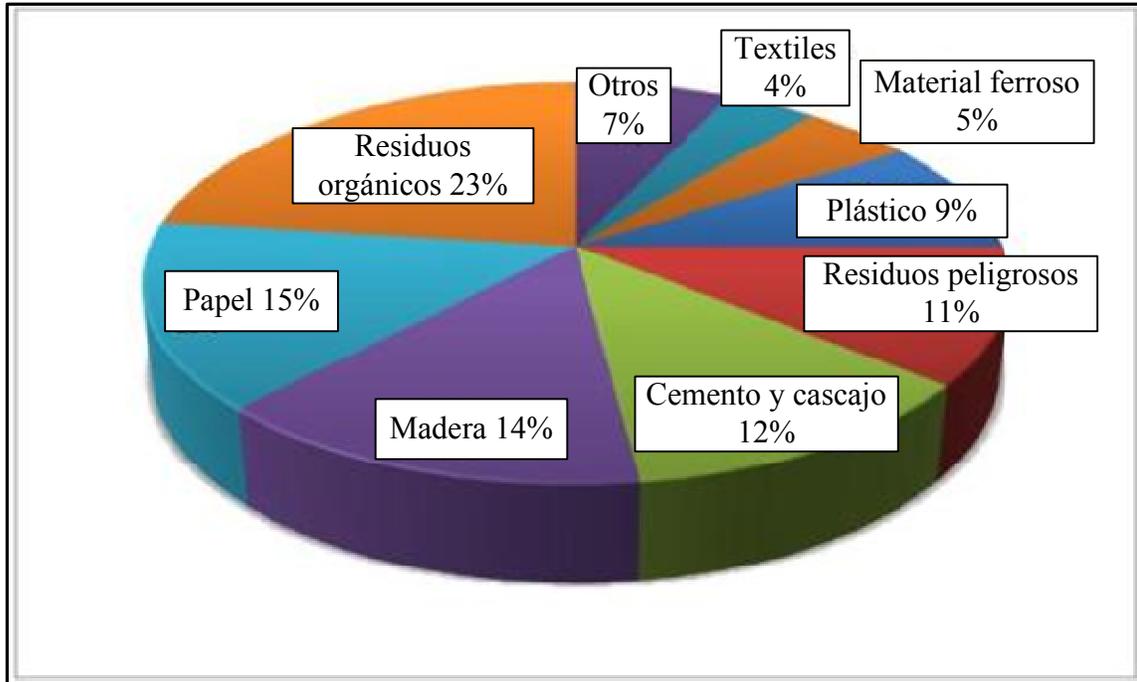


Figura 1.2 Composición de la basura en Nueva Zelanda 2004, (a partir de SNZ, 2006)

En estas estaciones, los residuos se vacían en cajas remolcadas por tracto camiones y finalmente son llevados al relleno sanitario Bordo Poniente (SMA, 2008). El manejo de los residuos sólidos ocupa una parte importante de los impuestos. Su recolección y disposición final representa elevados costos para el gobierno que administra nuestras aportaciones.

El Gobierno del Distrito Federal y las delegaciones gastan aproximadamente 1,500 millones de pesos al año en la prestación de estos servicios. En la Figura 1.3 se puede observar el gasto per cápita para el tratamiento de la basura, México se encuentra por debajo de los \$8 USD por persona anualmente (NM, 2009).

En el Distrito Federal se generan diariamente más de 12,000 toneladas de residuos, lo que aproximadamente equivale a llenar el Estadio Azteca en tres meses. Si consideramos la zona conurbana del Estado de México, actualmente la Zona Metropolitana del Valle de México genera 21,000 toneladas diarias de residuos (SEMARNAT, 2006). Se obtuvieron resultados en la Figura 1.4, si se observa la población por delegación en el D.F., en la Figura 1.5, la generación de basura por cada delegación, y en la Figura 1.6, la cantidad de camiones necesarios para su recolección en el año 2008 (SMA, 2008).

En un año se produjeron cerca de 103 millones de residuos, para darse una idea, en el 2005 los mexicanos generaron cerca de 35 millones de toneladas de basura, es decir, cerca de 350 veces el peso del concreto empleado en la construcción del Estadio Azteca.

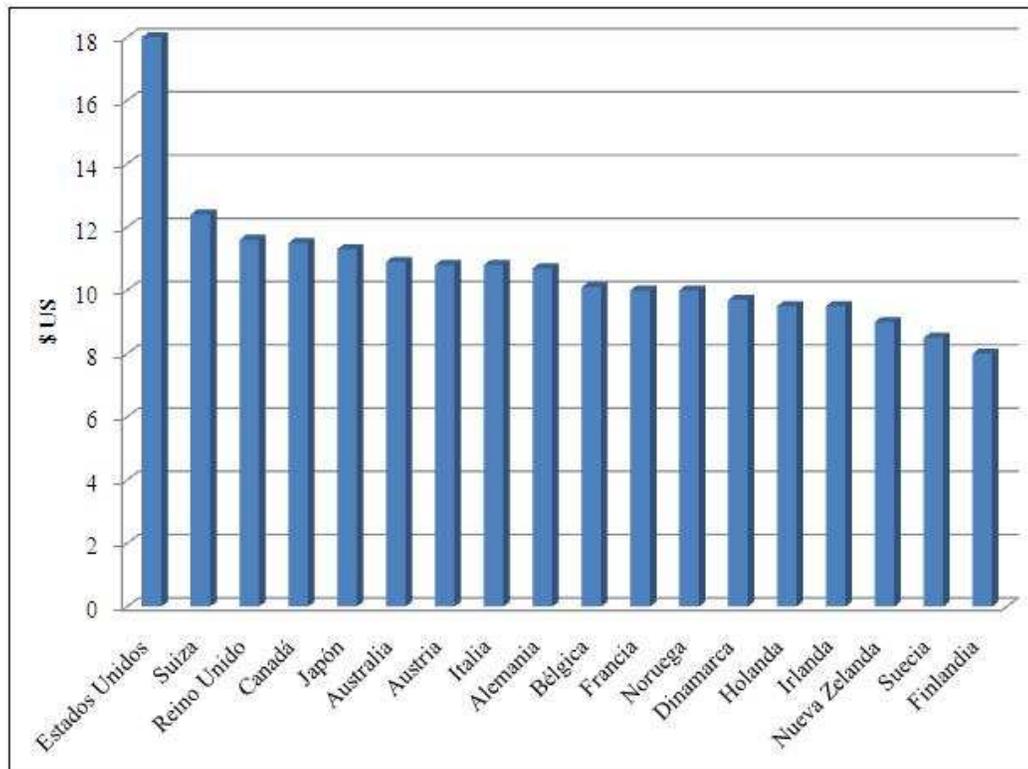


Figura 1.3 Gasto por país en el tratamiento de la basura a nivel mundial, gasto en USD por persona anual, (a partir de NM, 2009)

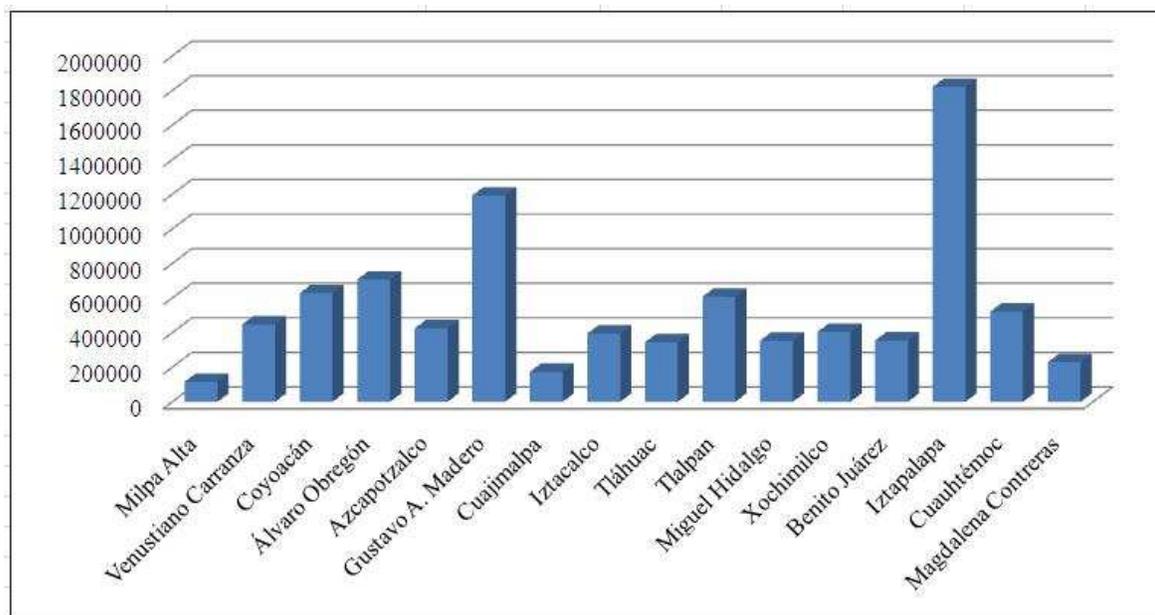


Figura 1.4 Población total por delegaciones en el D.F. en el 2008 (a partir de SEMARNAT, 2008)

