



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE QUÍMICA

ACCIONES BÁSICAS PARA EL DESARROLLO DE UN  
MANEJO ADECUADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS  
DESPUÉS DE UN DESASTRE NATURAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A

EVA ELISA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ



MEXICO, D.F.

2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** M. EN I. MARÍA RAFAELA GUTIÉRREZ LARA

**VOCAL:** DR. JOSÉ AGUSTÍN GARCÍA REYNOSO

**SECRETARIO:** DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ

**1er. SUPLENTE:** DRA. GEMA LUZ ANDRACA AYALA

**2° SUPLENTE:** M. EN C. ALEJANDRA MENDOZA CAMPOS

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.

**ASESOR DEL TEMA:**

DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ \_\_\_\_\_

**SUSTENTANTE:**

EVA ELISA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ \_\_\_\_\_

## Contenido

|   |    |
|---|----|
| Lista de figuras.....   | IV |
| Lista de tablas.....  | V  |
| Acrónimos.....  | VI |
| Capítulo 1 Introducción.....  | 1  |
| Capítulo 2 Los desastres naturales más importantes en el mundo.....                                   | 3  |
| 2.1 Desastres Geológicos.....   | 3  |
| 2.1.1 Japón terremoto y tsunami Marzo 2011.....   | 3  |
| 2.1.2 Italia terremoto Abril 2009.....  | 7  |
| 2.1.3 Ecuador Erupción del volcán Reventador 2002.....  | 11 |
| 2.2 Desastres Hidrometeorológicos.....  | 13 |
| 2.2.1 Estados Unidos Huracán Katrina agosto 2005.....   | 13 |
| 2.2.2 Perú Inundaciones 2011-2012.....  | 18 |
| 2.2.3 Estados Unidos Tornados febrero 1998.....   | 19 |
| Capítulo 3 Clasificación de los residuos sólidos generados después de un desastre natural.....        | 22 |
| 3.1 Residuos peligrosos.....  | 25 |
| 3.2 Residuos no peligrosos.....   | 29 |
| 3.2.1 Residuos orgánicos.....   | 30 |
| 3.2.2 Residuos inorgánicos.....   | 30 |
| 3.3 Residuos de manejo especial.....  | 30 |
| Capítulo 4 Propuesta del manejo de los residuos sólidos generados después de un desastre natural..... | 32 |
| 4.1 Residuos no peligrosos.....   | 32 |
| 4.1.1 Residuos Inorgánicos.....   | 32 |
| 4.1.1.1 Plásticos.....  | 32 |
| 4.1.1.2 Papel y cartón.....   | 35 |
| 4.1.1.3 Vidrio.....   | 36 |
| 4.1.1.4 Madera.....   | 37 |
| 4.1.1.5 Metales.....  | 38 |
| 4.1.1.6 Textiles.....   | 39 |
| 4.1.2 Residuos orgánicos.....   | 39 |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.2.1 Compostaje y Vermicultura .....                            | 40 |
| 4.2 Residuos de Manejo Especial .....                              | 42 |
| 4.2.1 Vehículos .....  | 42 |
| 4.2.1.1 Neumáticos .....   | 45 |
| 4.2.2 Residuos electrodomésticos y electrónicos (REE) .....        | 46 |
| 4.2.3 Residuos de construcción y demolición (RCD) .....            | 51 |
| 4.2.4 Residuos generados en centros de atención para la salud..... | 54 |
| 4.3 Residuos peligrosos.....                                       | 55 |
| 4.3.1 Tratamientos físicos .....                                   | 55 |
| 4.3.2 Tratamientos químicos .....                                  | 56 |
| 4.3.3 Tratamientos biológicos .....                                | 57 |
| 4.3.4 Tratamientos térmicos.....                                   | 58 |
| 4.3.5 Tecnologías de estabilización/solidificación .....           | 59 |
| 4.3.6 Confinamiento controlado .....                               | 60 |
| 4.3.7 Incineración.....  | 61 |
| 4.3.8 Medicamentos.....  | 62 |
| 4.3.9 Residuos peligrosos biológico infecciosos (RPBI) .....       | 68 |
| 4.3.9.1 Tratamientos de los RPBI .....                             | 70 |
| 4.3.9.1.1 Desinfección.....  | 70 |
| 4.3.9.1.2 Esterilización .....                                     | 71 |
| Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones.....                     | 75 |
| Referencias .....  | 77 |
| Glosario .....   | 82 |

## Lista de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 Destrucción de edificios en la prefectura de Miyagi, al noreste de Japón .....                         | 4  |
| Figura 2.2 Separación y tratamiento de los residuos. ....   | 6  |
| Figura 2.3. Rescatistas ayudando a salir a los sobrevivientes.....  | 8  |
| Figura 2.4 Basílica de Santa María de Collemaggio rodeada de escombros en L'Aquila.....                           | 9  |
| Figura 2.5. Diagrama de flujo de la gestión de residuos: gestionado por el Departamento de Protección Civil. .... | 10 |
| Figura 2.6. Diagrama de flujo de la gestión de residuos: gestionado por el municipio.....                         | 10 |
| Figura 2.7. Erupción del volcán Reventador 3 Noviembre 2002.....  | 11 |
| Figura 2.8. Nueva Orleans vista aérea 30 de agosto 2005.....  | 14 |
| Figura 2.9. Demolición y sistema de gestión de residuos .....   | 15 |
| Figura 2.10. Distrito de Belén, ubicada al este de Iquitos .....  | 19 |
| Figura 2.11. Vista aérea de los daños a las viviendas en Lakeside subdivisión en Kissimmee, Florida . ....        | 20 |
| Figura 4.1 Residuos generados por vehículos después de su vida útil .....   | 43 |
| Figura 4.2 Relación de los procesos de gestión de los VFU.....  | 43 |
| Figura. 4.3 Diagrama general del manejo de residuos generados en un desastre natural. ....                        | 74 |

## Lista de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 3.1 Análisis de desastres, daños y materiales generados .....                                      | 24 |
| Tabla 3.2. Límites máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el Extracto PECT.....          | 28 |
| Tabla 4.1 Tipo de plásticos y aplicación de estos.....   | 33 |
| Tabla 4.2 Categorías de los residuos electrodomésticos y electrónicos .....                              | 46 |
| Tabla 4.3 Clasificación de RAEE desde una perspectiva de su gestión y manejo.....                        | 47 |
| Tabla 4.4 Lista de posibles sustancias peligrosas presentes en los REE ...                               | 50 |
| Tabla. 4.5 Tratamientos físicos de residuos peligrosos .....   | 56 |
| Tabla 4.6 Tratamientos químicos para residuos peligrosos. ....   | 57 |
| Tabla 4.7 Tratamientos biológicos de residuos peligrosos . ....  | 58 |
| Tabla 4.8 Tratamientos térmicos de residuos peligrosos . ....  | 59 |
| Tabla 4.9 Opciones de disposición para cada categoría de clasificación ...                               | 65 |
| Tabla 4.10 Métodos de tratamiento y disposición para medicamentos caducos .....                          | 66 |
| Tabla 4.11 Características de los envases de RPBI .....  | 70 |
| Tabla 4.12 Principales ventajas y desventajas de los diferentes métodos de tratamiento de los RPBI ..... | 72 |
| Tabla 4.13 Tratamiento para residuos biológico infeccioso .....  | 73 |

## Acrónimos

|          |  |
|----------|--|
| BPCs     | Bifenilos Policlorados                                 |
| CENAPRED | Centro Nacional de Prevención de Desastres             |
| CyD      | Construcción y demolición                              |
| DOF      | Diario Oficial de la Federación                        |
| DPD      | Desechos peligrosos domésticos                         |
| INE      | Instituto Nacional de Ecología                         |
| OMS      | Organización Mundial de la Salud                       |
| OPS      | Organización Panamericana de la Salud                  |
| PEAD     | Polietileno de alta densidad                           |
| PEBD     | Polietileno de baja densidad                           |
| PET      | Polietilen tereftalato                                 |
| PP       | Polipropileno  |
| PS       | Poliestireno   |
| PVC      | Policloruro de vinilo                                  |
| RCD      | Residuos de construcción y demolición                  |
| REE      | Residuos electrodomésticos y electrónicos              |
| RPBI     | Residuos peligrosos biológico infecciosos              |
| RSM      | Residuos sólidos municipales                           |
| RSU      | Residuos sólidos urbanos                               |
| SEMARNAT | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales      |
| TRC      | Tubos de rayos catódicos                               |
| UNEP     | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| VFU      | Vehículo al final de su vida útil.                     |

---

## CAPÍTULO 1

---

### Introducción

---

---

Sin duda alguna los desastres naturales son imposibles de evitar, ocasionan daños al ambiente, pérdidas materiales, económicas y en el peor de los casos humanas; en 2012 el Centro para la Investigación de la Epidemiología de los Desastres registró alrededor de 310 desastres naturales a nivel mundial, que provocaron la muerte de más de 9 300 personas y afectaron a 106 millones más.

México por su ubicación geográfica está sujeto al impacto de gran número de fenómenos naturales como son sismos, inundaciones, tsunamis, ciclones tropicales, volcanes activos, entre otros. A nivel nacional de acuerdo a la información proporcionada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED (2013) una estimación de las víctimas fatales a consecuencia de fenómenos hidrometeorológicos arroja 2 767 personas, la cantidad de daños totales por este tipo de fenómenos, de 1980 a 1999, fue de 4 537 millones de dólares, lo que en promedio arroja 227 millones de dólares en pérdidas anuales.

Durante tales fenómenos naturales la generación de residuos sólidos aumenta y la recolecta de estos se ve afectada por varios factores sin embargo si se contara con una gestión adecuada en la prevención de manejo de residuos en zonas vulnerables a estos desastres naturales los daños ambientales y los riesgos a la salud de la población se minimizarían.

Registros epidemiológicos después de un desastre natural indican que además de las lesiones físicas, a veces existe un incremento de infecciones respiratorias y diarreicas ocasionadas por los puntos de acumulación de residuos sólidos domésticos y material orgánico en descomposición, que se convierten en focos de agentes transmisores de enfermedades, como ocurrió en el terremoto de Moquegua y Tacna en el sur del Perú en junio del 2001.

El manejo inadecuado de residuos peligrosos constituye un factor de riesgo para la salud humana si no se realiza un adecuado almacenamiento, tratamiento y disposición final. Tomando las medidas adecuadas, se lograrán minimizar los daños a la salud y una de ellas es la rápida remoción de los residuos sólidos domésticos, los residuos peligrosos que pudieran generarse y los escombros.

Por lo anteriormente dicho se plantean los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

Establecer las acciones básicas para el desarrollo de un manejo adecuado de los residuos sólidos después de un desastre natural, considerando su naturaleza.

**Objetivos específicos:**

Investigar en medios impresos y electrónicos información sobre desastres naturales ocurridos a nivel mundial.

Revisar y analizar la información concerniente al manejo de residuos sólidos después de un desastre considerando la información que presentan los organismos internacionales.

Clasificar los residuos sólidos generados después de un desastre tomando en cuenta su peligrosidad.

Proponer un manejo adecuado de los residuos sólidos generados en el desastre de acuerdo a su clasificación.

**Alcances y limitaciones:**

Se considerará la problemática a nivel nacional.

Los fenómenos naturales que se tomaran en cuenta son los geológicos (terremotos, erupciones volcánicas) e hidrometeorológicos (inundaciones, tsunamis).

Se consideraran los residuos sólidos peligrosos y no peligrosos así como los de manejo especial.

## Los desastres naturales más importantes en el mundo

---

---

### 2.1 Desastres Geológicos

Un desastre del tipo geológico es aquel donde el agente perturbador tiene como causa directa las acciones y movimientos de la corteza terrestre. A esta categoría pertenecen los sismos, las erupciones volcánicas, los tsunamis, la inestabilidad de laderas, los flujos, los caídos o derrumbes, los hundimientos, la subsidencia y los agrietamientos (DOF, 2012).

A continuación se dará una breve reseña de algunos desastres naturales del tipo geológico; cabe mencionar que estos fueron seleccionados tomando en cuenta la fecha en que se presentaron.

#### 2.1.1 Japón terremoto y tsunami Marzo 2011

El 11 de Marzo de 2011 se registró un terremoto de magnitud 9 en la costa de Honshu en Japón, minutos después se registraron 1 235 réplicas y una serie de tsunamis a lo largo de la costa oriental. Se reportaron 15 854 muertes, 3 155 desaparecidos y 26 992 lesionados. Con respecto a las construcciones 129225 edificios totalmente colapsados, 254 204 medio derrumbados y 69 177 parcialmente dañados; los daños estimados fueron de 210 mil millones de dólares (UNEP, 2012). La figura 2.1 muestra algunos edificios que fueron destruidos por el tsunami en la prefectura de Miyagi, al noreste de Japón.



Figura 2.1 Destrucción de edificios en la prefectura de Miyagi, al noreste de Japón (Foto: Kyodo / Reuters, 2011).

El marco básico para tratar los residuos del desastre fue el siguiente (Sakai, s.f.):

- ◆ Los residuos se tratarán y eliminarán de forma rápida, sin perder de vista la obtención de la salud pública y el manejo de residuos peligrosos. La prioridad es la posibilidad de tratar con la materia orgánica putrefacta y eliminar rápidamente de las ciudades y calles, o tomar medidas como la dispersión de cal para retrasar putrefacción para determinar la ubicación de los desechos peligrosos tales como los médicos, el asbesto y los bifenilos policlorados (BPCs); tratando de procesar cada tipo de residuos de la manera apropiada.
- ◆ Los sitios de almacenamiento temporal se van a crear y los residuos se separan uniformemente. Residuos de lugares de recogida se decidirán de inmediato, y los materiales putrefactos, incluyendo los elementos de tipo de lodos, materiales inflamables, y los desechos peligrosos no deben ser mezclados.
- ◆ El reciclaje debe ser considerado, los escombros de hormigón pueden ser reciclados en la recuperación y reconstrucción de las fases, restos de madera pueden sustituir a los combustibles fósiles en la generación de energía y otras aplicaciones, y varios otros tipos de reciclaje se puede concebir.

La clasificación de los residuos sólidos y disposición final se presenta a continuación (UNEP, 2012):

1.- Residuos de combustibles: Después de la trituración, se utilizará para el proceso de calcinación de cemento y generación de energía siempre que sea posible.

2.- Residuos de madera: Exponer la madera a la lluvia para lavar la sal, se utilizará para satisfacer las necesidades del usuario; principalmente para la fabricación de tableros de madera de usos múltiples y como combustible para calderas y generación de energía.

3.- Residuos no combustibles: eliminar en los vertederos.

4.- Chatarra: deberán ser reciclados después de separar los metales ferrosos y no ferrosos, siempre que sea posible.

5.- Concreto de residuos: debe ser separado en asfalto, hormigón, piedra y otros materiales. Preferentemente se debe utilizar como materiales para la reconstrucción de las zonas afectadas.

6.- Mobiliario de casa y automóviles: Los artículos deben estar separados a la medida de lo posible (televisores, acondicionadores de aire, lavadoras, secadora y refrigerador), deben eliminarse considerando ley de reciclaje de electrodomésticos. Los automóviles deben ser entregados a empresas de recolección para el reciclaje cuando estos ya no sean útiles.

7.- Barcos: deberán ser desmantelados después de extraer el combustible y las baterías, la chatarra será reciclada, plástico y residuos de madera se incinerarán o se utilizan para la generación de energía, en la medida de lo posible. Las partes de los recipientes que contienen asbesto deberán eliminarse considerando los procedimientos especificados para residuos contaminados con asbesto.

8.- Los residuos peligrosos: los residuos que contengan asbesto, bifenilos policlorados (BPCs) y otras sustancias peligrosas deberán ser separados de los demás residuos, tratados como una categoría discreta de desechos especialmente controlados y eliminados de acuerdo con sus propiedades.

9.- Sedimentos del Tsunami: materiales que contienen sustancias tóxicas (metales pesados), materiales combustibles y sedimentos perecibles que contengan aceite se deben utilizar como materia prima de cemento o sometidos a incineración y desecharlos en vertederos.

10.- Residuos en sitios post-incendio en los sitios afectados por los incendios, las cenizas deben separarse de la chatarra y residuos de hormigón. Los sedimentos del tsunami mezclados con cenizas, deben ser fundidos o depositados en vertederos en sitios de disposición final.

La figura 2.2 muestra el flujo básico implicado en la operación de los sitios de almacenamiento temporal y lugares preliminares de almacenamiento de residuos.

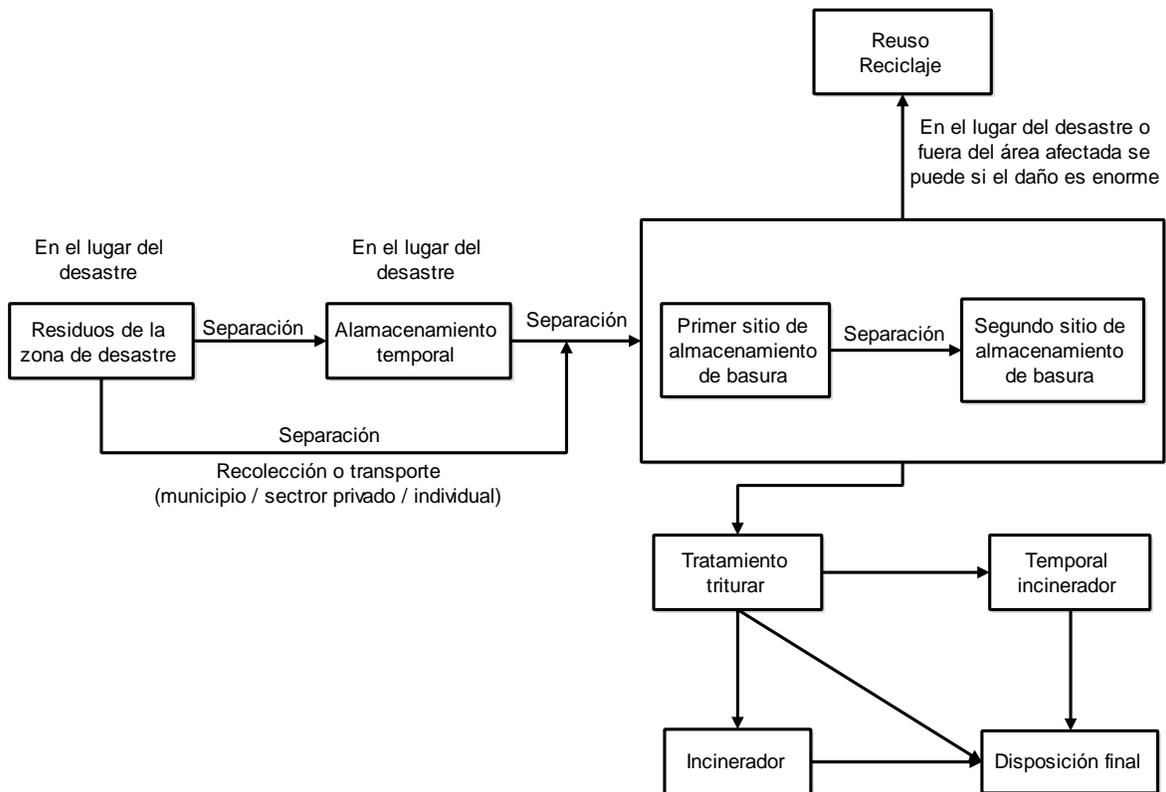


Figura 2.2 Separación y tratamiento de los residuos (UNEP, 2012).

En la ciudad de Sendai se había calculado la cantidad de residuos del desastre sólo tres semanas después del terremoto de marzo de 2011, se estableció el objetivo de disponer de un plazo de tres años. Al darse cuenta de que era

imposible para el tratamiento de los residuos utilizando sólo las instalaciones existentes, la ciudad decidió crear incineradores temporales adicionales, que fueron construidos en el otoño de 2011. Tres incineradores temporales (un horno de fogonero y dos hornos rotatorios, 480 toneladas / día de capacidad total eliminación) se instalaron en tres sitios de almacenamiento temporal designados a lo largo de la zona costera (UNEP, 2012).

### **2.1.2 Italia terremoto Abril 2009**

El 6 de abril de 2009, la provincia de L'Aquila, en la región de Abruzzo fue seriamente dañada por un terremoto de magnitud 6.3; 1500 personas resultaron heridas y más de 30 000 personas habrían perdido sus casas. El epicentro se situó a tan sólo unos kilómetros del centro de L'Aquila, muchos edificios históricos vulnerables fueron severamente dañados o colapsaron. Por otra parte, L'Aquila, siendo la capital de la región de Abruzzo, también alberga las principales oficinas gubernamentales de la región, por lo que las actividades públicas fueron interrumpidos o estropeadas por el derrumbe de numerosos edificios públicos (Micangeli et al., 2013).

La primera fase de la gestión de los residuos fue proporcionar un acceso seguro a la ciudad, llevar a cabo la búsqueda y rescate. El cuerpo de bomberos y el ejército eran en gran parte responsable de esta fase, en la figura 2.3 se muestra a los rescatistas ayudando a los habitantes a salir de sus casas donde se encontraban atrapados. La mayoría de los restos fueron movidos rápidamente a un lado para facilitar el acceso. El movimiento de los escombros era prioridad en primer lugar para permitir la búsqueda y el rescate, en segundo lugar, para la seguridad pública y en tercer lugar para la reconstrucción. No había un plan involucrado con esta fase. Además de las actividades de búsqueda y rescate, seguridad del edificio fue primeramente evaluados por el cuerpo de bomberos. Las estructuras que presentaban un riesgo inmediato fueron aseguradas o demolidas según fuera necesario (Brown et al., 2010).



Figura 2.3. Rescatistas ayudando a salir a los sobrevivientes  
(Foto de Reuters, 2009).

Después de la fase de emergencia, todos los edificios afectados tenían que tener una evaluación de daños; las obras de demolición y gestión de residuos son esencialmente organizados en tres categorías (Brown, 2012):

1. Obras de demolición total. Fueron coordinadas por el Departamento de Protección Civil y se llevaron a cabo por el Cuerpo Nacional de Bomberos y el Ejército, Se establecieron zonas de parada temporal para ordenar residuos mezclados traídos de los sitios de demolición. Después de las obras de demolición fueron entregados a los municipios locales, la comunidad de L'Aquila fue elegida para clasificar los residuos en el sitio de la demolición para llevarlos a las zonas de almacenamiento provisional.
2. Escombros de reparación mayor: Estaba a cargo de contratistas, contratado por la propiedad propietarios, que llevan a cabo trabajos de reparación y que se aprobaron por gestores ambientales nacionales. Los contratistas eran los responsables de separar los desechos y llevar los materiales a operadores de reciclaje o en los sitios de disposición de acuerdo a sus operaciones en tiempo de paz.

3. Detrito Menor. Fue tratado por los propietarios individuales, instalaciones de recogida han sido proporcionados por el municipio y este es el responsable para separar los desechos y llevarlos a las instalaciones de reciclaje o en los sitios de disposición.

En la figura 2.4 se muestra la Basilica de Santa María de Collemaggio después del terremoto.



Figura 2.4 Basilica de Santa María de Collemaggio rodeada de escombros en L'Aquila. (Foto de Daniele La Monaca, 2009).

Todos los desechos de importancia histórica tuvieron que ser tratados de acuerdo con la normativa regional y nacional. Todas las partes de los escombros de los monumentos históricamente significativos se reutilizaron, se recogieron y se almacenaron por separado. El principal componente peligroso identificado en los residuos fue el asbesto, este se eliminaría según procedimientos normales en las instalaciones aprobadas. La eliminación de los alimentos podridos de las tiendas, restaurantes, casas, etc. se identificó como un problema menor. Estas obras estuvieron a cargo de contratistas especializados (Brown et al., 2010).

En las siguientes figuras 2.5 y 2.6 se describen los diferentes aspectos de la demolición y el sistema de gestión de residuos (Brown et al., 2010).

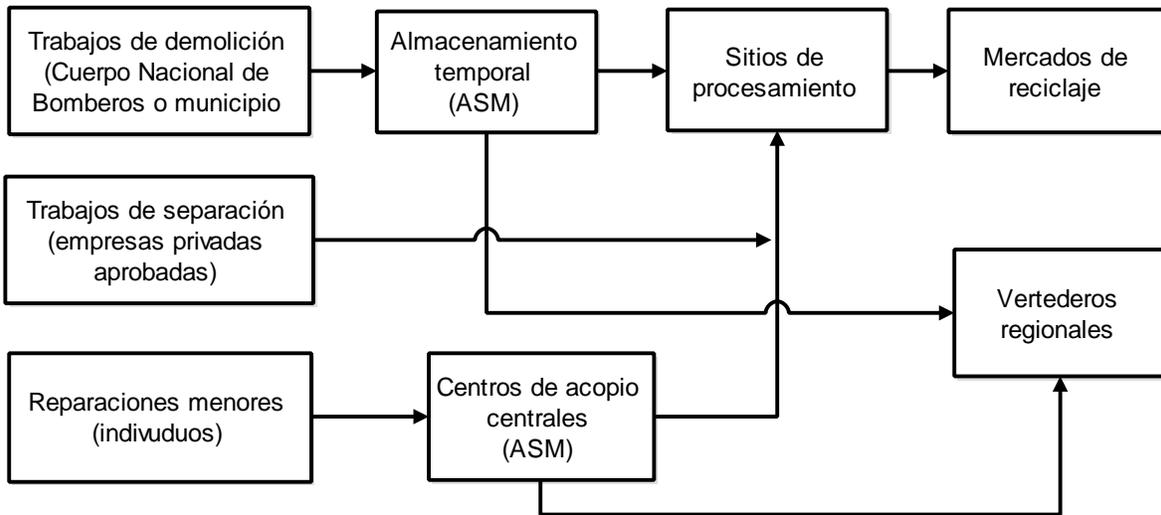


Figura 2.5. Diagrama de flujo de la gestión de residuos: gestionado por el Departamento de Protección Civil (Diagrama de Brown, 2010).

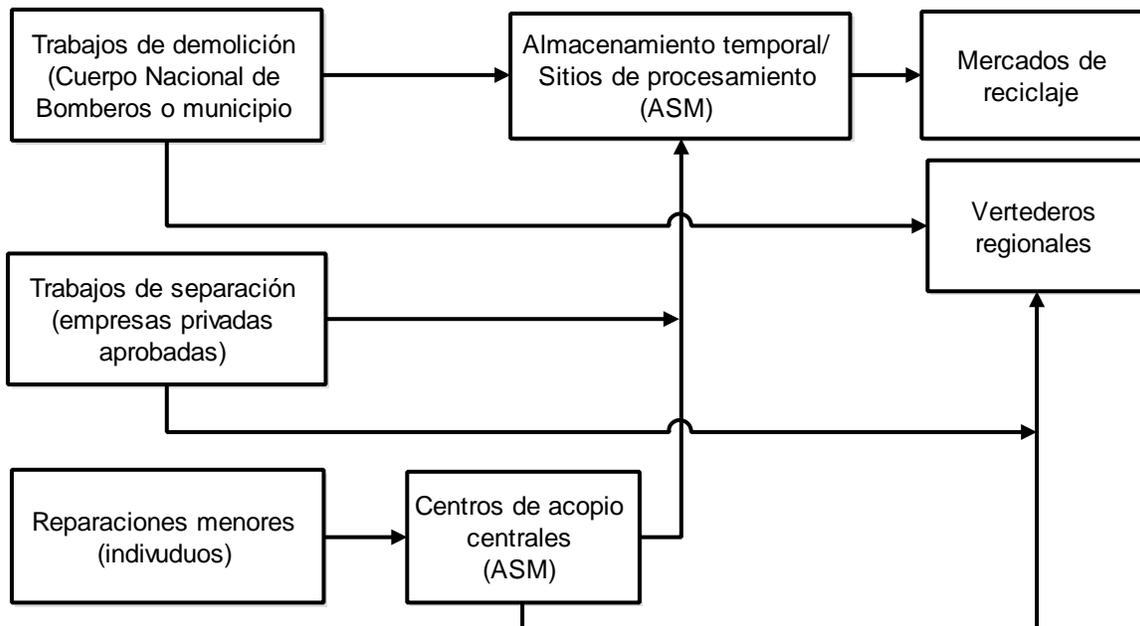


Figura 2.6. Diagrama de flujo de la gestión de residuos: gestionado por el municipio (Diagrama de Brown, 2010).