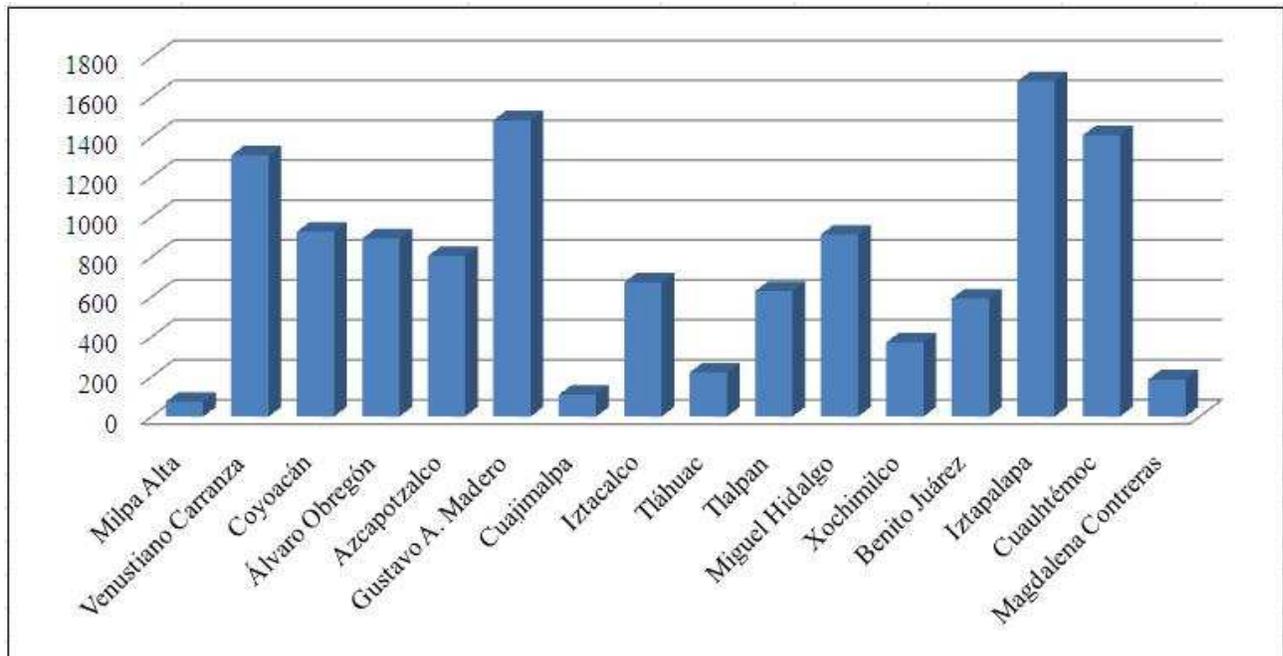


Figura 1.5 Generación total de residuos (ton/día) por delegación (a partir de SEMARNAT, 2008)

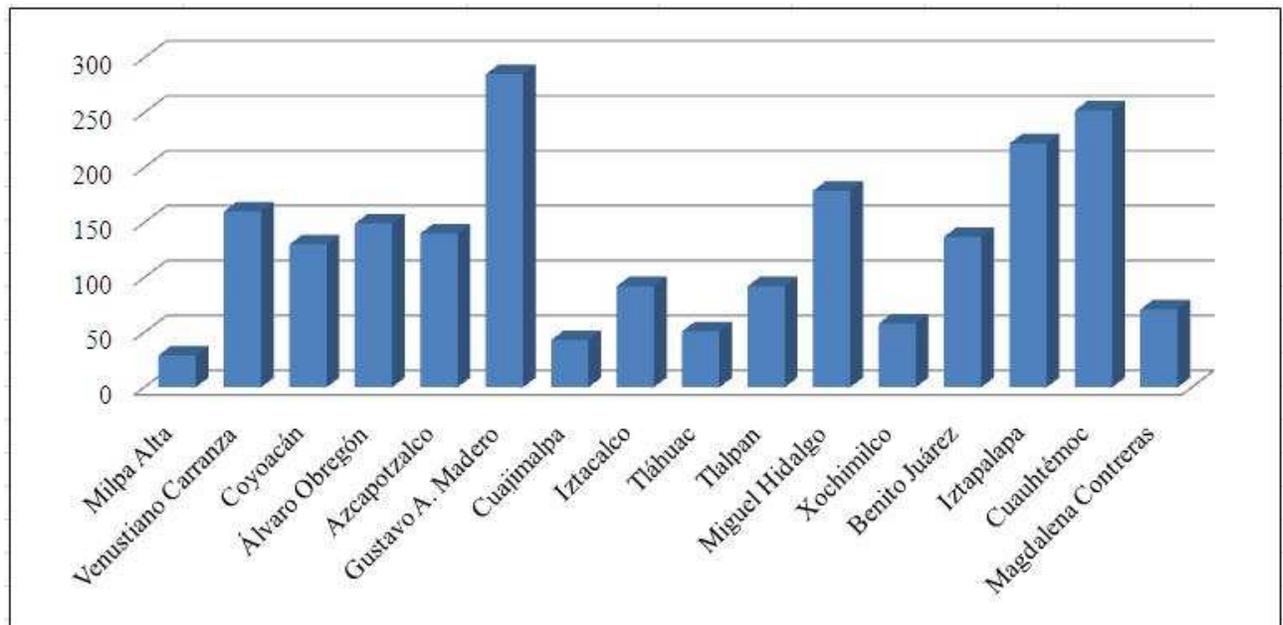


Figura 1.6 Vehículos utilizados por delegación para la recolección de residuos (a partir de SEMARNAT, 2008)

La mala disposición de los desechos genera contaminación en el agua, suelo y aire. El agua superficial se contamina por la basura que se desechó en ríos y cañadas. Pero el problema principal es el que no se observa. En los lugares donde se concentra basura se filtran líquidos conocidos como lixiviados, que contaminan el agua del subsuelo de la que en nuestra ciudad, se depende. La basura

que se arrojó al campo cambia la composición química del suelo y obstruye la germinación y crecimiento de vegetación. La contaminación del aire por la descomposición de la materia orgánica, los frecuentes incendios y por los residuos y bacterias que son dispersados por el viento.

Con el desarrollo de tecnologías de energía renovable en particular el aprovechamiento de biogás, abre la oportunidad para que estos desechos sean utilizados en la producción de energía eléctrica y calórica. Los desechos animales y humanos, materia orgánica de la preparación de los alimentos y desechos líquidos de drenajes presentan un gran potencial de generación de biogás, con la cualidad de que la energía generada con este compuesto, puede ser usada en diversos procesos productivos al interior de la comunidad urbana de forma amigable con el medio ambiente. Y no sólo eso, sino que actualmente, bajo los llamados Mecanismos de Desarrollo Limpio, el biogás proveniente de los desechos sólidos y líquidos urbanos se puede convertir en una fuente de ingresos al realizar su quema directa y contabilizarlo como “bonos de carbono”.

Se puede observar en la Figura 1.7, el consumo de basura por persona en Nueva Zelanda y cuanto se recicló, durante un periodo comprendido del año 2000-2007 (SNZ, 2008).

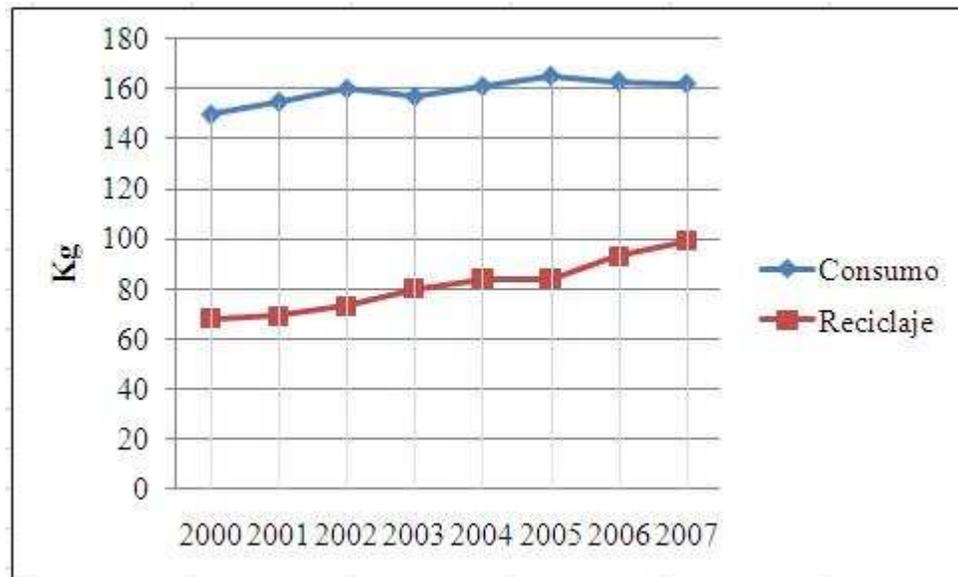


Figura 1.7 Consumo y reciclaje de desechos en Nueva Zelanda en el 2000 al 2007, (a partir de SNZ, 2008)

Con esto en mente, es fácil pensar que en las ciudades es donde más residuos se generan, tanto por el número de personas que las habitan, como por su estilo de vida, caracterizado por un mayor consumo de productos que en las zonas rurales. Tan sólo en el año 2006, las zonas metropolitanas con más de un millón de habitantes, produjeron el 45% del total de basura que se generó en el país, Figura 1.8 (SEMARNAT, 2006).

En la Figura 1.9, se puede observar la cantidad de basura generada por persona anualmente en diferentes países, el promedio mundial oscila entre los 572 kg/persona (NM, 2009).

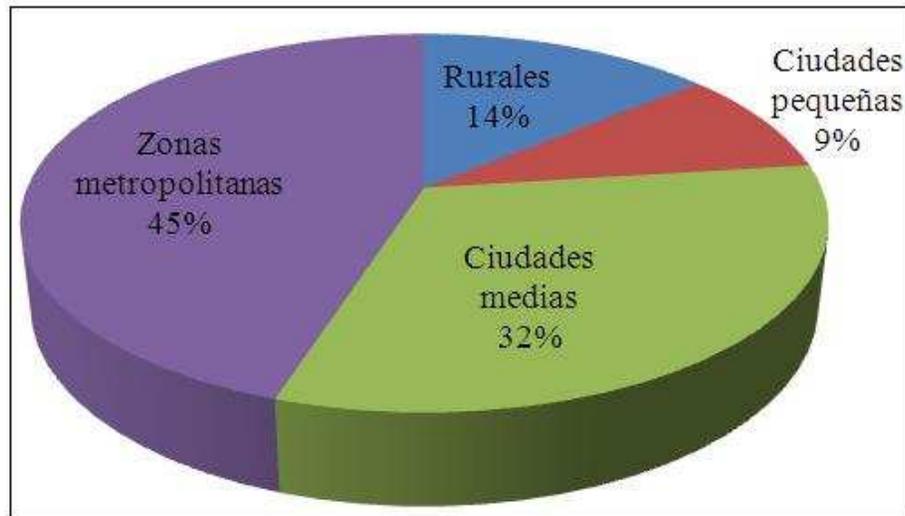


Figura 1.8 Generación de basura en México en el año 2006 (a partir de SEMARNAT, 2006)

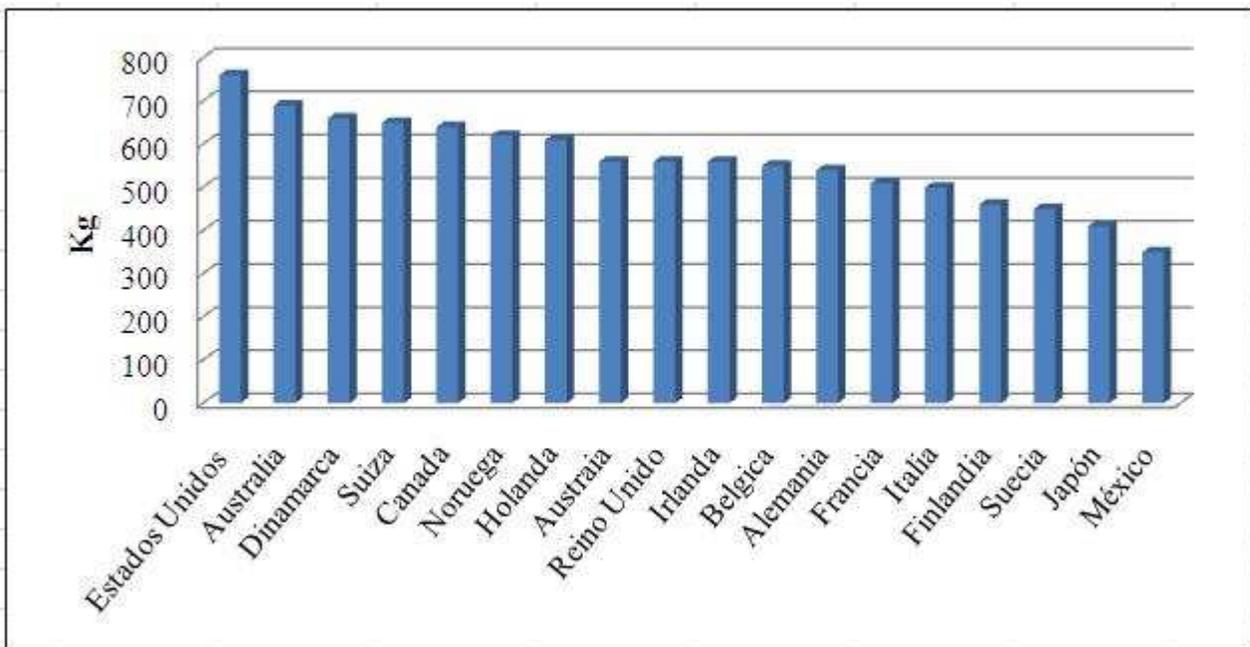


Figura 1.9 Generación anual de residuos per cápita a nivel mundial (a partir de NM, 2009)

Una indicación de cómo y dónde se generan los residuos sólidos en nuestra sociedad tecnológica se puede observar en el diagrama simplificado del flujo de materiales en la Figura 1.10. Los residuos sólidos, escombros, se generan al principio del proceso, empezando con la minería de las materias primas. Los escombros dejados después de la operación de minería abierta son conocidos por todo el mundo. De allí en adelante los residuos se generan en cada paso del proceso mientras las materias primas son convertidas en bienes para el consumo. Muestra claramente que una de las mejores maneras de reducir la cantidad de residuos sólidos que tienen que ser evacuados es limitar el consumo de materias primas e incrementar la tasa de recuperación y reutilización de materias residuales. Aunque el concepto es sencillo, la realización de este cambio en una sociedad

tecnológica moderna ha resultado ser extremadamente difícil. Por lo tanto, la sociedad ha emprendido una mejora en la gestión de los residuos, y ha buscado nuevas localizaciones de donde colocar los residuos sólidos. A diferencia de los residuos vertidos a cursos fluviales o a la atmósfera, los residuos sólidos no desaparecen. Donde se tiran es donde se encontrarán en el futuro (Tchobanoglous y col., 1994).

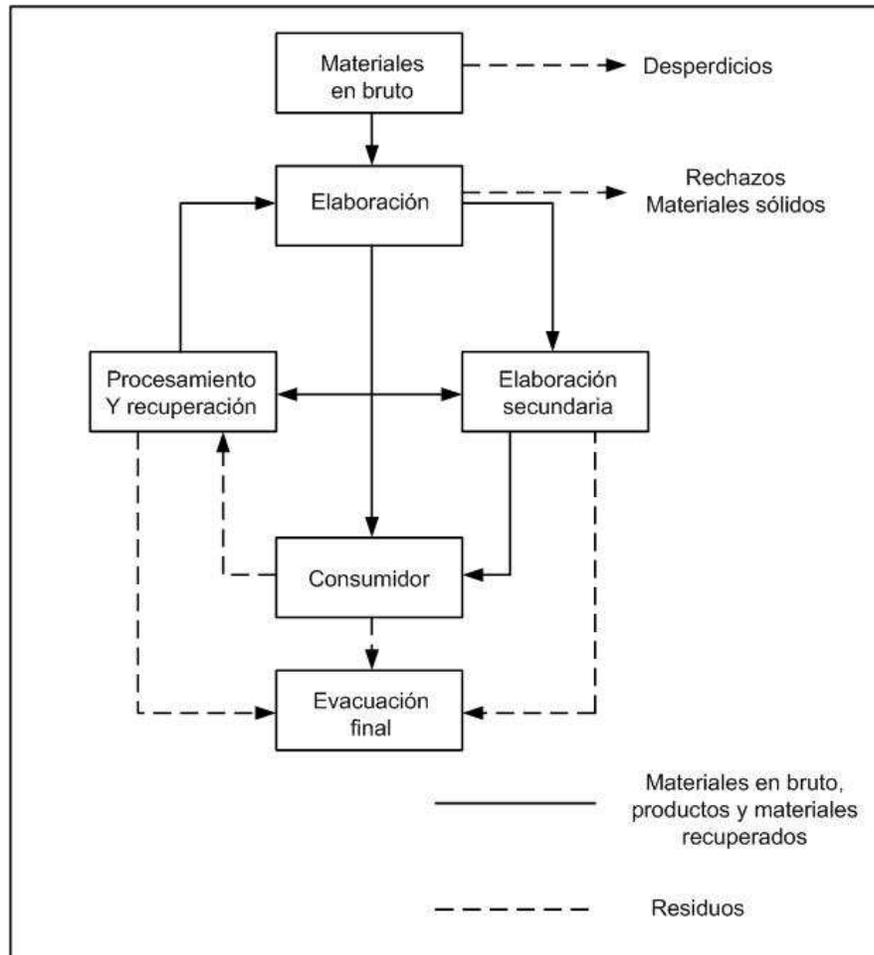


Figura 1.10 Flujo de materiales y la generación de residuos sólidos en una sociedad tecnológica (Tchobanoglous y col., 1994)

1.1.1 Residuos sólidos urbanos

Residuos es la parte o porción que se queda de un todo, o lo que resulta de la combustión, la descomposición o destrucción de una cosa; sobrante de algo que ya fue usado o que tuvo alguna utilidad. Resto, sobrante, ceniza, bagazo, desperdicios y desechos de cualquier naturaleza; domésticos, orgánicos e inorgánicos. Se caracterizan por ser materiales que han perdido valor o utilidad para sus propietarios y que se han convertido en un estorbo. Se puede observar en la Figura 1.11 como son clasificados de acuerdo a sus orígenes de generación como domiciliarios, comerciales, industriales y de servicios.