### 2.1.3 Ecuador Erupción del volcán Reventador 2002

El 3 de noviembre del 2002, a las 2:00 de la mañana el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador registró una importante actividad sísmica en el volcán “El Reventador”; y entre las 7:30 y las 9:00 a.m. del mismo día, se produjeron una serie de explosiones que generaron una columna de gases y ceniza de aproximadamente 15000 metros, acompañada de flujos piroclásticos, (Zilbert et al., 2005) la figura 2.7 muestra la erupción del volcán.



Figura 2.7. Erupción del volcán Reventador 3 Noviembre 2002  
(foto de OPS/OMS, 2006).

Se estimaron de 2 a 3 mm en promedio de ceniza acumulada en las vías, plazas, parques y cubiertas de las casas. En el área rural fueron afectadas más de 250 000 cabezas de ganado, principalmente porque los pastos se cubrieron de ceniza, así como los cultivos. También se observaron daños en los cultivos de flores, principalmente porque se destruyó la infraestructura de los invernaderos por el peso excesivo de ceniza sobre ellos. Las vías de comunicación se vieron afectadas, principalmente el aeropuerto, que estuvo cerrado por 8 días, por el gran volumen de ceniza que se tuvo que barrer y recolectar. Las calles estaban llenas de ceniza y tuvo que limitarse la velocidad de tránsito a 20 km/hora para evitar que la ceniza fina se levantara por el paso de los vehículos (OPS, 2003).

La caída de cenizas contaminó las fuentes de captación de agua cruda, como ríos, depósitos, quebradas, pozos, lagos y otros. Las altas concentraciones de material sedimentable en el agua cruda causaron problemas en las plantas de tratamiento de agua potable, en las unidades de mezcladores, sedimentadores y filtros, en las plantas de tratamiento rurales y urbanas. El proceso eruptivo causó daños irreparables en una fuente de agua subterránea, ubicada en el sitio Cascabel de la provincia de Sucumbíos. Esta fuente desapareció. Se trata del único caso reportado de daños en fuentes de abastecimiento. El mayor problema causado por la caída de cenizas fue la suspensión de energía eléctrica, lo que determinó la suspensión de bombeos, producción de agua cruda y tratada (OPS/OMS, 2006).

Se dio alta prioridad a la limpieza del aeropuerto y de las vías públicas donde la polvareda impedía la visibilidad. La limpieza de la ceniza demandó gran cantidad de mano de obra, debido al espesor de la capa de ceniza, que, además, al humedecerse, aumentaba su peso significativamente y formaba un lodo pastoso con alta cohesión, lo que dificultaba la limpieza. Las herramientas utilizadas fueron principalmente escobas, palas y fundas, y un equipo de recolección consistente en camiones de volteo (volquetes) y cargadoras. La participación de la comunidad fue fundamental para las tareas de limpieza, cada habitante debía limpiar el frente de su domicilio y almacenar la ceniza en fundas plásticas de no más de 30 cm de lado, puesto que envases mayores resultaban muy pesados para el personal de recolección (OPS, 2003).

Las mingas tuvieron el apoyo de empresas privadas, que destinaron a su personal (y a personal contratado) a barrer áreas públicas. Igualmente, se buscó el apoyo de otras instituciones del gobierno; uno de los más grandes aportes en la recolección de la ceniza fue el ejecutado por el ejército. Las lluvias que ocurrieron a los pocos días del evento arrastraron ceniza a los sumideros y generaron el riesgo de que se produzca un taponamiento en la red de alcantarillado por la acumulación de la ceniza. Por esta razón se contrató a empresas para la limpieza de estos conductos. El lavado de los vehículos se incrementó, así como el reemplazo de los filtros de aire por la acumulación de ceniza (OPS, 2003).

La municipalidad fijó tres sitios para la disposición de la ceniza en la ciudad, sobre la base de la programación realizada en 1999 para la emergencia del volcán Pichincha<sup>35</sup>, información que fue difundida entre toda la población. Sin embargo, en las zonas periféricas del Distrito Metropolitano de Quito, se depositó ceniza en sitios no autorizados, como terrenos baldíos y quebradas. Complementariamente, como apoyo a los sectores afectados, los agricultores de la zona de la costa ecuatoriana propusieron el intercambio de bananos por ceniza para utilizarla como abono complementario y para el control de plagas. Por medio de este proceso de intercambio, se llegaron a transportar alrededor de 300 toneladas de ceniza, lo que constituye un buen ejemplo de reciclaje de los residuos sólidos generados en una situación de desastre (OPS, 2003).

## **2.2 Desastres Hidrometeorológicos**

Los desastres de tipo hidrometeorológico son cuando el agente perturbador se genera por la acción de los agentes atmosféricos, tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías; ondas cálidas y gélidas; y tornados (DOF, 2012).

### **2.2.1 Estados Unidos Huracán Katrina agosto 2005**

El huracán Katrina fue inicialmente identificado como una tormenta tropical en las Bahamas. A través de Florida el 25 de agosto como un huracán de categoría 1, luego entró en el Golfo de México y se sometió a una intensificación dramática como huracán de categoría 5, antes de tocar tierra en la costa del Golfo. Se continuó como una fuerte tormenta a través del centro de los Estados Unidos. Katrina duró nueve días a partir de su creación como depresión tropical del 23 de agosto para su disipación sobre Canadá el 31 de agosto (RMS, 2005), la figura 2.8 muestra una

vista aérea de los daños causados el día después de que el huracán golpeará Nueva Orleans.



Figura 2.8. Nueva Orleans vista aérea 30 de agosto 2005.  
(foto de Jocelyn Augustino / FEMA, 2005)

Los principales tipos de residuos a causa del desastre que son removidos en el paso del huracán Katrina se dividen en las siguientes categorías (Esworthy et al., 2006):

- ◆ Los residuos sólidos urbanos: la basura doméstica general.
- ◆ Los escombros de construcción y demolición: materiales de construcción (que puede incluir materiales que contienen asbesto), paneles de yeso, madera, alfombras, muebles, colchones, plomería.
- ◆ Desechos vegetales: árboles, ramas, arbustos y troncos.
- ◆ Los residuos peligrosos en el hogar: plaguicidas, pinturas, agentes de limpieza.

- ◇ Línea blanca: Refrigerador, congeladores, lavadoras, secadoras, estufas, calentadores de agua, lavavajillas, aparatos de aire acondicionado.
- ◇ Los residuos electrónicos: computadoras, televisores, impresoras, equipos de música, reproductores de DVD, teléfonos.

La figura 2.9 muestra el flujo básico implicado en la operación de demolición y el sistema de gestión de residuos (Brown, 2012).

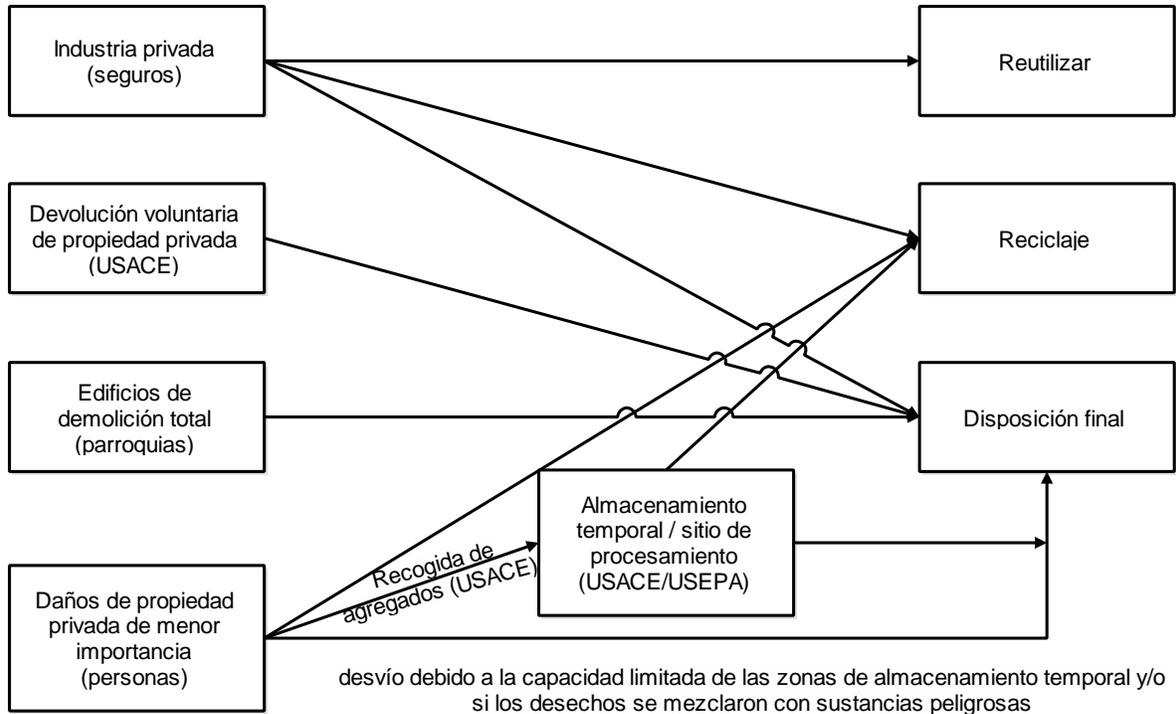


Figura 2.9. Demolición y sistema de gestión de residuos  
(Diagrama de Brown, 2012)

Inicialmente en las actividades de remoción de escombros se retiraron los desechos de los lugares públicos y los que impedirían el paso de las carreteras. El proceso de eliminación era recoger los residuos, llevarlos a una zona de espera para separar los materiales y transportarlos a vertederos, instalaciones de regeneración (donde pueda ser reciclado o reutilizado de alguna forma), o quemarlos. Los residuos fueron tratados de la siguiente manera (Luther, 2006):

- ◇ Línea blanca: se les quito el freón y se reciclaron.

- ◇ Metales: fueron reciclados.
- ◇ Desechos vegetales: cuando fue posible se reutilizaron o se quemaron, cuando estos desechos se mezclaron o se contaminaron con otros residuos se quemaron.
- ◇ Los desechos electrónicos: se reciclaron hasta donde fue posible.
- ◇ Residuos peligrosos del hogar: fueron recogidos por separado y se eliminaron en vertederos.
- ◇ Residuos con el material que contiene asbesto: fueron dispuestos en los rellenos sanitarios de asbesto.
- ◇ Neumáticos: fueron reciclados.

A continuación se presenta la clasificación de los residuos sólidos y disposición final que fue elaborado por el Servicio de Investigación del Congreso basado en una revisión de los Departamentos de Planes de gestión de desastres de Calidad Ambiental de Mississippi y Louisiana (Luther, 2006):

1.- Residuos sólidos municipales (RSM): objetos personales y en general basura de la casa; comúnmente, los RSM son residuos no peligrosos que se envía a los vertederos autorizados. Después de haber sido sumergido en aguas de la inundación, es posible que los residuos se contaminaran con componentes peligrosos que son esencialmente imposible separar o eliminar.

2.- Putrescibles: podrido o en mal estado; frutas, verduras, mariscos o carnes putrescibles se consideran RSM, pero deben ser removidos tan pronto como sea posible para evitar problemas de olores, contaminación ambiental y la infestación de roedores. Cuando se mezcla con otros RSM, como en las condiciones de inundación, pueden contaminar los desechos que rodea.

3.- Línea blanca: Refrigeradores electrodomésticos, congeladores, acondicionadores de aire, lavadoras, secadoras, estufas, calentadores de agua y lavavajillas; en algunos productos de línea blanca se les tuvo que quitar la comida en mal estado antes de que los aparatos pudieran ser reciclados o eliminados. La línea blanca contiene freón (por ejemplo, refrigeradores, congeladores y

acondicionadores de aire) y se tiene que drenar adecuadamente antes de su reciclado o eliminación.

4.- Desechos peligrosos domésticos (DPD): Aceite, plaguicidas, pinturas, agentes de limpieza; cuando sea práctico, por lo general es preferible para recoger por separado de los residuos urbanos para evitar el envío de grandes cantidades a rellenos sanitarios que no son destinados a aceptar residuos peligrosos.

5.- Escombros de construcción y demolición (CyD): escombros Asfalto, yeso, ladrillo, metal, hormigón, materiales para techos y madera sin tratar: Tales residuos se eliminan generalmente en vertederos especialmente designados para escombros de CyD. En condiciones normales, separar materiales tóxicos de los residuos de CyD no es un problema, no obstante los escombros de CyD generados en zonas inundadas se mezclaron o contaminaron con sustancias tóxicas como el plomo, el asbesto, el arsénico, productos derivados del petróleo, los residuos domésticos peligrosos, putrescibles o moho. La destrucción puede ser tan extensa que la separación de los tóxicos es esencialmente imposible.

6.- Escombros Vegetativos: Árboles, ramas, arbustos y troncos; se pueden utilizar como abono o compostaje, sin embargo, cuando se genera en cantidades significativas, la quema puede ser la opción de gestión viable primaria.

7.- Automóviles o materiales: coches y camiones, combustible, aceite de motor, baterías, y neumáticos; los residuos de vehículos incluyen metales que pueden ser reciclados. Típicamente, los desechos relacionados con los automóviles, tales como aceite de motor, gasolina, neumáticos enteros, y baterías están prohibidos en los vertederos de RSM.

8.- Residuos electrónicos: computadoras, televisores, impresoras, equipos de música, reproductores de DVD, teléfonos; los residuos electrónicos normalmente puede ser reutilizados o reciclados. Sin embargo, esto no es factible si los productos estuvieran contaminados con aguas residuales o inundación. Este tipo de residuos puede incluir varios componentes peligrosos, como el plomo y el mercurio.

### **2.2.2 Perú Inundaciones 2011-2012**

Desde el 16 de noviembre de 2011, fuertes precipitaciones provocaron el crecimiento del nivel de los ríos Huallaga, Ucayali, Marañón, Amazonas y de sus respectivos afluentes. El río Amazonas alcanzó su nuevo máximo histórico medido en la ciudad de Iquitos al sobrepasar en 1.97 metros su nivel de desborde. Debido a las características geográficas e hidrográficas de Loreto, no todas las provincias se inundaron al mismo tiempo. Por ello, la emergencia se produjo en momentos diferentes en distintas zonas de la región; los primeros daños ocasionados por la creciente de los ríos se produjeron en el mes de noviembre de 2011 en las zonas rurales de la provincia de Datem del Marañón, en el mes de enero de 2012, se inundaron las provincias de Alto Amazonas, Loreto, Maynas, Requena y Ucayali. Finalmente, en febrero, resultó afectada la provincia de Ramón Castilla. El desborde de los ríos dejó un total de 229 412 damnificados y 138 161 afectados, las cifras oficiales reportan que cinco menores fallecieron por ahogamiento; 72 642 viviendas, 1 724 instituciones educativas, 54 centros de salud, 170 locales comunales y 150 765 metros lineales de camino rural resultaron afectados por los eventos adversos (INDECI, 2013). La figura 2.10 muestra las casas inundadas del distrito de Belén.

La dirección de salud ambiental de Loreto implementó un programa para el control del manejo de residuos sólidos generados en la emergencia en Iquitos y extensivo a las provincias afectadas, concentrando sus actividades iniciales en los albergues, seguidamente en calles inundadas dentro la ciudad de Iquitos y en la Periferie de la ciudad cuando los niveles de ríos comenzaron a descender. En Iquitos, el programa se vio fortalecido al sumarse a las campañas de limpieza de escombros, recojo de inservibles y residuos sólidos que reactivó el gobierno regional de Loreto en zonas inundables, bajo el nombre de “Médico en tu Barrio” por ser de atención integral; toda vez que en éstas campañas contaban con el apoyo de: brigadas de personal militar (en número de 50, equipado con herramientas básicas y equipos de protección personal) para la recolección, maquinaria pesada para el cargo, traslado y disposición final de los residuos sólidos; equipos de sonido

amplificado para dar a conocer la actividad y los spots publicitarios de sensibilización de agua-saneamiento-higiene-otros, trípticos integrales impresos en cantidad suficiente para su distribución en la comunidad en temas de promoción de la salud. Durante la emergencia, la dirección de salud ambiental de Loreto entregó 15 000 unidades de bolsas negras de 70 L que se distribuyeron inicialmente en los albergues hasta el final de su permanencia, a los poblados y seguidamente en las campañas de recolección de residuos en las zonas inundables de Iquitos. La distribución de estas bolsas se dio a razón de 2 unidades por familias y se dejaba en mayor número disponible para el personal de la brigada de apoyo. (OPS/OMS, 2013).



Figura 2.10. Distrito de Belén, ubicada al este de Iquitos (Foto de la Comisión de Justicia y Paz- Derechos Humanos del Vicariato Apostólico de Iquitos Carmen Rosa Arévalo Salas, 2011).

### **2.2.3 Estados Unidos Tornados febrero 1998**

El día 22 y 23 febrero 1998 al menos siete tornados se produjeron, cuatro de los tornados causaron víctimas mortales; hubo 42 muertes y cerca de 260 personas

resultaron heridas. El primer tornado mortal de intensidad F2 al oeste de Daytona Beach en el condado de Volusia mató a una persona e hirió a tres a lo largo de una ruta de 11 km. Otra tormenta produjo un tornado F3 que afectó a lo largo de una ruta de 32 kilómetros en el lago y los condados de Orange, este tornado mató a tres en Winter Garden, en el oeste del Condado de Orange e hirió a 70 personas. La misma tormenta produjo un segundo tornado en el condado de Seminole que continuó en el Condado de Volusia. Mató a 13 en el condado de Seminole e hirió a otros 36 a lo largo de la ruta de 22 km. Una tercera tormenta produjo un tornado en el condado de Osceola que viajaba a 56 kilómetros, esta tormenta golpeó en Kissimmee, matando a 25 personas en el condado de Osceola e hirió a unas 150 personas (Schmidlin et al., 1998). La figura 2.11 muestra los daños causados en algunas viviendas de la ciudad de Lakeside.



Figura 2.11. Vista aérea de los daños a las viviendas en Lakeside subdivisión en Kissimmee, Florida (Foto de Robert Sheets, 1998).

En el condado de Orange 114 edificios fueron destruidos, 99 edificios sufrieron daños importantes, y 147 estructuras sufrieron daños menores; en Volusia 39 casas fueron destruidas y 601 casas rodantes y apartamentos sufrieron daños;

en Osceola las estimaciones iniciales indican aproximadamente 430 edificios fueron dañados o destruidos; en Seminole 300 casas fueron destruidas o dañadas y 166 familias fueron afectadas. Además de los daños a las estructuras, se destruyeron cientos de coches y camiones esta crisis se agudizó por la incapacidad de llevar el transporte público en las zonas más afectadas (Reinhart, McCreanor , 1999).

Esencialmente la recolección de residuos de un año de escombros se generó en todo el condado; una empresa externa, Grubbs Construction, fue contratada para limpiar los escombros a un costo del contrato de aproximadamente \$ 8 millones. Con esto las operaciones locales de servicios de residuos continuaron con la recolección de basura de manera habitual. El plan de gestión de residuos utilizó una sección de 20 acres de terreno junto a un relleno sanitario local para el procesamiento de residuos. Este sitio fue utilizado para separar los materiales reciclables, moler residuos de madera, y quemar los residuos con un incinerador de cortina de aire (Reinhart, McCreanor, 1999).

## **Clasificación de los residuos sólidos generados después de un desastre natural**

---

---

Como ya se ha mencionado en el capítulo anterior los residuos generados durante un desastre geológico e hidrometeorológico son variados y en ocasiones se mezclan, para su adecuado manejo, tratamiento, transporte y disposición final es necesario tener una clasificación para minimizar los riesgos derivados del ingreso de un residuo peligroso a un sistema de gestión diseñado para otro tipo de residuos.

Los residuos pueden ser clasificados utilizando diferentes criterios, por ejemplo: estado, origen, tipo de tratamiento al que serán sometidos o potenciales efectos derivados del manejo (Martínez, 2005).

### 1. Clasificación por estado

En este caso un residuo es definido de acuerdo al estado físico en que se encuentra, ya sean sólidos, semisólidos, líquidos y gaseosos.

### 2. Clasificación por origen

Se refiere a una clasificación sectorial y no existe límite en cuanto a la cantidad de categorías o agrupaciones que se pueden realizar. Un ejemplo de ellas son las siguientes:

- ◆ Domiciliarios, urbanos o municipales
- ◆ Industriales
- ◆ Agrícolas, ganaderos y forestales
- ◆ Mineros
- ◆ Hospitalarios o de Centros de Atención de Salud
- ◆ De construcción
- ◆ Radiactivos

### 3. Clasificación por tipo de tratamiento al que serán sometidos

Este criterio de clasificación es útil para orientar la gestión integral de residuos de un país y particularmente útil cuando el objetivo es definir la infraestructura que se necesita para el tratamiento y la disposición final de los residuos.

Es así que los diferentes residuos se pueden definir entre otros:

- ◊ residuos asimilables a residuos urbanos y que por lo tanto se pueden disponer en forma conjunta.
- ◊ residuos para los cuales la incineración es el tratamiento idóneo.
- ◊ residuos que se deben disponer en rellenos de seguridad.
- ◊ residuos generados en grandes cantidades y que por lo que requieren tratamiento particular.
- ◊ residuos pasibles de ser sometidos a un proceso de valorización.

### 4. Clasificación por los potenciales efectos derivados del manejo

Los residuos se clasifican en tres categorías (DOF, 2013):

- ◊ Residuos peligrosos
- ◊ Residuos no peligrosos
- ◊ Residuos de manejo especial

Antes de ver la clasificación que se utilizará para la disposición final de los residuos en este trabajo, se presenta en la tabla 3.1 los posibles daños generados de algunos desastres natural (OPS, 2003).

Tabla 3.1 Análisis de desastres, daños y materiales generados (OPS, 2003).

| <b>Evento</b>                            | <b>Daño</b>  | <b>Residuos generados</b>   | <b>Impactos secundarios</b>  |
|--|--|---|--|
| Inundaciones, tsunamis, fallas de diques | Daños en vivienda: pisos, maderas de paredes, muebles. Sedimentos depositados en propiedades públicas o privadas. Escombros de deslizamientos (suelo, grava, rocas, material de construcción). Residuos sólidos peligrosos domésticos.           | Árboles caídos, madera de paredes, carpetas, madera de muebles, metales de electrodomésticos, residuos peligrosos, residuos de maleza, bolsas de arena, plástico, residuos orgánicos. | Deslizamiento de suelos.   |
| Terremotos                               | Daños de infraestructura, autopistas de concreto y asfalto, pasos a desnivel. Bloques de concreto, cemento, paredes de concreto armado, vehículos dañados. Asfalto de lugares de parqueo. Restos de edificios, propiedades privadas, sedimentos. | Concreto, ladrillos, cimientos, asfalto, madera de paredes, vidrio, carpetas, asbesto, restos de melaza, plásticos, residuos orgánicos.   | Daños secundarios como incendios o explosiones. Residuos generados por nuevas construcciones y reparaciones. |
| Huracanes                                | Restos de edificaciones dañadas, sedimentos, árboles, propiedad privada.   | Madera de paredes, carpetas, madera de muebles, restos de electrodomésticos, madera, restos de melaza, bolsas de arena, plásticos, residuos orgánicos.                                |  |
| Tornados                                 | Daños y destrucción de estructuras, arboles, propiedad privada.  | Madera de paredes, carpetas, madera de muebles, restos de electrodomésticos, residuos peligrosos domésticos   |  |
| Erupciones volcánicas                    | Destrucción de estructuras por acumulación de cenizas, flujos de lava o lodos.   | Cenizas y lava  |  |

### **3.1 Residuos peligrosos**

Un residuo peligroso es aquel que posea alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio (SEMARNAT, 2013).

A continuación se especificará cada una de las características que define a un residuo peligroso (DOF, 2006):

1. Corrosivo: es cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:
  - ◊ Es un líquido acuoso y presenta un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5.
  - ◊ Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5.
  - ◊ Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6.35 milímetros o más por año a una temperatura de 328 °K (55°C).
2. Toxicidad: La propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas.
  - ◊ Toxicidad Ambiental: La característica de una sustancia o mezcla de sustancias que ocasiona un desequilibrio ecológico.
  - ◊ Toxicidad Aguda: El grado en el cual una sustancia o mezcla de sustancias puede provocar, en un corto periodo de tiempo o en una sola exposición, daños o la muerte de un organismo.
  - ◊ Toxicidad Crónica: Es la propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de causar efectos dañinos a largo plazo en los organismos, generalmente a partir de exposiciones continuas o repetidas y que son capaces de producir efectos cancerígenos, teratogénicos o mutagénicos.
3. Reactivo: es cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- ◇ Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición, según el procedimiento que se establece en la Norma Mexicana correspondiente.
  - ◇ Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kilogramo del residuo por hora.
  - ◇ Es un residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor.
  - ◇ Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo.
4. Explosivo: es cuando es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento. Esta característica no debe determinarse mediante análisis de laboratorio, por lo que la identificación de esta característica debe estar basada en el conocimiento del origen o composición del residuo.
5. Tóxico Ambiental: es cuando el extracto PECT, obtenido mediante el procedimiento establecido en la NOM-053- SEMARNAT-1993, contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos listados en la Tabla 3.2 en una concentración mayor a los límites ahí señalados.
6. Inflamable: es cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:
- ◇ Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60.5°C, quedando excluidas las soluciones acuosas que contengan un porcentaje de alcohol, en volumen, menor a 24%.
  - ◇ No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C.

- ◇ Es un gas que, a 20°C y una presión de 101.3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tiene un rango de inflamabilidad con aire de cuando menos 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad.
  - ◇ Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.
7. Biológico-Infecioso: es cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades (DOF, 2003):
- ◇ Cuando el residuo contiene bacterias, virus, hongos u otros microorganismos con capacidad de infección.
  - ◇ Cuando contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efectos nocivos a seres vivos.

Algunos residuos peligrosos generados por la población son los siguientes (Tchobanoglous et al., 1994):

- ◇ Productos de limpieza: polvos abrasivos, aerosoles, limpiadores con amoníaco, lejía de cloro, abrillantadores para muebles, limpiacristales, medicinas caducadas, limpia inodoros, limpiamanchas, etc.
- ◇ De cuidado personal: productos para ondular el pelo, champús médicos, quita esmaltes de uña, etc.
- ◇ De automóvil: anticongelante, líquido de frenos y de transmisión, baterías de coches, queroseno, gasolina, diésel, aceite residual, etc.
- ◇ Pinturas: esmalte, oleo, latex o de agua disolventes de pintura, etc.
- ◇ Diversos: pesticidas, insecticidas, herbicidas, pilas, productos químicos para fotografía, fertilizantes químicos, etc.

Las principales fuentes de pilas y baterías son las viviendas e instalaciones de reparación mecánica de automóviles. Las pilas domésticas pueden ser alcalinas, de mercurio, plata, zinc, níquel y cadmio. Los metales contenidos en las pilas domésticas puede causar la contaminación de las aguas subterráneas por su presencia en el lixiviado, también pueden contaminarlas emisiones gaseosas y las

cenizas de instalaciones de incineración de residuos. Las baterías de los automóviles contienen plomo y ácido sulfúrico ambos muy peligrosos (Tchobanoglous et al., 1994).

Tabla 3.2. Límites máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el Extracto PECT (DOF, 2006).

| <b>Contaminante</b>                           | <b>Límite Máximo Permissible<br/>[mg/L]</b> |
|---|---|
| Arsénico                                      | 5   |
| Bario   | 100   |
| Cadmio  | 1   |
| Cromo   | 5   |
| Mercurio                                      | 0.2   |
| Plata   | 5   |
| Plomo   | 5   |
| Selenio                                       | 1   |
| Acido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D)        | 10  |
| Acido 2,4,5-Triclorofenoxipropiónico (Silvex) | 1   |
| Clordano                                      | 0.03  |
| o-Cresol                                      | 200   |
| m-Cresol                                      | 200   |
| p-Cresol                                      | 200   |
| Cresol  | 200   |
| 2,4-Dinitrotolueno                            | 0.13  |
| Endrin  | 0.02  |
| Heptacloro (y su Epóxido)                     | 0.008                                       |
| Hexacloroetano                                | 3   |
| Lindano                                       | 0.4   |
| Metoxicloro                                   | 10  |
| Nitrobenceno                                  | 2   |

Tabla 3.2 Continuación de la tabla

| <b>Contaminante</b>     | <b>Límite Máximo Permisible<br/>[mg/L]</b> |
|-------------------------|--|
| Pentaclorofenol         | 100  |
| Toxafeno                | 0.5  |
| 2,4,5-Triclorofenol     | 400  |
| 2,4,6-Triclorofenol     | 2  |
| Clorobenceno            | 100  |
| Cloroformo              | 6  |
| Cloruro de Vinilo       | 0.2  |
| 1,4-Diclorobenceno      | 7.5  |
| 1,2-Dicloroetano        | 0.5  |
| 1,1-Dicloroetileno      | 0.7  |
| Hexaclorobenceno        | 0.13                                       |
| Hexaclorobutadieno      | 0.5  |
| Metil etil cetona       | 200  |
| Piridina                | 5  |
| Tetracloroetileno       | 0.7  |
| Tetracloruro de CARBONO | 0.5  |
| Tricloroetileno         | 0.5  |
| Benceno                 | 0.5  |

### 3.2 Residuos no peligrosos

Son aquellos que no ingresan en la definición como residuos peligrosos que anteriormente se ha citado. Dentro de este grupo se encontrarían los residuos inertes que se definen como aquellos que por su naturaleza o composición no

experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas (Tchobanoglous et al., 1994).