Figura 1.11 Residuos sólidos urbanos (SEMARNAT, 2007)

1.1.2 Residuos sólidos orgánicos domiciliarios

Son los desperdicios de la comida, desechos de la cocina y del jardín, que tienen un origen biológico; es decir, desechos de todo aquello que nace, vive, se reproduce y muere, que en algún momento han tenido vida y que provienen de una vivienda, como se puede observar en la Figura 1.12. Se les llama también biodegradables porque se pueden someter a tratamientos biológicos que generan otros productos como compost, abonos naturales, alimento para animales etc.



Figura 1.12 Residuos sólidos orgánicos domiciliarios (a partir de G.I., 2009)

1.2 Desarrollo de la gestión de residuos sólidos

La gestión de los residuos sólidos puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas. Dentro de su ámbito, la gestión de residuos sólidos incluye todas las funciones administrativas, financieras, legales de planificación y de

ingeniería involucradas en las soluciones de todos los problemas de los residuos sólidos (Tchobanoglous y col., 1994).

1.3 Elementos funcionales de un sistema de gestión de residuos

Las actividades asociadas a la gestión de residuos sólidos, desde el punto de generación hasta la evacuación final, han sido agrupadas en seis elementos funcionales, que se observan en la Figura 1.13.

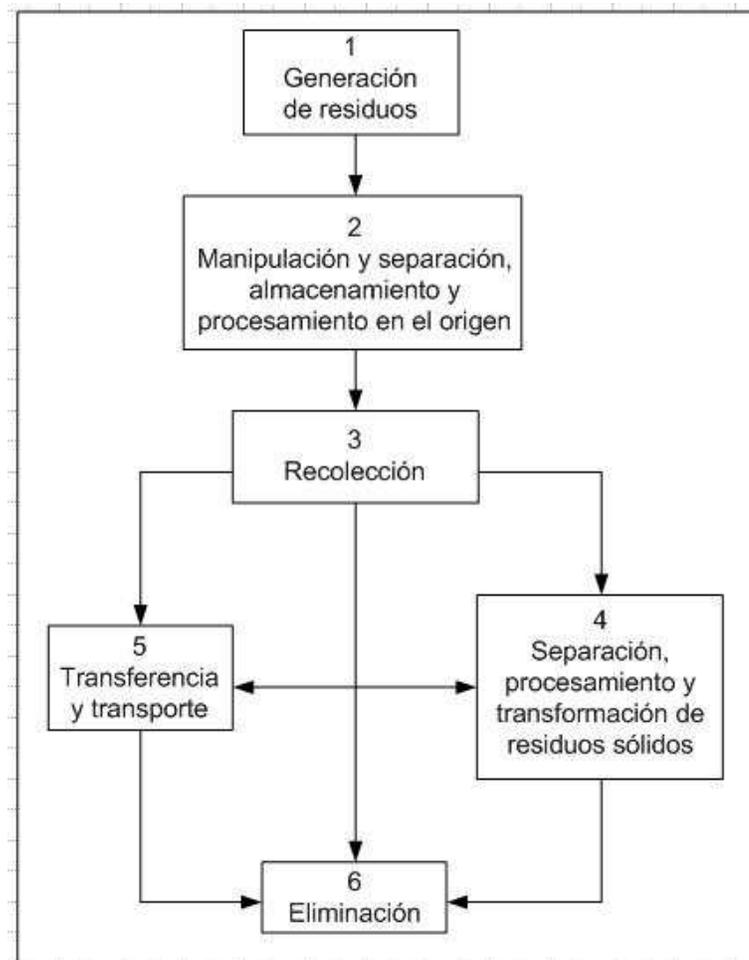


Figura 1.13 Elementos funcionales de un sistema de gestión de residuos sólidos (Tchobanoglous y col., 1994)

Mediante la consideración de cada elemento funcional por separado, es posible 1) identificar los aspectos y las relaciones fundamentales implicadas en cada elemento, y 2) desarrollar donde sea posible relaciones cuantificables para poder realizar comparaciones, análisis y evaluaciones de ingeniería.

1.3.1 Generación de residuos

La generación de residuos abarca las actividades en las que los materiales son identificados como sin ningún valor adicional y o bien son tirados o bien son recogidos juntos para la evacuación. En la Figura 1.14 se puede observar la generación de residuos, que de momento, es una actividad poco controlable. En el futuro, sin embargo, se ejercerá un mayor control sobre la generación de los residuos. En los estados donde los objetivos de desviación son establecidos por ley, y tienen que ser cumplidos bajo amenaza de sanción económica, es necesario instalar un sistema claro para controlar la desviación de residuos. La reducción en el origen, aunque no esté controlada por gestores de residuos sólidos, actualmente está incluida en la evaluaciones del sistema como un método para limitar las cantidades de residuos generados.



Figura 1.14 Generación de residuos (a partir de G.I, 2009)

1.3.2 Manipulación de residuos y separación, almacenamiento y procesamiento en el origen

El segundo de los seis elementos funcionales en el sistema de gestión de los residuos sólidos es la manipulación de residuos, y la separación, el almacenamiento y el procesamiento en el origen. La separación de los componentes de los residuos es un paso importante en la manipulación y el almacenamiento de los residuos sólidos en el origen.

El almacenamiento *in situ* es de una importancia primordial, debido a la preocupación por la salud pública y a consideraciones estéticas. Los desagradables recipientes improvisados e incluso el almacenamiento al aire libre, ambos indeseables, se ve a menudo en muchos lugares comerciales y residenciales.

El costo por equipo para almacenar los residuos sólidos en el origen normalmente corre a cargo del propietario de la casa o apartamento, o de la dirección de las propiedades comerciales e industriales (Tchobanoglous y col., 1994). El procesamiento en el origen incluye actividades como la compactación y el composteo de residuos de jardinería, Figura 1.15.



Figura 1.15 Manipulación de residuos y separación, almacenamiento y procesamiento en el origen (a partir de G.I., 2009)

1.3.3 Recolección

Este elemento funcional incluye no solamente la recolección de residuos sólidos y de materiales de reciclaje, sino también el transporte de estos materiales, después de la recogida, al lugar donde se vacía el vehículo de la recolección, Figura 1.16.



Figura 1.16 Recolección (a partir de SEMARNAT, 2007)

En las Tablas 1.1 y 1.2, se obtuvo la generación anual de residuos y el número de vehículos recolectores utilizados en la ciudad de Monterrey y el Distrito Federal (SMA, 2008).

Tabla 1.1 Generación anual de residuos y número de vehículos recolectores en la ciudad de Monterrey (SMA, 2008)

Municipio	Toneladas por año	Vehículos recolectores
Zona Metropolitana de Monterrey	888,002	385
Apodaca	62,681	47
García	2,540	4
General Escobedo	40,108	22
Guadalupe	182,496	26
Juárez	8,400	7
Monterrey	347,546	169
San Nicolás de los Garza	142,161	63
San Pedro Garza García	44,313	22
Santa Catarina	57,757	25

Tabla 1.2 Generación anual de residuos y número de vehículos recolectores en el Distrito Federal (SMA, 2008)

Delegación	Toneladas por año	Vehículos recolectores
Milpa Alta	27,010	29
Venustiano Carranza	477,785	160
Coyoacán	337,990	130
Álvaro Obregón	325,580	149
Azcapotzalco	293,460	140
Gustavo A. Madero	541,660	285
Cuajimalpa	39,785	43
Iztacalco	245,280	92
Tláhuac	80,665	51
Tlalpan	229,585	92
Miguel Hidalgo	332,880	179
Xochimilco	135,780	58
Benito Juárez	215,715	137
Iztapalapa	613,200	222
Cuauhtémoc	514,285	252
Magdalena Contreras	67,890	71

1.3.4 Separación, procesamiento y transformación de residuos sólidos

La recuperación de materiales separados, la separación y el procesamiento de los componentes de los residuos sólidos, y la transformación del residuo sólido, que se produce principalmente en localizaciones fuera de la fuente de generación de residuos, están englobados en este elemento funcional. Los tipos de medios e instalaciones utilizados en la actualidad para la recuperación de materiales residuales que han sido separados en el origen incluye la recolección en la acera, los centros de captación selectiva y los centros de recompra, como se puede observar en la Figura 1.17.



Figura 1.17 Separación de residuos sólidos (a partir de SEMARNAT, 2007)

Los procesos de transformación se emplean para reducir el volumen y el peso de los residuos que han de evacuarse, y para recuperar productos de conversión y energía. La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) puede ser transformada mediante una gran variedad de procesos químicos y biológicos. El proceso de transformación química más frecuentemente utilizado es la incineración que se usa conjuntamente con la recuperación de energía, en forma de calor. El proceso de transformación biológica más comúnmente utilizado es el sistema de compost aerobio. La selección de una serie dada de procesos dependerá de los objetivos buscados en la gestión de residuos (Tchobanoglous y col., 1994).

1.3.5 Transferencia y transporte

El elemento funcional transferencia y transporte comprende dos pasos: 1) La transferencia de residuos desde un vehículo de recolección pequeña hasta un equipo de transporte más grande, y 2) el transporte subsiguiente de los residuos, normalmente a través de grandes distancias, a un lugar de procesamiento o evacuación. La transferencia normalmente tiene lugar en las estaciones de transferencia.

1.3.6 Evacuación

Hoy en día, la evacuación de los residuos sólidos mediante los vertederos controlados o la extensión en superficie es el destino último de todos los residuos, bien sean residuos urbanos recogidos y transportados directamente a un lugar de vertido, o materiales residuales de instalaciones de recuperación de materiales (IRM), o rechazos de la combustión de residuos sólidos, o compost, u otras sustancias de diferentes instalaciones de procesamiento de residuos sólidos. Un vertedero controlado moderno no es un basurero; 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 ratas e insectos y la contaminación de aguas subterráneas.

1.4 Cambios futuros en los componentes de residuos

En la planificación de sistemas futuros de gestión de residuos será importante considerar los cambios que puedan suceder con el tiempo en la composición de los residuos sólidos. Cuatro componentes de los residuos que tienen una importante influencia sobre la composición de los residuos recogidos son los residuos de comida, papel y cartón, residuos de jardín y plásticos.

1.4.1 Residuos de comida

La cantidad de residuos domésticos de comida recogidos ha cambiado significativamente a través de los años como resultado de los avances técnicos y de los cambios en las actitudes públicas. Dos avances tecnológicos que han tenido un efecto significativo son el desarrollo de la industria de procesamiento y embalaje de comida y el uso de trituradoras domesticas de residuos de comida. El porcentaje de residuos de comida, por peso, ha decrecido del 14 por 100 a principios de los años sesenta, hasta aproximadamente un 9 por 100 en 1992.

1.4.2 Papel y cartón

El porcentaje de papel y cartón encontrado en los residuos sólidos se ha incrementado mucho durante la última mitad del siglo, subiendo desde un 20 por 100 en los primeros años 40 hasta un 40 por 100 en 1992. Se espera que el uso de papel y de cartón se mantenga estable durante los próximos años (Tchobanoglous y col., 1994).

En el año de 1984 Francia se gastaron 130 kg de papel por habitante. En EEUU. fueron 290 kg, en Afganistán 0.1kg. y en España cerca de 70 kg por persona. Mas del 80% del papel puede ser reciclado y utilizado otra vez, pero solo se recicla un 40% mientras que en Alemania se producen ya cada año 12 millones de toneladas de papel reciclado (Colomer y Gallardo, 2007).

1.4.3 Residuos de jardín

El porcentaje de los residuos de jardín en los (Residuos sólidos urbanos) RSU también se ha incrementado significativamente durante el último cuarto del siglo pasado, debido principalmente a la imposición de leyes que prohíben quemar residuos de jardín. Por eso los residuos de jardín actualmente representan cerca del 16 al 24 por 100 del flujo de residuos.

1.4.4 Plásticos

El impacto nocivo que producen los plásticos en el medio ambiente es menor que el ocasionado por otros materiales tradicionales, su fabricación requiere menos recursos que otros casos, su ligereza y resistencia medioambiental aportan claras ventajas a su eficacia (transporte, embalaje, etc.) y además, los plásticos se pueden reciclar. El citado material tiene muchas aplicaciones, tal como se aprecia en la cifra de 92 kg por persona utilizado por los españoles en el año 1998 (Colomer y Gallardo, 2007).

El porcentaje en los residuos sólidos también se ha incrementado significativamente durante los últimos años. El uso del plástico se ha incrementado desde cantidades casi imperceptibles a principios del siglo pasado, hasta el 8 por 100 a finales de siglo.

1.5 Situación actual en México

Las cifras actuales sobre la generación de RSU a nivel nacional presentan limitaciones importantes, básicamente porque no se trata de mediciones directas, sino de estimaciones. La estimación de la generación nacional se calcula, conforme a lo establecido en la norma NMX-AA-61-1985 sobre la Determinación de la generación de residuos sólidos, con base en la generación promedio de residuos sólidos por habitante (kg/hab*día), a partir de la información obtenida de muestreos aleatorios en campo, con duración de ocho días, para cada uno de los estratos socioeconómicos de la población. A partir de las estimaciones de generación per cápita puede calcularse la generación diaria y un estimado anual a nivel nacional.

En 2007 se estimó una generación de 36.9 millones de toneladas, lo que equivale a una producción diaria de aproximadamente 101 mil toneladas. Esta cifra se ha incrementado notablemente en los últimos años, debida básicamente al crecimiento urbano, al desarrollo industrial, a las modificaciones tecnológicas y al cambio en los patrones de consumo de la población. Ejemplo de ello es que en el transcurso de los últimos diez años, la generación total de RSU se incrementó 26%, paralelamente al crecimiento del producto interno bruto (PIB) y al gasto de la población (Figura 1.18).

A nivel de los habitantes del país, la generación per cápita diaria creció de 300 gramos en 1950, a casi un kilogramo en 2007. Se tuvieron resultados en la Figura 1.19 en términos anuales, la generación per cápita se incrementó en promedio 4 kilogramos por año entre 1997 y 2007, alcanzando los 349 kilogramos por habitante en el 2007. Considerando a los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en 2006 la generación per cápita nacional (336 kg/hab/año) resultó 39% menor al promedio de los países que la componen (550 kg/hab/año). En ese año, un ciudadano mexicano promedio generó 29% más residuos que un ciudadano polaco y cerca del 45% del volumen producido por un habitante irlandés promedio (SMA, 2008).

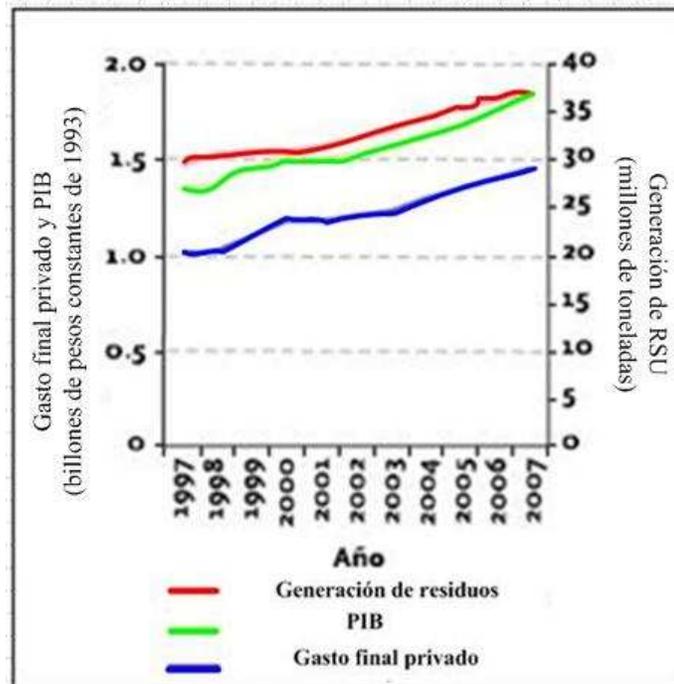


Figura 1.18 Gasto final privado, producto interno bruto PIB y generación de RSU, 1997-2007, (SEMARNAT, 2008)