Consisten en dos subcategorías que están formadas por los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en zonas residenciales y de establecimientos comerciales.

### **3.2.1 Residuos orgánicos**

Son aquellos que se descomponen fácilmente en el ambiente, estos residuos se denominan residuos putrescibles siendo su principal fuente la manipulación y preparación de comida (Colomer y Gallardo, 2010). Dentro de los residuos orgánicos se encuentran las cáscaras, los desperdicios de comida, las hojas de los árboles (Orozco y Fuertes, 2009).

### **3.2.2 Residuos inorgánicos**

Son aquellos que no se descomponen fácilmente y requieren de muchísimos años para su degradación natural (Colomer y Gallardo, 2010). Algunos materiales inorgánicos son: vidrio, cerámica, latas, aluminio, metales férreos, latas, botellas, ollas viejas, vasos y llantas (Tchobanoglous et al., 1994).

### **3.3 Residuos de manejo especial**

De acuerdo con la Norma oficial mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial deberán cumplir con el criterio establecido en el punto A o B, pero invariablemente deberá cumplirse con el criterio establecido en el punto C (DOF, 2013a).

- A. Que se generen en cualquier actividad relacionada con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios, y que no reúnan características domiciliarias o no posean alguna de

las características de peligrosidad en los términos de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005.

- B. Que sea un Residuo Sólido Urbano generado por un gran generador en una cantidad igual o mayor a 10 toneladas al año y que requiera un manejo específico para su valorización y aprovechamiento.
- C. Que sea un residuo, incluido en el Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos de una o más Entidades Federativas, o en un Estudio Técnico-Económico.

En base a lo anterior los residuos de manejo especial que pudieran generarse en un desastre natural ya sea geológico o hidrometeorológico se clasifican como se indica a continuación, salvo cuando se trate de residuos considerados como peligrosos (INECC, SEMARNAT, 2013):

- ◊ Residuos de servicios de salud, generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos.
- ◊ Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general por ejemplo piedra, hormigón, armaduras, ladrillos, escayola, madera, grava, piezas de fontanería, calefacción y electricidad, etc., pueden incluir vidrios rotos, plásticos, acero, entre otros.
- ◊ Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico.

## **Propuesta del manejo de los residuos sólidos generados después de un desastre natural.**

---

---

La gestión de residuos sólidos generados de forma cotidiana ya es un desafío pues el objetivo no solo es darles una disposición final adecuada, más bien es minimizar estos residuos de tal manera que las opciones que ya son empleadas no se saturen y puedan aumentar su vida útil como son los rellenos sanitarios en los que diariamente son ingresados residuos, en el 2011 se estimó que 72% del volumen generado de RSU en el país se dispuso en rellenos sanitarios y sitios controlados, el 23% se depositó en sitios no controlados y el restante 5% se recicló (SEMARNAT, 2012a).

La propuesta que se presenta se inclina a la reutilización y el reciclaje de los residuos siempre que esto sea posible.

### **4.1 Residuos no peligrosos**

#### **4.1.1 Residuos Inorgánicos**

Se propone aprovechar hasta donde sea posible todos los residuos que puedan ser reutilizados directamente sin cambiar su forma o función básica o para ser incorporados a procesos industriales como materia prima y ser transformados en nuevos productos de composición semejante ya que esta acción reduce el volumen de residuos e incrementa la vida útil de los rellenos sanitarios.

Siempre que sea posible los siguientes artículos se reciclarán:

##### **4.1.1.1 Plásticos**

Los plásticos se encuentran en una infinidad de objetos, por su naturaleza no son biodegradables, una forma de tratarlos es el reciclaje a continuación se muestran dos formas en las que estos pueden ser aprovechados (Castells, 2000):

- ◊ Reciclado físico o mecánico: consiste básicamente en una serie de operaciones de trituración, lavado y clasificación para el posterior aprovechamiento; este puede ser utilizado como materia prima para la fabricación de nuevos plásticos.
- ◊ Reciclado energético: es básicamente la incineración con recuperación de energía.

En la tabla 4.1 se muestran algunos plásticos y el uso que se les da.

Tabla 4.1 Tipo de plásticos y aplicación de estos (Sea Studios Foundation, s.f.)

| <b>Plástico</b>  | <b>Aplicaciones</b>  |
|--|--|
| POLIETILEN TEREF TALATO<br>(PET)<br><br><b>PET</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Botellas de agua, refrescos y otras bebidas.</li> <li>◊ Recipientes de detergente y otros</li> <li>◊ Productos para la limpieza</li> <li>◊ Botes de crema de cacahuete y otros alimentos.</li> </ul>  |
| POLIETILENO DE ALTA<br>DENSIDAD (PEAD)<br><br><b>HDPE</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Garrafones para agua y leche.</li> <li>◊ Recipientes para detergente para ropa, champú y aceite para motor</li> <li>◊ Botellas de champú.</li> <li>◊ Algunas bolsas de plástico.</li> </ul>   |
| POLICLORURO DE VINILO<br>(PVC o V)<br><br><b>PVC</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Empaques transparentes para alimentos, película de plástico pegajoso.</li> <li>◊ Algunos botes de plástico que se pueden apachurrar, botes de aceite para cocinar y de crema de cacahuete.</li> <li>◊ Tubos de vinilo</li> <li>◊ Cortinas para la ducha</li> <li>◊ Pisos, revestimientos exteriores para casas y marcos para puertas y ventanas.</li> </ul> |

Tabla 4.1 Continuación de la tabla

| <b>Plástico</b>   | <b>Aplicaciones</b>   |
|---|---|
| POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD)<br><br><b>LDPE</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Bolsas de plástico de alimentos congelados y de supermercados.</li> <li>◊ La mayoría de las envolturas de plástico.</li> <li>◊ Algunas botellas.</li> </ul>  |
| POLIPROPILENO (PP)<br><br><b>PP</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Recipientes para sopas, jarabes, yogurt y margarina</li> <li>◊ Pañales desechables</li> <li>◊ Alfombras para exteriores</li> <li>◊ Cubiertas para casas</li> <li>◊ Recipientes de plástico opacos como biberones y popotes</li> </ul>  |
| POLIESTIRENO (PS)<br><br><b>PS</b>                    | <p><b>Poliestireno Rígido</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Cajas para CD</li> <li>◊ Cubiertos desechables</li> </ul> <p><b>Poliestireno moldeado (unicel)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Recipientes para comida</li> <li>◊ Empaques</li> <li>◊ Material aislante</li> <li>◊ Cartones de huevo</li> <li>◊ Material aislante para edificios</li> </ul> |
| MEZCLAS (OTROS)<br><br><b>OTHER</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Tapas</li> <li>◊ Recipientes médicos para almacenar</li> <li>◊ Electrónicos</li> <li>◊ La mayoría de los biberones de plástico</li> <li>◊ Botellas de agua de 5 galones</li> <li>◊ Forro de las latas para alimentos</li> <li>◊ Tazas entrenadoras de plástico transparente</li> <li>◊ Algunos cubiertos de plástico transparente</li> </ul>   |

Algunas de las formas en que estos productos pueden ser aprovechados después de su vida útil son los siguientes (Castells, 2000):

- ❖ PET: se recicla en forma de fibras con las que se fabrican sacos de dormir y ropa de abrigo. Para fibras de moquetas y materiales para la construcción

como: tablas aislantes, productos moldeados, correas, etc. y otros tipos de envases y piezas para el automóvil.

- ❖ PE: se recicla siempre a partir de una granza, y con ella se fabrican botellas de detergente y de aceites de automoción, tuberías, bolsas de plástico y algunos tipos de juguetes.
- ❖ PVC: los productos reciclados envases (para productos no alimenticios), cortinas de ducha, alfombras y pavimentos, tuberías de riego y tiesto.
- ❖ PP: mobiliario urbano, de jardín, postes, vallas y tablas de plástico.
- ❖ PS: se usa para fabricar tabla de espuma aislante para cimentaciones, bandejas de servir comida, aislamientos y productos moldeados.

#### **4.1.1.2 Papel y cartón**

El papel y cartón deberá estar seco y limpio; evitando la mezcla con restos de comida, servilletas y papel sanitario. Así también, es necesario retirar todos los objetos ajenos a papel y cartón como son; las grapas, cinta, broches o clips, entre otros.

Algunos de los residuos que podrían ser reciclados son los siguientes:

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| ❖ Cajas de cartón      | ❖ Empaques de cartón   |
| ❖ Cuadernos o libretas | ❖ Invitaciones         |
| ❖ Libros               | ❖ Cartulinas           |
| ❖ Periódicos           | ❖ Directorios          |
| ❖ Revistas             | ❖ Carpetas y/o folders |
| ❖ Hojas blancas        | ❖ Papel de propaganda  |
| ❖ Sobres               | ❖ Papel de publicidad  |
| ❖ Legajos              | ❖ Cartón de huevo      |
| ❖ Cajas de cereal      |                        |

Los productos de papel tienen diferentes especificaciones de resistencia, rigidez, textura, apariencia, brillantez, entre otras que implican que una materia prima como el periódico usado no sea igual ni sirve para lo mismo que una caja corrugada recuperada; por ello se divide a los materiales en tres familias: blancos, cafés y grises, en función de su apariencia y del color de la pasta que surge al mezclarlos y desbaratarlos en agua (Cámara del papel, 2012).

A continuación se muestra los productos que integran cada familia (Cámara del papel, 2012):

- ◊ Materiales blancos: pliegos de papel bond sin impresión (producto post industrial de la industria papelera), forma continua con o sin impresión, archivo blanco y viruta del mismo, papeles bond con gran cantidad de impresión o color, sobres amarillos y archivos de color.
- ◊ Materiales cafés: bobinas de papel, recortes de corrugado, bolsas de papel café, cajas corrugadas y tubos de cartón.
- ◊ Materiales Grises: bobinas de tissue, bobinas de cartoncillo, cajas de cartoncillo, cartoncillo usado en general, directorio telefónico, revistas y periódico.

El papel y el cartón se recolectan, separan y posteriormente se mezclan con agua para ser convertidos en pulpa; la pulpa de menor calidad se utiliza para fabricar cajas de cartón. Las impurezas y algunas tintas se eliminan de la pulpa de mejor calidad para fabricar papel reciclado para impresión y escritura. En otros casos la fibra reciclada se mezcla con pulpa nueva para elaborar productos de papel con un porcentaje de papel reciclado. (Cabidol et. al, 2008).

#### **4.1.1.3 Vidrio**

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable; es separado por colores, seguidamente se extraen los cuerpos extraños como porcelana, corcho, metales y se conduce a las trituradoras, el producto resultante

se denomina calcín. Un sistema de aspiración acaba de extraer todos los contaminantes ligeros como etiquetas, aluminio, plásticos, etc. (Castells, 2000).

Los colores más empleados son (Cabidol et. al, 2008):

- ◊ Verde: es utilizado en botellas de vino, cava, licores y cerveza.
- ◊ Blanco: usado en bebidas gaseosas, zumos y alimentación en general.
- ◊ Extraclaro: esencialmente está destinado a aguas minerales, tarros y botellas de decoración.
- ◊ Opaco: en botellas de cerveza y algunas de laboratorio.

Los vidrios rotos pueden emplearse en otros procesos de fabricación como aislamiento de lana de vidrio, postes para líneas telefónicas y vallas fabricadas con mezclas de vidrios rotos y polímeros plásticos. El vidrio reciclado se emplea para preparar material de pavimentación, una mezcla vidrio-betún denominado glassphalt o asfalto cristalino, y productos de construcción como ladrillos, tejas de arcilla, azulejos, hormigón ligero espumado. Los fabricantes de recipientes de vidrio incluyen vidrio triturado junto con materias primas como arena, ceniza y cal para reducir las temperaturas de los hornos de fusión (Cabidol et. al, 2008).

#### **4.1.1.4 Madera**

La madera es sometida a procesos de clasificación, limpieza, trituración y almacenamiento; el producto obtenido es astilla de madera de aproximadamente 5cm de tamaño que es reintroducida de nuevo como materia prima (Cabidol. et. al, 2008).

Los usos de las astillas de madera son los siguientes:

- ◊ La madera recuperada es triturada y convertida en tableros de aglomerado para que vuelva a ser consumible. Los tableros de fibras y los de partículas

son derivados de la madera que surgen como consecuencia de su aprovechamiento integral.

- ◊ La madera también se utiliza como fuente de energía controlada y limpia; en el hogar se puede usar como combustible en estufas de leña.
- ◊ La conversión de la madera en compost, es una mezcla de materia orgánica descompuesta y transformada en una rica enmienda para el suelo. Las virutas de madera y aserrín son buenos materiales para compostar, ya que son ricos en carbono.
- ◊ Construcción de pequeños objetos como cajas o juguetes a partir de muebles viejos o bien restaurando estos últimos.

#### **4.1.1.5 Metales**

Una clasificación de los posibles residuos metálicos que podrían ser reciclados:

- ◊ Aluminio: Latas de refrescos, cerveza, jugos, té.
- ◊ Cobre: Cables de instalaciones eléctricas, tubos, llaves de tuberías.
- ◊ Fierros varios y chatarra: Cazuelas, cacerolas, ganchos, estructuras metálicas, llaves, herramienta, alambres, alfileres, grapas, mallas, cadenas, corcholatas.
- ◊ Latón o lámina: Latas de chiles, salsas, jugos, atún, sardina, suplementos alimenticios, verduras, sopas, galletas.