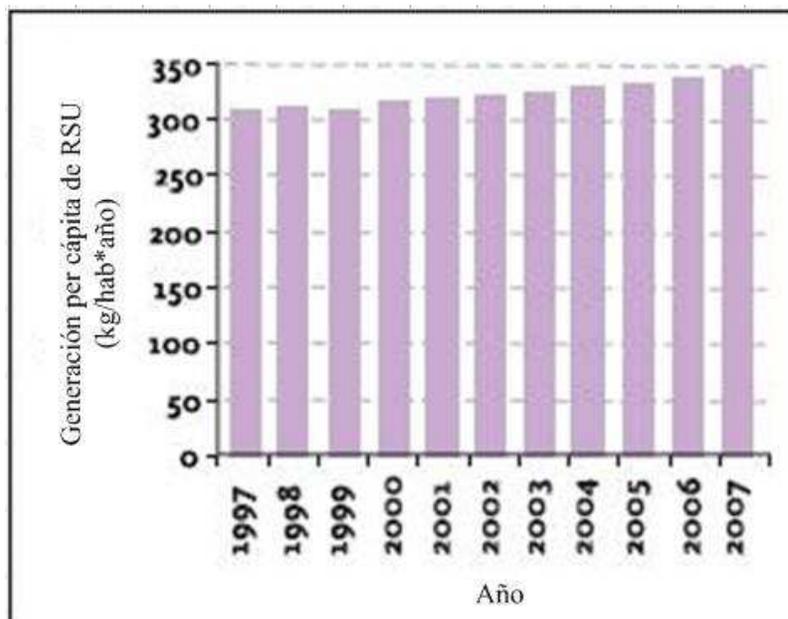


Figura 1.19 Generación per cápita de RSU (SEMARNAT, 2008)

Se tuvieron resultados reflejados en la Tabla 1.3, donde se aprecia la generación per cápita dependiendo la zona de la Republica Mexicana. Las cifras para el Distrito Federal están por

separado debido a sus características particulares de concentración de población y gran generación de basura.

Tabla 1.3 Generación per cápita diaria (INEGI, 2008)

Zona	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Estados Unidos Mexicanos	0.852	0.841	0.865	0.874	0.881	0.888	0.9	0.911	0.921
Centro a/	0.838	0.826	0.83	0.841	0.849	0.857	0.869	0.882	0.892
Distrito Federal	1.266	1.273	1.387	1.383	1.398	1.386	1.4	1.414	1.429
Norte b/	0.733	0.719	0.873	0.889	0.897	0.913	0.922	0.774	0.783
Sur c/	0.645	0.631	0.657	0.665	0.672	0.677	0.684	0.697	0.706
Frontera norte d/	1.36	1.354	0.83	0.836	0.844	0.847	0.855	1.048	1.058
a/	Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán de Ocampo, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Veracruz.								
b/	Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila de Zaragoza, Durango, Nayarit, Nuevo León, San Luis Potosí y Sonora.								
c/	Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.								
d/	Baja California, Sonora, Coahuila de Zaragoza, Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas, del 2005 se extiende a 300 Km).								

1.6 Relleno sanitario

1.6.1 Definición

Un vertedero controlado o relleno sanitario es una instalación en la que se han tomado las medidas necesarias para evitar que la contaminación producida y contenida en los residuos llegue al medio, agua y aire, y afecte al medio ambiente y a la salud de las personas. Los vertederos incontrolados serían, pues, los que no han tomado ninguna medida preventiva o correctora y representan un riesgo para el medio ambiente y la salud pública (Castells, 2009).

1.6.2 Antecedentes

La disposición final de los residuos sólidos ha sido practicada por varios siglos. En realidad, hace 2000 años, los griegos enterraban sus residuos sólidos sin compactar. En 1930, en la ciudad de Nueva York y Fresno, California, iniciaron la compactación de los residuos con equipo pesado y cubriéndolos, así el término de “Relleno Sanitario” fue inventado. En el pasado, el término de relleno sanitario fue usado para denotar simplemente el sitio en el cual los residuos eran depositados en el suelo y cubiertos al final de cada día de operación. En la actualidad, el relleno sanitario se refiere a una instalación ingenieril para la disposición de los residuos sólidos municipales, diseñada y operada para minimizar los impactos a la salud pública y al ambiente. Actualmente, el relleno sanitario moderno cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y modernos y su éxito radica en el adecuado diseño y por supuesto en una óptima operación (SMA, 2008). En la Figura 1.20, se puede observar un diagrama de un sistema de relleno sanitario con sus diferentes componentes.

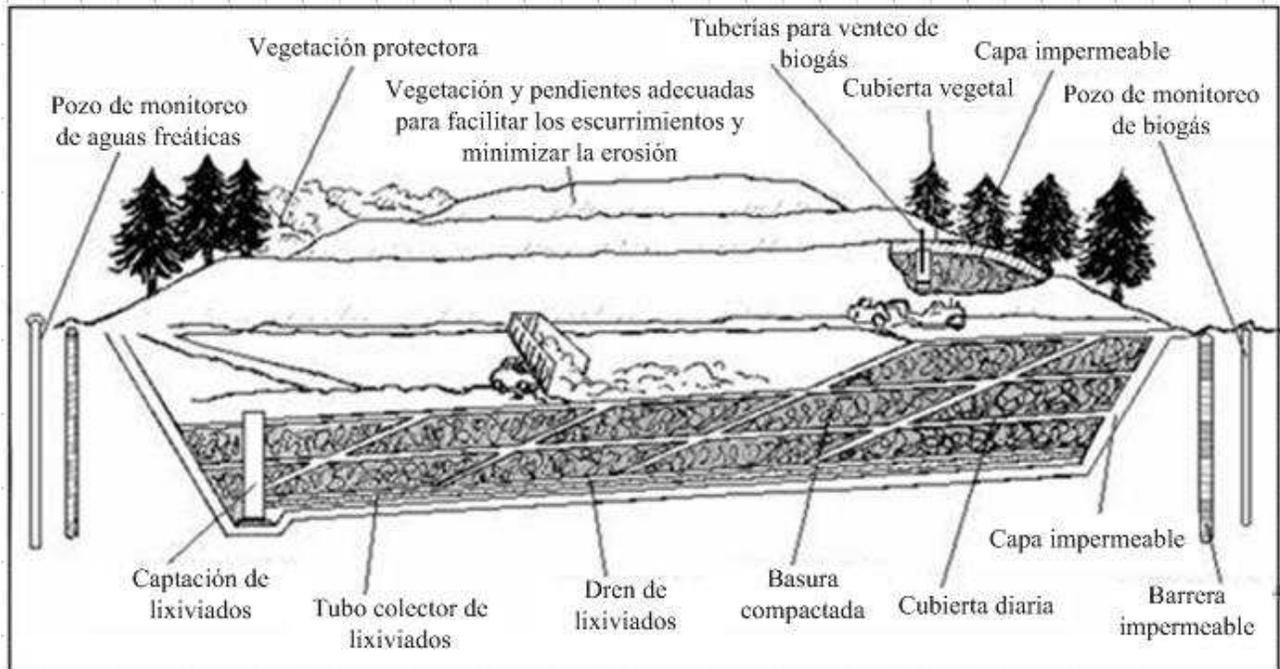


Figura 1.20 Diagrama de un Sistema de Relleno Sanitario (SEDESOL, 2006)

1.6.3 El relleno sanitario en los sistemas de manejo de residuos sólidos municipales

La disposición final de residuos sólidos segura y confiable a largo plazo, debe ser un componente importante del manejo integral de residuos sólidos. Ya que estos últimos se consideran como los materiales que ya no tienen un uso y que no pueden ser recuperados para los sistemas productivos. Cuando se evalúa la utilidad de cada uno de los elementos funcionales, así como la efectividad y economía de todas las interfaces y conexiones entre esos diferentes elementos, se puede desarrollar un sistema de manejo integral de residuos. En este contexto, dicho sistema, puede definirse como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de manejo factibles, con la finalidad de alcanzar objetivos y metas específicas para el manejo de residuos. Debido a la legislación que se está adoptando, el manejo integral de residuos sólidos, también está desarrollándose en respuesta a los cambios e implementación de las leyes, los reglamentos y las normas.

También se ha establecido una jerarquización de actividades para el manejo de residuos, en la legislación de diferentes países. La jerarquización (arreglo en orden de importancia), se puede utilizar para establecer la prioridad de las acciones para implementar los programas de manejo de residuos. La jerarquización del manejo integral de residuos sólidos más comúnmente adoptada por los países desarrollados y coincidentemente la que recomienda la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), está compuesta por los siguientes elementos: Reducción en la fuente, reciclaje, combustión y relleno sanitario, que en otros casos, se modifica de la siguiente manera: Reducción en la fuente, reciclaje, transformación o tratamiento y relleno sanitario. De cualquier forma, los diferentes elementos del manejo integral de residuos sólidos deben estar siempre interrelacionados en cualquier programa o sistema y haber sido seleccionados para complementarse unos a otros. El desarrollo e implementación de un plan de manejo integral de residuos sólidos consiste en la selección de la mezcla adecuada de tecnologías y alternativas para satisfacer las cambiantes

necesidades locales de manejo de residuos al mismo tiempo que se cumple con los ordenamientos legales.

Al final, algo se debe hacer con: (1) Los residuos sólidos que no pueden ser reciclados y no pueden tener un uso futuro; (2) Los materiales residuales que permanecen después que los residuos sólidos han sido sometidos a un proceso de separación en una instalación para la separación de materiales (MRF, por sus siglas en inglés); y (3) Los materiales residuales que permanecen después que los residuos sólidos han sido sometidos a un proceso de conversión de productos o energía. Existen solamente dos alternativas disponibles para el manejo a largo plazo de los residuos sólidos o materiales residuales: Disposición sobre o en el manto térrico y disposición en el fondo del océano.

El relleno sanitario, cuarto nivel de la clasificación del manejo integral de residuos sólidos, involucra la disposición controlada de los residuos sobre o en el manto térrico y es por mucho el método más común de disposición de residuos. El relleno sanitario se encuentra en el nivel más bajo de la jerarquización del manejo integral de los residuos sólidos, porque representa el último medio deseable para manejar los residuos de la sociedad (Tchobanoglous y col., 1994)

1.6.4 Ventajas y desventajas del relleno sanitario

Las ventajas de un relleno sanitario se enumeran a continuación:

1. El relleno sanitario como uno de los métodos de disposición final de los residuos sólidos municipales, es la alternativa más económica; sin embargo, no hay que olvidar que es necesario asignar recursos financieros y técnicos suficientes para la planeación, diseño, construcción y operación.
2. La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para la implementación de un sistema de tratamiento tal como la separación, composteo o incineración.
3. Cuando se dispone de material para la cobertura de los residuos sólidos en el mismo sitio, esta condición es generalmente la más económica de las diferentes opciones para la disposición final.
4. El relleno sanitario es un método final para la disposición de los residuos sólidos, que no requiere de operaciones adicionales, tal como el caso de la incineración o el composteo, los cuales requieren un sitio y de operaciones adicionales para la disposición de los productos finales.
5. Se recuperan terrenos antes considerados como improductivos o marginales transformándolos en áreas útiles para la creación de parques, zonas recreativas y esparcimiento, o simplemente áreas verdes.
6. Es un método flexible, dado que en caso de incrementar la cantidad de residuos por disponer se requiere únicamente de muy poco equipo y personal.

7. El gas metano generado por la descomposición de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, puede ser atractivo para su aprovechamiento como fuente de energía no convencional, dependiendo de las características del sitio.

Las desventajas de un relleno sanitario son las siguientes:

1. La construcción de un relleno sanitario, por la oposición de la población debido a dos aspectos fundamentales: La falta de conocimiento sobre el método de relleno sanitario y la desconfianza en los servidores públicos de la localidad.
2. Se requiere de una supervisión permanente para mantener un alto nivel de las operaciones y asegurar que no habrá fallas a futuro.
3. Cuando no existen terrenos cercanos a las fuentes de generación de residuos sólidos, debido al crecimiento urbano, el costo de transporte se verá fuertemente afectado.
4. La relativa cercanía de los rellenos a las áreas urbanas puede provocar serios problemas de queja pública.
5. Existe un alto riesgo, sobre todo en los países del tercer mundo, que por la carencia de recursos económicos para la operación y mantenimiento, se convierta el relleno sanitario en tiradero a cielo abierto.
6. Puede presentarse eventualmente la contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, así como la generación de olores desagradables y gases, si no se toman las debidas medidas de control y de seguridad.
7. Los asentamientos diferenciales que sufren los rellenos sanitarios con respecto al tiempo, impide que estos sean utilizados una vez que se han concluido las operaciones.

1.6.5 Metodología de selección del sitio

El uso de una metodología específica para la selección de un sitio para disposición final de residuos sólidos es benéfico, ya que de esta forma se puede mostrar que se analizó un buen número de sitios potenciales y con los criterios más significativos, antes de seleccionar un sitio en particular para los estudios detallados y la posible implementación del relleno (SEDESOL, 2006).

1.6.6 Identificación y evaluación de zonas de estudio

En este caso, se considera conveniente delimitar aquellas áreas que dentro de la extensión del territorio municipal, presentan las condiciones menos adversas para albergar un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales (RSM). El primer paso es la determinación del radio máximo del área de estudio, con base en las distancias de transporte desde las estaciones de transferencia y/o los centroides de las áreas potenciales de servicio; y el segundo paso, la determinación de las restricciones legales, físicas, demográficas, sociales, estéticas y sanitarias (SEDESOL, 2006).

1.6.7 Rellenos sanitarios en México

En la Tabla 1.4 se puede observar los rellenos sanitarios en el país hasta 2006, ordenados por entidad federativa.

Tabla 1.4 Rellenos sanitarios en el año 2006 por entidad federativa (INEGI, 2008)

Entidad federativa	Rellenos sanitarios	Rellenos de tierra controlados
Estados Unidos Mexicanos	104	23
Aguascalientes	1	0
Baja California	2	1
Baja California Sur	1	1
Campeche	1	ND
Coahuila de Zaragoza	5	ND
Colima	2	ND
Chiapas	3	ND
Chihuahua	3	ND
Distrito Federal	1	ND
Durango	3	1
Guanajuato	6	1
Guerrero	2	1
Hidalgo	2	ND
Jalisco	2	4
México	3	5
Michoacán de Ocampo	1	2
Morelos	3	ND
Nayarit	2	ND
Nuevo León	13	ND
Oaxaca	ND	1
Puebla	15	1
Querétaro	6	ND
Quintana Roo	2	ND
San Luis Potosí	2	ND
Sinaloa	3	1
Sonora	4	ND
Tabasco	1	ND
Tamaulipas	4	1
Tlaxcala	6	ND
Veracruz de Ignacio de la Llave	4	1
Yucatán	1	ND
Zacatecas	ND	2

1.6.7.1 Bordo Poniente

El relleno sanitario de Bordo Poniente se encuentra dentro de la zona federal del ex-lago de Texcoco. Este sitio se localiza al oriente de la Ciudad de México, es un sitio para la disposición final de los desechos sólidos de la Ciudad de México y algunos municipios conurbados. Es importante señalar que el Bordo Poniente se ha venido operando desde el sismo de 1985, y que se construyó secuencialmente por etapas, hasta llegar a la IV y última, en donde se puede destacar que las tres primeras abarcan una superficie de casi 260 hectáreas. Se disponen de manera segura y controlada los residuos sólidos generados en la Ciudad, desechos de la industria de la construcción y residuos sólidos provenientes de municipios aledaños del Estado de México, incluyendo el rechazo de las plantas de selección, mediante acciones de empuje, extendido, nivelación, compactación y cobertura de los mismos con tepetate, extracción y acarreo de lixiviados

Los gobiernos federal y del Distrito Federal suscribieron el convenio de coordinación para el cierre definitivo del relleno sanitario Bordo Poniente, lo que obligará a la ciudad de México a reducir la generación de basura. El acuerdo establece como fecha final para recibir desechos, diciembre de 2011, con lo cual a partir del primero de enero de 2012 ya no se harán más depósitos en este lugar. A principios de 2011 alrededor de siete mil 300 toneladas de basura de un promedio diario de 12 mil 600 toneladas al día dejarán de llegar al Bordo Poniente. El Gobierno del DF tendrá que pagar una multa de 200 pesos a la Federación por cada tonelada extra que ingrese al relleno sanitario a partir de esa fecha. Se estima que durante el tiempo que lleva de operar 1985, este espacio ha acumulado alrededor de 76 millones de toneladas de desechos, convirtiéndose así en el relleno sanitario más grande del mundo.

El gobierno del Distrito Federal señaló que se reducirá la cantidad de basura que se genera por día en la ciudad mediante dos acciones específicas: aprovechar los desechos orgánicos y construir instalaciones de alta tecnología para el tratamiento de los residuos. En año y medio lo que sigue será la transformación más relevante de las últimas décadas en el manejo y tratamiento de basura de la ciudad y para ello se invitó al estado de México y a los municipios conurbados a participar.

La Comisión Nacional del Agua explica que el convenio establece la obligación del gobierno local de contar con un esquema de licitación para el sellado y clausura del Bordo, un proyecto que requiere más de mil millones de pesos, pero que puede ser financiado con la contratación de bonos de carbono.

Con todas estas acciones se planea llegar a un mejor arreglo en el establecimiento de rellenos de menores dimensiones en municipios y delegaciones y se considera viable el establecimiento de por lo menos ocho rellenos regionales en minas de arena (SIG, 2008). Al cierre de Bordo Poniente, el gobierno local aprovechará el gas metano que ahí se genere y tendrá un manejo adecuado de los lixiviados, y la autoridad federal podrá recuperar como áreas verdes más de 300 hectáreas a futuro. Se estima que el relleno libera alrededor de un millón 200 mil toneladas de metano al año, que equivale a todo lo que la actual administración ha logrado reducir en cuatro años con la reestructuración del transporte público (renovación de taxis, transformación de las rutas de la RTP, retiro de microbuses e introducción del Metrobús). En la Figura 1.21 se puede observar el territorio que abarca el relleno sanitario Bordo Poniente.