Los envases de hojalata pertenecen al grupo de metales férricos con lo que por sus propiedades magnéticas se pueden separar del resto de envases mediante un electroimán. Una vez separados, estos envases, que conforman la llamada chatarra férrea, pasan por un proceso de adecuación que les va a permitir llegar en condiciones idóneas a las acerías (Castells, 2000).

El aluminio es también uno de los materiales que se pueden reciclar a un 100 % sin disminuir su calidad. El reciclaje del aluminio tiene tres ventajas importantes (Röben, 2003):

1. Se reduce considerablemente la cantidad de materia prima. Para la producción de 1 tonelada de aluminio se necesitan 4 toneladas de bauxita.
2. Con el reciclaje, se reducen también los gastos ambientales y económicos de transporte, energía, agua etc. vinculados al procesamiento de la bauxita.
3. La energía necesaria para el reciclaje del aluminio es solamente un 5 % de la energía necesaria para producir aluminio de la materia prima (bauxita).

#### **4.1.1.6 Textiles**

Los textiles tienen la capacidad de ser reutilizados, antes de pensar en un reciclaje, por lo que esta clasificación está hecha para evitar su disposición final.

- ◊ Ropa: Pantalones, blusas, chamarras, ropa interior, calcetines.
- ◊ Telas: Recortes de telas, manteles, agujetas, sábanas, edredones, toallas, cortinas, listones, cortinas.
- ◊ Calzado de tela: Tenis y zapatillas de tela.

Entre los residuos textiles aquellos que se encuentren en buen estado se lavaran para ser utilizarlos. Algunos trozos de tela se pueden recuperar para varios fines como relleno de colchones, almohadas, juguetes etc. Además existe la posibilidad de aprovecharles como materia prima para la elaboración de papel de calidad (Röben, 2003).

#### **4.1.2 Residuos orgánicos**

En el año 2012 en México de la cantidad de residuos sólidos urbanos que es enviada a disposición final; el 60.54% es dispuesta en rellenos sanitarios y sitios controlados, el 15.93% en tiraderos a cielo abierto y el 2.07% restante se desconoce dónde se deposita. (INECC, SEMARNAT, 2013).

Lo ideal sería que todos los residuos orgánicos tuvieran como disposición final los rellenos sanitarios ya que son instalaciones especialmente diseñadas y operadas como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros como para minimizar efectos adversos para el ambiente y para la salud pública. Además, se prevé la aplicación de un sistema que permitan controlar los líquidos y los gases producidos por el efecto de la descomposición del material orgánico (OPS, 2003).

Cuando la generación de basura se origina por un desastre natural dependiendo de la magnitud del evento, la cantidad de residuos generados es muy amplia por lo que reducir este número de residuos orgánicos sirve entonces para moderar los costos del tratamiento de la basura, además de aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios.

Por ello se propone que una parte sea enviada a rellenos sanitarios y otra a plantas de composta, esta cantidad dependerá de la capacidad que tenga esta última. Por mencionar algunas plantas que se encuentran en funcionamiento en México son: de Bordo Poniente, Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Jiutepec, Querétaro y Jalapa, etc. (INE, 2007).

A continuación se dará una breve reseña sobre las técnicas de compostaje y vermicultura que son las que utilizadas para la degradación de los compuestos orgánicos.

#### **4.1.2.1 Compostaje y Vermicultura**

En la naturaleza se produce en la parte superficial del suelo una capa de tierra rica en nutrientes llamada humus. El humus se forma debido a la descomposición de los restos vegetales y animales que realizan diversos seres vivos, entre ellos microorganismos. Este proceso se ve favorecido por las altas temperaturas y la abundante humedad. Las plantas no pueden tomar los minerales

del suelo directamente. Para ello necesitan que los organismos transformen las sustancias que no son capaces de absorber convirtiéndolas en asimilables. En una tierra con materiales en descomposición, abundan dichos organismos y por tanto mejoran la fertilidad de las plantas (Marqués y Urquiaga, 2005).

El compostaje pretende imitar el proceso natural de formación de humus, obteniéndose un producto llamado compost. El compost es el resultado de la descomposición aerobia (en presencia de oxígeno) de la materia orgánica en las condiciones adecuadas de humedad, temperatura, oxigenación, pH, cantidad de organismos, etc. Los residuos orgánicos que se producen en los hogares son los que van a descomponerse en sustancias orgánicas simples formando el compost. El compost no sólo enriquece el suelo mediante sustancias orgánicas asimilables, sino que mejora la estructura del mismo, ayudándole a retener la humedad y obteniendo una tierra más esponjosa (Marqués y Urquiaga, 2005).

Otra forma de manejar a los residuos orgánicos es con lombrices ya que estos invertebrados son unos formidables devoradores de materias orgánicas en descomposición.

Normalmente la lombriz roja es conocida en el ámbito comercial con el sobrenombre de “californiana” porque fue en este Estado de los E.E.U.U. donde se desarrollaron, a partir de los años 50, los primeros criaderos intensivos de lombrices, actualmente los tipos más utilizados en la vermicultura son tres (Pedrero, et al., s.f.):

- ◆ Eisenia Foetida
- ◆ Lombricus rubellus
- ◆ Rojo Híbrido

Las lombrices de tierra pertenecen al Phylum, de los anélidos, integrado por animales cuyo cuerpo cilíndrico se encuentra metamerizado con organización y anatomía que se repite regularmente a todo lo largo de su cuerpo; su hábito alimenticio es suprófago basándose principalmente en restos orgánicos en descomposición, por lo que ayudan a la reincorporación de este material a los suelos (Pedrero, et al., s.f.).

La vermicultura aplica normas y técnicas de producción utilizando las lombrices rojas californianas para reciclar residuos orgánicos biodegradables y, como fruto de su ingestión, los anélidos efectúan sus deyecciones convertidas en fertilizante orgánico. Con su actividad participan en la fertilización, aireación, formación del suelo y es posible obtener materia orgánica muy estable en un tiempo relativamente corto para su uso inmediato en la agricultura. Se trata del humus de lombriz, sustancia inodora que en comparación con la urea, es 5 veces superior en nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (Díaz, 2002).

El humus es idóneo para el cultivo de todo tipo de plantas, de ahí que puede ser utilizada, con excelentes resultados, en la horticultura, fruticultura, floricultura, cultivos de granos básicos, etc. (Pedrero, et al., s.f.).

En transplante y en almácigo; el abono de lombriz ayuda a una mejor fijación de las raíces, así como a un mejor desarrollo de las plantas (Pedrero, et al., s.f.).

Cuando las plantas ya se encuentran en macetas o en viveros y el diámetro de la maceta o cepellón oscila entre 15 y 20 cm; flores tales como begonia, dalias, petunias, salvia, entre otras, se ha visto que al utilizar este abono desarrollan cuerpos más frondosos y verdes. Dosis 1 kilogramo de humus por metro cuadrado, cuando las condiciones del terreno son muy deficientes o malas (Pedrero, et al., s.f.).

## **4.2 Residuos de Manejo Especial**

### **4.2.1 Vehículos**

En México aún no se cuenta con una reglamentación en cuanto al manejo que deben recibir los vehículos al final de su vida útil (SEMARNAT, 2012), por lo que a continuación se propone una forma en la que deben ser tratados este tipo de residuos.

En la figura 4.1 se muestra los residuos generados de un vehículo después de su vida útil.

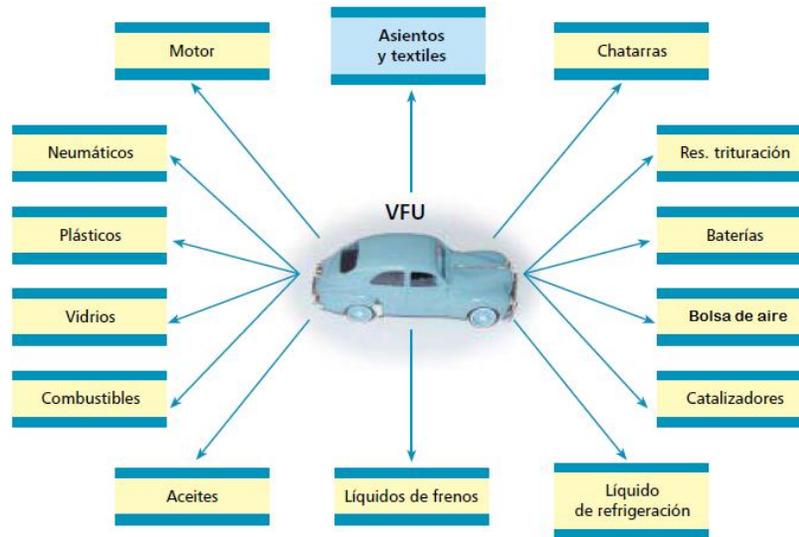


Figura 4.1 Residuos generados por vehículos después de su vida útil (SPGA, 2003).

Un esquema general de las etapas por las que debe pasar un vehículo al final de su vida se muestra en la figura 4.2.

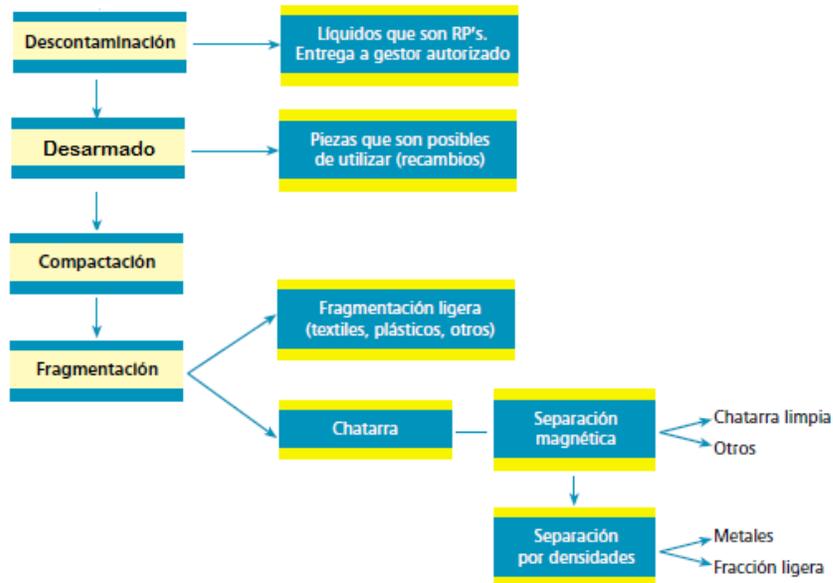


Figura 4.2 Relación de los procesos de gestión de los VFU. (SPGA, 2003).

1.- Descontaminación: en esta fase se extraen todos los componentes peligrosos del vehículo tales como (ARC, 2009):

- |                                       |                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| ◆ Combustibles                        | ◆ Batería                       |
| ◆ Aceites hidráulicos                 | ◆ Catalizador                   |
| ◆ Aceites de motor                    | ◆ Filtros de aceite sin prensar |
| ◆ Líquido refrigerante de motor       | ◆ Filtros de combustible        |
| ◆ Líquido de frenos                   | ◆ Componentes de mercurio       |
| ◆ Refrigerante del aire acondicionado | ◆ Bolsas de aire                |
|                                       | ◆ Componentes electrónicos      |

Este tipo de residuos serán tratados como residuos peligrosos, su tratamiento y disposición final se verá más adelante.

2.- Desarmado: en este proceso se extraerán del vehículo los residuos no peligrosos que aún contiene y todas aquellas piezas que son reutilizables y pueden ser reintroducidas en el mercado (ARC, 2009).

a) Piezas que se pueden reciclar:

- |                       |            |
|-----------------------|------------|
| ◆ Neumáticos          | ◆ Vidrio   |
| ◆ Chatarra férrica    | ◆ Plástico |
| ◆ Chatarra no férrica |            |

b) Piezas que se pueden reutilizar:

- |                                    |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| ◆ Aletas elevadoras eléctricas     | ◆ Hidráulica                   |
| ◆ Alternadores electroventiladores | ◆ Llantas                      |
| ◆ Amortiguadores ópticas           | ◆ Brazos de suspensión espejos |
| ◆ Baterías tubos de escape         | ◆ Cambios motores              |
| ◆ Bobinas cinturonas               | ◆ Carburadores pilotos         |
| ◆ Bombas inyectoras                | intermitentes                  |
| ◆ Mandos de luces/intermitentes    | ◆ Compresores de aire          |
| ◆ Bombas de presión                | acondicionado                  |

◇ Neumáticos

3.- Compactación: es el proceso en el que la chatarra obtenida tras la descontaminación y el desarmado del vehículo se prensa y se obtiene un paquete de chatarra, que luego se entrega a una fragmentadora (ARC, 2009).

4.- Fragmentación: el paquete obtenido de la compactación es triturado y se separa de la siguiente manera:

- ◇ Hierro: este se venderá a las acerías.
- ◇ Fracción ligera: conteniendo plásticos, fibras, textiles, goma etc. Que ya no pueden ser reciclados se llevaran a rellenos sanitarios.
- ◇ La fracción pesada: que contiene metales no férreos podrán ser fundidos para ser utilizados como materia prima en algunos procesos de metales no férreos.

#### **4.2.1.1 Neumáticos**

Las formas de reciclar los neumáticos son las siguientes (Cabidol et al., 2008):

- ◇ Recauchado: es un reciclado temporal del neumático, que consiste en la sustitución de la banda de rodadura sobre la cascara original. Con ello se alarga la vida del neumático.
- ◇ Trituración mecánica: se obtiene el caucho con la granulometría que se desee y la parte metálica se separa.
- ◇ Incineración energética: es la combustión de los materiales orgánicos de los neumáticos en hornos especiales y aunque el calor producido se puede utilizar como fuente de energía es un proceso que produce residuos contaminantes.

Los materiales que se obtienen tras el triturado de los neumáticos pueden tener las siguientes aplicaciones:

- ◇ Componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras.

- ◆ Para el suelo de campos deportivos
- ◆ Material aislante en vehículos, cables, etc.
- ◆ Material aislante del ruido y la vibración
- ◆ Material para fabricar tejados.
- ◆ Fabricación de moquetas y losetas para suelos
- ◆ Goma para suela de zapatos.

#### 4.2.2 Residuos electrodomésticos y electrónicos (REE)

Para un manejo adecuado de los residuos electrodomésticos y electrónicos estos se clasifican en diferentes categorías las cuales se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Categorías de los residuos electrodomésticos y electrónicos  
(MAVDT, 2009)

| <b>Categoría</b>                               | <b>Ejemplos</b>  |
|--|--|
| Grandes electrodomésticos                      | Refrigeradores, congeladores, lavadoras, lavaplatos, hornos, aparatos de calefacción y de aire acondicionado, etc.   |
| Pequeños electrodomésticos                     | Aspiradoras, planchas, tostadoras, máquinas de afeitar, secadores de pelo, etc.  |
| Equipos de informática y telecomunicaciones    | Procesadores de datos centralizados (minicomputadoras, impresoras), y elementos de computación personal (computadores personales, computadores portátiles, fotocopiadoras, teléfonos, etc.). |
| Aparatos electrónicos de consumo               | Aparatos de radio, televisores, cámaras de vídeo, instrumentos musicales, etc.   |
| Aparatos de alumbrado                          | Luminarias, tubos fluorescentes, lámparas de descarga de alta intensidad, etc.   |
| Herramientas eléctricas y electrónicas         | Taladros, sierras, máquinas de coser, etc.   |
| Juguetes, equipos deportivos y de tiempo libre | Trenes y carros eléctricos, consolas de vídeo y juegos de vídeo.   |
| Aparatos médicos                               | Aparatos de radioterapia, cardiología, diálisis, etc.  |
| Instrumentos de medida y control               | Termostatos, detectores de humo o reguladores de calor.  |
| Máquinas expendedoras                          | Máquinas expendedoras de bebidas calientes, botellas, latas o productos sólidos.   |

Otra clasificación usada para los REE comprende su división en tres líneas, denominadas mediante colores, de la siguiente forma (MAVDT, 2009):

- ◊ Línea blanca: Comprende todo tipo de electrodomésticos grandes y pequeños, como por ejemplos neveras, lavadoras, lavavajillas, hornos y cocinas.
- ◊ Línea marrón: Comprende todos los electrónicos de consumo como televisores, equipos de sonido y de vídeo.
- ◊ Línea gris: Comprende los equipos informáticos (computadores, teclados, ratones, etc.) y de telecomunicaciones (teléfonos móviles, terminales de mano o portátiles, etc.).

Sin embargo, los tipos de clasificación anteriormente mencionados, tienen un marcado enfoque desde la perspectiva de su comercialización. Desde la perspectiva de la gestión y el manejo de los respectivos residuos, se aplicara la clasificación que se presenta en la Tabla 4.3 (MAVDT, 2009).

Tabla 4.3 Clasificación de RAEE desde una perspectiva de su gestión y manejo (MAVDT, 2009).

| <b>Categoría</b>                          | <b>Ejemplos</b>  | <b>Justificación</b>  |
|---|--|---|
| Aparatos destinados a la refrigeración    | Neveras, congeladores, otros refrigerantes.  | Requieren un transporte seguro (sin roturas) y el consecuente tratamiento individual.   |
| Electrodomésticos grandes y medianos      | Todos los demás electrodomésticos grandes y medianos   | Contienen en gran parte diferentes metales y plásticos que pueden ser reciclados.   |
| Aparatos de iluminación                   | Tubos fluorescentes, bombillas   | Requieren procesos especiales de reciclaje, valorización o disposición final.   |
| Aparatos con monitores y pantallas        | Televisores, monitores TRC, monitores LCD  | Los tubos de rayos catódicos requieren un transporte seguro (sin roturas) y el consecuente tratamiento individual.  |
| Otros aparatos eléctricos y electrónicos. | Equipos de informática, oficina, electrónicos de consumo, electrónicos de la línea marrón (excepto los mencionados en categorías anteriores) | Están compuestos en principio de los mismos materiales y componentes y por consiguiente requieren un tratamiento de reciclaje o valorización muy semejante. |

El Instituto Nacional de Ecología realizó en 2006 un primer diagnóstico nacional de la generación de residuos electrónicos, el cual se ha ido actualizando a través de estudios regionales. El primero de estos se realizó en 2007 en los estados de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas, o región noreste del país; para 2009 se seleccionó la zona de la frontera norte, incluyendo las ciudades fronterizas de Tijuana y Ciudad Juárez; y finalmente en 2010 la Zona Metropolitana del Valle de México fue el objeto de estudio. Para fines prácticos, se consideraron computadoras, televisores, aparatos de sonido, teléfonos fijos y celulares, por ser los productos de mayor uso en hogares y empresas. En su conjunto se estimó que para 2010 se generaron poco más de 307 224 toneladas. Del total, se recicla de manera formal aproximadamente 10%, mientras que el 40% permanece almacenado en casas habitación o bodegas y cerca de 50% llega a rellenos sanitarios o basureros no controlados. Existen prácticas de quema a cielo abierto para la recuperación de metales o para la reducción de volumen, y aunada a la falta de sistemas de control de lixiviados, permiten la liberación de metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes al aire, agua y suelo (INE, 2011).

Los aparatos eléctricos y electrónicos están compuestos de cientos de materiales diferentes, tanto valiosos como potencialmente peligrosos. Oro, plata, paladio y cobre son algunos de los materiales valiosos que se pueden recuperar de los REE; plomo, cadmio, mercurio y arsénico son algunos de los componentes peligrosos que pueden estar presentes en los equipos eléctricos y electrónicos en desuso, lo cual va a depender del tipo de tecnología, país de origen y del fabricante, estos compuestos se pueden liberar al medio ambiente durante el desensamble de los mismos. Uno de los ejemplos más relevantes en cuanto al contenido de compuestos peligrosos es el plomo el cual estaba presente en la soldadura de muchos equipos, hoy en día en el mercado se ofrecen equipos libres de soldadura de plomo. Estas características tan particulares de reunir, por ejemplo en un volumen tan pequeño como en el de un teléfono móvil, materiales de alto valor junto con elementos potencialmente peligrosos, son una de las causas de los impactos negativos que se generan al medio ambiente cuando se disponen en rellenos sanitarios, se depositan en los suelos o cuerpos de agua o se realiza el

desensamble inadecuado de estos residuos, en combinación con un fuerte desconocimiento de lo que se debe manejar de manera adecuada (MAVDT, 2009).

El material de una computadora de escritorio está dominado por el acero de baja aleación (65%) y los plásticos (10%). Los metales preciosos como Au (27ppm), Ag (170ppm) y Pd (12ppm) se encuentran solamente en concentraciones muy bajas. Analizando la importancia económica, los metales preciosos hacen la mayor contribución al total de ingresos (31% Au y Pd 7%). Además, en particular el cobre (12%) y los diversos plásticos (15%) muestran un porcentaje relativamente alto. Por otra parte, hay una fuerte disminución de la importancia de los materiales ferrosos (15%) en comparación con el material que representan (MAVDT, 2009).

Por lo anterior mencionado se propone reutilizar y reciclar la mayor parte de los electrodomésticos y equipo electrónico siempre que sea posible. Cada equipo tendrá que someterse a un determinado proceso que se presenta a continuación según sea el caso:

1. Extensión de la vida útil: todo equipo que se encuentre en buen estado podrá seguir siendo utilizado.
2. Reacondicionamiento: el equipo se modificará o restaurará de manera parcial para que vuelva a ser útil.

Cuando el equipo no entre en ninguna de los anteriores procesos entonces será descontaminado por personal que tenga los conocimientos adecuados para dicha actividad, es decir que se extraerá todo tipo de piezas que contengan algún material que sea peligroso y su disposición final será manejado como un residuo peligroso, en la tabla 4.4 se muestra una lista de las posibles sustancias peligrosas que se pueden encontrar en un REE.

Tabla 4.4 Lista de posibles sustancias peligrosas presentes en los REE  
(MAVDT, 2009).

| Sustancia   | Presencia en REE   |
|---|--|
| Compuestos halogenados  |  |
| PCB (Policloruros de bifenilo)<br>Retardantes de llama para plásticos:<br>TBBA (Tetrabromo-bifenol-A)<br>PBB (Polibromobifenilos)<br>PBDE (Polibromodifenilo éteres)<br>Clorofluorocarbonados (CFC) | Condensadores, transformadores<br>(Componentes termoplásticos, cables, tarjetas madre, circuitos, revestimientos plásticos, etc.).<br>TBBA actualmente es el retardante de llama más utilizado en placas de circuitos y carcasas<br>Unidades de refrigeración, espumas aislantes   |
| Metales pesados y otros metales   |  |
| Arsénico<br><br>Bario<br><br>Berilio<br>Cadmio<br><br>Cromo VI<br>Plomo<br><br>Mercurio<br><br>Níquel<br><br>Elementos raros (Ytrio, Europio)<br>Selenio<br>Sulfuro de zinc                         | Pequeñas cantidades entre los diodos emisores de luz, en los procesadores de las pantallas de cristal líquido LCD.<br>"Getters" en los tubos de rayos catódicos (TRC) en la cámara de ventilación de las pantallas TRC y lámparas fluorescentes<br>Cajas de suministro eléctrico (fuentes de poder)<br>Baterías recargables de Ni-Cd, capa fluorescente (pantallas TRC), fotocopiadoras, contactos e interruptores y en los tubos catódicos antiguos<br>Discos duros y de almacenamiento de datos<br>Pantallas TRC, tarjetas de circuito, cableado y soldaduras.<br>Lámparas fluorescentes en LCDs, en algunos interruptores con mercurio (sensores). Los sistemas de iluminación de las pantallas planas, las cafeteras electrónicas con desconexión automática o los despertadores contienen relés de mercurio.<br>Baterías recargables de Ni-Cd y Ni-Hg y pistola de electrones en los monitores TRC<br>Capa fluorescente (Monitores TRC)<br><br>Fotocopiadoras antiguas<br>Interior de monitores TRC, mezclado con metales raros |
| Otros   |  |
| Sustancias radioactivas (Americio)  | Equipos médicos y detectores de fuego, detectores de humo, entre otros   |

Si bien las sustancias peligrosas no representan un riesgo durante la fase de utilización de los equipos, pueden ser perjudiciales cuando entran en desuso, específicamente cuando son sometidos a procesos de desensamble en condiciones no adecuadas en las cuales no se tenga en cuenta su potencial peligro. El plomo en tubos de rayos catódicos (TRC), el cadmio, los retardantes de llama bromados en plásticos y el mercurio en la luminaria de las pantallas planas son sólo algunos de los ejemplos de sustancias peligrosas que pueden poner en peligro la salud de las personas y el medio ambiente si no se manejan de manera adecuada (MAVDT, 2009).

La siguiente etapa será la recuperación de partes, el reciclaje directo de piezas de equipo eléctrico y electrónico que aún se encuentran en buen estado para ser usadas en equipo nuevo o modificado; además del plástico, vidrio y metales que pudieran ser reciclados.

La última etapa será la eliminación del material que no pudo ser aprovechado y éste se llevará a rellenos sanitarios.

#### **4.2.3 Residuos de construcción y demolición (RCD)**

Los residuos de construcción y demolición regularmente son volúmenes grandes por lo que no se recomienda el uso de los rellenos sanitarios en funcionamiento para la disposición de escombros debido a que las cantidades generadas fácilmente pueden minimizar el tiempo de vida útil de estos (OPS, 2003).

Este tipo de residuos deberán de ser aprovechados, la composición es variada, es conveniente separar y clasificar los RCD en el lugar donde se producen para una mejor gestión del reciclado e incluso para poder utilizarlos en rellenos, nivelación y asentamiento de terrenos (Cabidol et al., 2008).

La composición general de los escombros es la siguiente (Cabidol et al., 2008):

- |  |             |
|--|-------------|
| ◇ Ladrillos, azulejos y otros<br>cerámicos | ◇ Madera    |
| ◇ Hormigón                                 | ◇ Plásticos |
| ◇ Piedra                                   | ◇ Vidrio    |
| ◇ Asfalto                                  | ◇ Papel     |
| ◇ Arena, grava y otros<br>áridos.          | ◇ Yeso      |

Los RCD se pueden clasificar de la manera siguiente (Cabidol et al., 2008):

1. Peligrosos: amianto, productos químicos, material radiactivo
2. Inertes:
  - ◇ Pétreos: ladrillo, materiales cerámicos, mampostería, hormigón
  - ◇ No pétreos:
    - a) Metales: férricos y no férricos (aluminio, cobre, plomo, etc.)
    - b) Materias ligeras: papel, madera, moquetas, etc.
    - c) Otros: yeso, vidrio, etc.

El reciclado de escombros supone beneficios como: reducción del impacto ambiental originado en las canteras para la obtención de áridos, reducción de los depósitos de escombros y el reciclado en sitio (Cabidol et al., 2008).

Es por ello que serán reutilizados todos los materiales o subproductos en buen estado que se pueden reusar, por ejemplo: ventanas, puertas, sanitarios, piezas de acero estructural, madera en buen estado, material cerámico (tejas, ladrillos), etc. Los materiales que se reciclarán como metales, plásticos, y vidrio.

En México existe una planta que se dedica al tratamiento de los RCD su nombre es CONCRETOS RECICLADOS dedicada al reciclaje de este tipo de residuos desde el año 2004, los materiales que se utilizan son (Concretos reciclados, 2013):

- |             |                                |
|-------------|--------------------------------|
| ◆ Adcretos  | ◆ Concreto Armado              |
| ◆ Arcillas  | ◆ Concreto Simple              |
| ◆ Blocks    | ◆ Mamposterías Ladrillos       |
| ◆ Tabiques  | ◆ Fresado de Carpeta Asfáltica |
| ◆ Cerámicos |                                |

La empresa encargada de la construcción de la línea 12 del metro, transportó el escombros y producto de excavación generado en la obra; Concretos Reciclados recibió y recicló el material que posteriormente fue utilizado para la construcción de plataformas, fabricación de pilotes, relleno en zapatas, sub-bases y bases; la empresa logró reducir considerablemente los costos de transportación, aprovechando traer el escombros y cargando material reciclado en el mismo viaje (Concretos reciclados, 2013).

En general las plantas recicladoras constan fundamentalmente de trituradores en los que se rompen los bloques de árido en trozos pequeños, cribas para clasificar los áridos (en gruesos y finos) y electroimanes para separar el acero. Los tipos de escombros que se tratan son material cerámico, asfalto, hormigón y mezclas de tierra y piedras naturales (Cabidol et al., 2008).