1.6.7.2 El futuro de Bordo Poniente

El Gobierno del Distrito Federal propondrá al Congreso de la Unión aprobar recursos suficientes para convertir el relleno sanitario de Bordo Poniente en un parque ecológico del cual se pueda, al mismo tiempo, aprovechar y comercializar el gas producido por los residuos ahí enterrados, semejante a como se tiene proyectado para el Fresh Kills Park, de Nueva York en EEUU.



Figura 1.21 Relleno Sanitario Bordo Poniente (SMA, 2006)

La Ciudad de México comparte con la de Nueva York el objetivo de convertir su más grande relleno sanitario en un parque ecológico y una fuente de energía y financiamiento que, para tal fin, requiere de importantes inversiones de la federación a lo largo de varios años para su concreción. Como el Distrito Federal, Nueva York produce cerca de 12 mil toneladas de desperdicios al día y busca hacer de Fresh Kills Park, de dos mil 200 hectáreas, un ejemplo de renovación y restauración ambiental, así como de centro cultural y de convivencia familiar y ciudadana con base en un plan maestro iniciado en 2001 y previsto para 30 años (SMA, 2008).

1.6.7.3 Parque Fresh Kills en Nueva York

En 2,200 hectáreas, el Parque Fresh Kills será casi tres veces el tamaño de Central Park y el parque más grande desarrollado en Nueva York en más de 100 años. La transformación de lo que fue el mayor vertedero del mundo en un destino cultural productivo y hermoso hacen del parque un símbolo de renovación y una expresión de cómo nuestra sociedad puede restaurar el equilibrio de su paisaje. Además de proporcionar una amplia gama de oportunidades de recreación, incluyendo muchas infrecuentes en la ciudad, el diseño del parque, la restauración ecológica, cultural y la programación educativa se harán hincapié en la sostenibilidad ambiental y una renovada preocupación pública por el impacto humano sobre la tierra.

Si bien la construcción continuará en fases durante los próximos 30 años, el desarrollo durante los próximos años se centrará en ofrecer el acceso del público al interior del sitio y mostrando su inusual combinación de belleza natural y la ingeniería. Mientras que casi 45 por ciento de que el sitio fue utilizado alguna vez para las operaciones de relleno sanitario, el resto del sitio se compone actualmente de humedales, canales abiertos, y áreas bajas sin cubrir. La parte superior de los montículos de relleno sanitario ofrecen espectaculares del sitio, así como vistas del centro de Manhattan (NYCDPR, 2009). En la Figura 1.22 se puede observar el proyecto Fresh Kills, así como las zonas que ya se pueden visitar en los próximos 5-10 años.

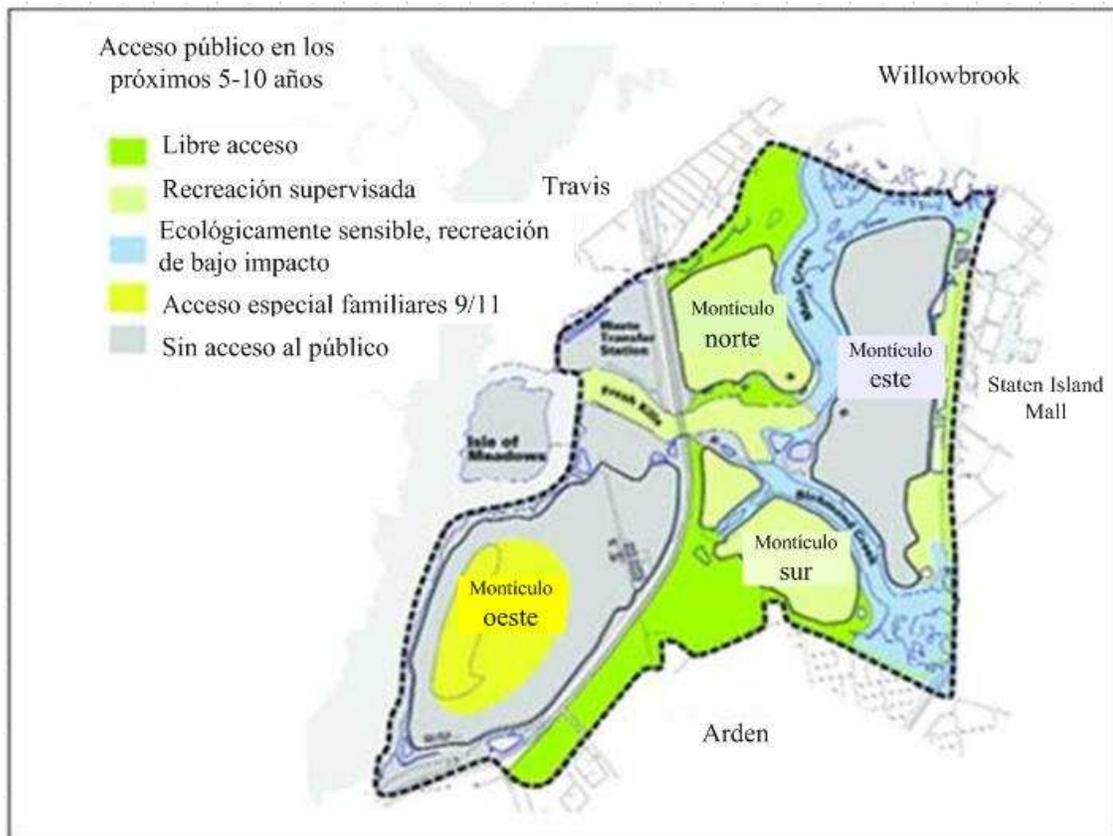


Figura 1.22 Parque Fresh Kills en Nueva York (NYCDPR, 2009)

1.6.8 Gas de vertedero

Las diferentes reacciones anaerobias que tienen lugar en el seno del vertedero con el concurso del agua, generan el biogás conocido como gas de vertedero. El gas se halla exento de oxígeno, ya que se consumió en las diversas reacciones. Sin embargo, en la composición siempre aparece un cierto porcentaje que es debido a la filtración de aire en la etapa de extracción del biogás. La hidrólisis es la etapa crítica que controla la degradación de los residuos y la generación de metano. Al margen de la acción bacteriana sobre la fracción fermentable, la más común, en los vertederos mixtos es la presencia de los sulfatos (residuos de la construcción, de neutralización de gases ácidos, fangos de EDAR, etc.) que hacen entrar en acción a las bacterias sulfato-reductoras, siempre anaerobias y generan sulfuro de hidrógeno.

La Figura 1.23 muestra un esquema del proceso de captación y uso del biogás. La generación del biogás se lleva a cabo en las cuatro típicas etapas de producción de un gas de origen anaerobio. La duración de cada una de las fases depende de múltiples factores. La evolución de producción de biogás suele durar unos 15 años. En la fase IV (la última) la generación de biogás es cada vez menor (los residuos están cada vez más mineralizados) y comienza a haber intrusión de aire por la parte superior y el oxígeno oxida el metano. Obviamente, el PCI varía constantemente durante todo este periodo. Esto equivale a decir que hay que tener especial cuidado en el manejo del gas, en particular en la aparición de ácido sulfhídrico, ya que daña las camisas de los motores de cogeneración.

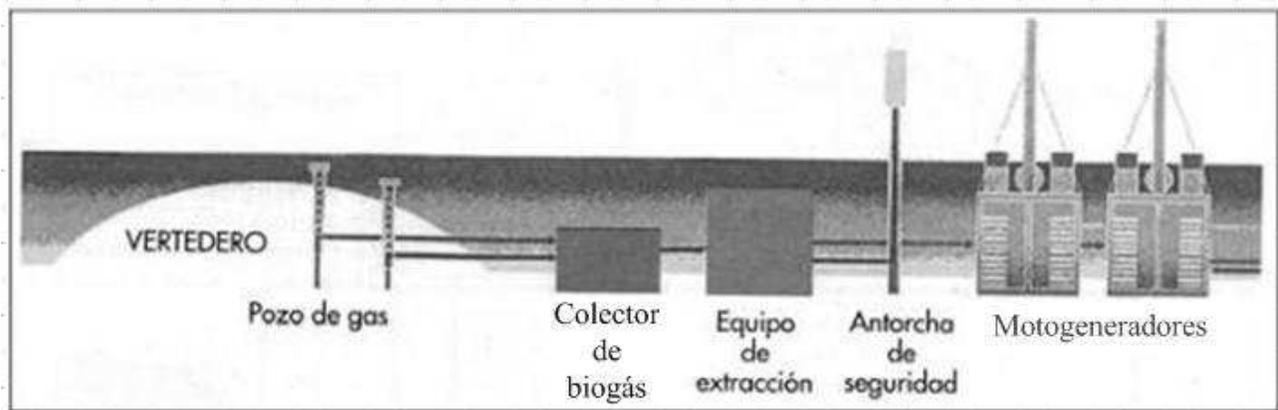


Figura 1.23 Captación y uso del gas de vertedero (Castells, 2005)