El amianto es un material con propiedades aislante térmico y acústico, y resistente al fuego y a productos químicos, actualmente está prohibido, porque las microfibras que suelta, al ser inhaladas, producen graves enfermedades a largo plazo. No es peligroso mientras no se manipule, pero cuando se llevan a cabo derribos o tareas de mantenimiento hay que tomar precauciones debido a su toxicidad. Los trabajos deben de realizarse a mano por operadores especializados, que lleven traje aislante y mascarilla, hay que aislar la zona y trabajar en depresión para evitar que las fibras salgan al exterior (Cabidol et al., 2008).

Para la eliminación de los restos de demolición no aprovechables será preferible utilizar escombreras que se localizaran principalmente en áreas cuyo paisaje se encuentra degradado, tales como minas y canteras abandonadas, se debe considerar siempre que por los volúmenes que se van a disponer se requerirán

áreas extensas, de preferencia en depresiones naturales fuera de cursos de agua o quebradas (OPS, 2003).

#### **4.2.4 Residuos generados en centros de atención para la salud**

Los residuos generados para la asistencia médica son los siguientes (Martínez, 2005):

- ◊ Residuos biológico infecciosos: se generan en las diferentes etapas de la atención de salud (diagnóstico, tratamiento, inmunización, investigación, etc.) y contienen patógenos en cantidad o concentración suficiente para contaminar a la persona expuesta a ellos. Estos serán tratados como se indica en la parte de residuos peligrosos.
- ◊ Residuos especiales: se generan principalmente en los servicios auxiliares de diagnóstico y tratamiento, y usualmente no han entrado en contacto con los pacientes ni con los agentes infecciosos. Constituyen un peligro para la salud estos pueden ser, entre otros: residuos farmacéuticos, residuos químicos y peligrosos; su manejo se indica en la parte de residuos peligrosos.
- ◊ Residuos comunes: son aquellos generados por las actividades administrativas, auxiliares y generales, no representan peligro para la salud y sus características son similares a las de los residuos domésticos comunes. Se incluye en esta categoría a los papeles, cartones, cajas, plásticos, restos de la preparación de alimentos y desechos de la limpieza de patios y jardines, entre otros.

El tratamiento y disposición final de este tipo de residuos entran en las categorías siguientes:

- ◊ Residuos inorgánicos de los cuales se pueden reciclar o reutilizar: el cartón, el papel, el plástico, entre otros; para más detalle revisar la parte 4.1.1 de este trabajo.
- ◊ Residuos orgánicos: para este tipo de residuos consultar la sección 4.1.2.

En general el material que no pueda ser aprovechable se deberá desechar en un relleno sanitario.

### **4.3 Residuos peligrosos**

Los residuos peligrosos generados en un desastre natural deberán ser manejados siempre por personal calificado, actualmente se cuenta con diversas empresas autorizadas que se encargan tanto del transporte como de la disposición final de estos; SEMARNAT cuenta con un listado de dichas empresas que puede consultarse en la siguiente dirección electrónica:

<http://www.semarnat.gob.mx/transparencia/transparencia-focalizada/residuos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos>

Actualmente no existe una tecnología para estabilizar completamente todo tipo de residuo peligroso. Se debe considerar la naturaleza física y química de la sustancia a procesar, así como los productos que se pueden generar como resultado del tratamiento; con esto se pretende lograr la modificación de las propiedades físicas y químicas del residuo, disminuir el volumen, inmovilizar los componentes tóxicos o disminuir su toxicidad (Hernández et al., 1995).

La selección de algún tratamiento involucra la naturaleza del residuo, las características que se desean de los productos de tratamiento, la adecuación de las alternativas, consideraciones económicas, financieras y ambientales, requerimientos de energía, operación y mantenimiento, los cuales deben evaluarse en forma global y particular. (Hernández et al., 1995).

#### **4.3.1 Tratamientos físicos**

Se aplican a residuos líquidos, sólidos y gaseosos. Los residuos líquidos son los más factibles de ser tratados por estos métodos, ya que su función primordial es la de separación y reducción de volumen. Sin embargo hay métodos que

disminuyen la toxicidad, agilizan el tratamiento o se consideran adecuados para disponer las sustancias de una manera definitiva y segura (Hernández et al., 1995).

Tabla. 4.5 Tratamientos físicos de residuos peligrosos (OCADE, 2007)

| <b>Tipo de tratamiento</b> | <b>Descripción</b>  |
|----------------------------|---|
| Separación manual          | Elimina residuos seleccionados mediante inspección visual |
| Cribado y tamizado         | Elimina el material grueso                                |
| Sedimentación              | Asienta los sólidos para separarlos del líquido.          |
| Decantación                | Elimina el contenido de agua                              |
| Centrifugación             | Elimina el contenido de agua                              |
| Autoclave                  | Esteriliza los residuos mediante calor y presión          |
| Filtración                 | Separa mezclas heterogéneas de sólidos y líquidos.        |
| Absorción                  | Adhiere contaminantes sobre superficies controladas.      |
| Lavado del suelo           | Extrae contaminantes solubles                             |
| Secado del lodo            | Elimina líquidos retenidos en lodos.                      |

Estos procesos se clasifican en cuatro grupos de acuerdo a sus bases físicas: separación por gravedad, cambio de fase, disolución y características de tamaño/adsorción/fuerza iónica (Hernández et al., 1995). La tabla 4.5 muestra algunos tratamientos físicos que se les realiza a los residuos peligrosos.

#### **4.3.2 Tratamientos químicos**

Involucran el uso de reacciones químicas para transformar las corrientes de residuos peligrosos en sustancias menos peligrosas o inertes, así como tratamientos físicos para facilitar su separación. (Hernández et al., 1995).

Estos tratamientos tienen mejor eficiencia de estabilización de los residuos peligrosos con bajo contenido de materia orgánica. Con ellos se puede presentar la reducción de volumen, la reducción de toxicidad y la separación de contaminantes

(Hernández et al., 1995). La tabla 4.6 muestra algunos tratamientos químicos para residuos peligrosos.

Tabla 4.6 Tratamientos químicos para residuos peligrosos. (OCADE, 2007)

| <b>Tipo de tratamiento</b>    | <b>Descripción</b>   |
|-------------------------------|--|
| Reducción y oxidación química | Utiliza agentes oxidantes y reductores para transformar los componentes. |
| Neutralización                | Neutraliza el pH   |
| Precipitación                 | Separa los componentes peligrosos de la solución.                        |
| Decloración                   | Elimina el cloro de los materiales orgánicos.                            |
| Hidrólisis                    | Separa los componentes añadiendo agua.                                   |
| Electrólisis                  | Separa los compuestos químicos mediante descargas eléctricas.            |

### 4.3.3 Tratamientos biológicos

Los procesos biológicos se utilizan para tratar los residuos que contienen una carga orgánica alta, pudiendo ser materiales orgánicos con o sin metales pesados y materiales de origen biológico, siempre y cuando no sean tóxicos para los microorganismos responsables de la degradación (Hernández et al., 1995).

Dentro de estas tecnologías se tienen: lodos activados, lagunas de aireación, digestión anaerobia, filtros anaerobios, filtros de escurrimiento, lagunas de estabilización, biodiscos rotatorios, siembra biológica, composta y métodos enzimáticos (Hernández et al., 1995). En la tabla 4.7 se presentan algunas técnicas para tratamientos biológicos de residuos peligrosos.

Tabla 4.7 Tratamientos biológicos de residuos peligrosos (OCADE, 2007).

| <b>Tipo de tratamiento</b>           | <b>Descripción</b>  |
|--------------------------------------|---|
| Lodos activados                      | Biodegradación de especies orgánicas con lodo bioactivado en fase acuosa.   |
| Bilógico giratorio                   | Elimina las especies orgánicas acuosas en contacto con el filtro bacterial rico.  |
| Lagunas aireadas y de estabilización | Se eliminan los residuos orgánicos en cavidades profundas con oxígeno.  |
| Digestión anaerobia                  | Degrada los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno.  |
| Utilización del suelo                | Biodegrada la materia orgánica mediante la acción de los microorganismos del suelo.   |
| Biorremediación                      | Proceso utilizado para detoxificar contaminantes en ambientes como mares, estuarios, lagos, ríos y suelos usando de forma estratégica microorganismos o sus enzimas.                                  |
| Fitorremediación                     | Aprovechamiento de la capacidad de ciertas especies vegetales para extraer del suelo a través de sus raíces, contaminantes inorgánicos tales como metales pesados y acumularlos en su tejido vegetal. |

#### 4.3.4 Tratamientos térmicos

Es uno de los medios más efectivos para reducir el peligro potencial de muchos residuos, pudiendo convertirlos a una forma útil de energía. Consiste básicamente en una oxidación controlada a alta temperatura de los compuestos orgánicos para producir CO<sub>2</sub> y agua. También se producen sustancias inorgánicas como ácidos, sales y compuestos metálicos que se derivan del mismo residuo. (Hernández et al., 1995).

La función principal de estas tecnologías de tratamiento es la disminución del volumen y la reducción de la toxicidad, aumentando las eficiencias de combustión cuando se emplean para sustancias peligrosas de bajo contenido de humedad

(Hernández et al., 1995). La tabla 4.8 muestra algunos tratamientos térmicos para residuos peligrosos.

Tabla 4.8 Tratamientos térmicos de residuos peligrosos (OCADE, 2007).

| <b>Tipo de tratamiento</b> | <b>Descripción</b>   |
|----------------------------|--|
| Incineración               | Combustión completa utilizando el oxígeno excedente.   |
| Co-procesamiento           | Utilización de la misma unidad de producción de Clinker para la combustión de residuos.  |
| Pirólisis                  | Descomposición térmica en ausencia total de oxígeno  |
| Gasificación               | Combustión incompleta en ausencia parcial de oxígeno.  |
| Arco de plasma             | Volatilización y posterior combustión del residuo por contacto con un gas energizado. La tecnología es aplicable a residuos orgánicos líquidos finamente divididos y puede ser utilizada para residuos con alto contenido de cloro, insecticidas, PCB, dioxinas y furanos. |
| Oxidación en sal fundida   | Oxidación sin llama, desarrollada a temperaturas entre 1500°C y 2000°C, donde las sustancias orgánicas son oxidadas por el oxígeno en una cámara de reacción donde se encuentra una sal alcalina fundida.  |

#### **4.3.5 Tecnologías de estabilización/solidificación**

Son tecnologías que emplean aditivos para reducir la movilidad de los contaminantes, haciendo al residuo aceptable a los requerimientos de disposición en el suelo. Los residuos que se estabilizan mediante este método son líquidos y sólidos. (Hernández et al., 1995).

Las principales tecnologías con que se cuenta son: encapsulamiento, solidificación en cemento, solidificación en cal, microencapsulamiento termoplástico, uso de polímeros orgánicos, autoaglutinación, vitrificación, sorbentes e inyección profunda. (Hernández et al., 1995).

Estas tecnologías están diseñadas para la obtención mediante la adición de aglomerados y aditivos adecuados, de un producto final, que tras un tiempo de fraguado y curado se convierte en un residuo de disposición admisible en vertederos controlados (Rodríguez et al., 1999).

La terminología usada para definir este tipo de procesos que tratan residuos peligrosos varía dependiendo de la fuente de la que procede. De una forma general, se pueden definir los procesos de solidificación/estabilización como procesos de tratamiento diseñados para mejorar cualquier característica física y de manejo de los residuos, disminuir el área superficial a través de la cual los contaminantes pueden transferirse o lixivarse, limitar la solubilidad o destoxificar los constituyentes peligrosos (Rodríguez et al, 1999).

El objetivo general de esta tecnología es compactar el residuo e impedir que se transfiera o pasen al medio ambiente los potenciales contaminantes del residuo, una vez vertido.

A diferencia de otros métodos de tratamiento de residuos la S/E da como resultado un incremento de volumen significativo debido a la adición de aglomerantes y reactivos. Pese a esta desventaja, hay situaciones donde estas tecnologías se hacen necesarias, como en los metales, que suponen constituyentes peligrosos que no pueden ser destruidos o alterados por otros métodos.

#### **4.3.6 Confinamiento controlado**

Por lo general la última fase del tratamiento de los residuos peligrosos es el confinamiento controlado, es decir una obra de ingeniería para la disposición final de residuos peligrosos que garantice su aislamiento definitivo (Rivero et al., 1997).

El confinamiento controlado es uno de los sistemas para la disposición final de los residuos peligrosos y debe reunir condiciones de máxima seguridad, con el fin garantizar la protección de la población, las actividades ecológicas y sociales, en general el equilibrio ecológico (Rivero et al., 1997).

El almacenamiento controlado de los residuos peligrosos en depósitos de seguridad supone una vía de gestión adecuada cuando el estado actual de la técnica no permite una eliminación completa de estos o bien implica unos costos excesivos. Debido al potencial impacto de los depósitos de seguridad sobre el medio, el objetivo fundamental de estas instalaciones se centra en procurar la estabilidad más absoluta del residuo en su lugar de emplazamiento, durante periodos de entre treinta y cincuenta años de vida operativa, de forma que no pueda afectar al medio exterior, debiendo estar dotado constructivamente de mecanismos de recolección y sistema de tratamiento de aguas contaminadas, lixiviados y gases (Rodríguez et al., 1999).

Dentro de la gestión de residuos peligrosos, las tecnologías de solidificación/estabilización (S/E) están basadas en un conjunto de operaciones que, mediante la utilización de aglomerantes y aditivos, reducen la movilidad y toxicidad de los contaminantes contenidos en los residuos, generando un producto final que puede ser utilizado o cuya deposición es admisible en depósitos de seguridad (Rodríguez et al., 1999).

#### **4.3.7 Incineración**

La incineración constituye el sistema de gestión más utilizado en el campo de los residuos peligrosos, engloba un conjunto de técnicas que como objetivo común persiguen la eliminación del carácter peligroso del residuo tratado mediante el empleo de temperaturas suficientemente altas (Rodríguez et al., 1999).

Con este objetivo común se presentan otros procesos que difieren sustancialmente de la incineración, cuyo empleo se orienta hacia la resolución de problemas con características diferentes o más específicas, estos son la vitrificación y la desorción térmica (Rodríguez et al., 1999).

La primera de estas técnicas se utiliza fundamentalmente como método de inmovilización de residuos, su empleo muy limitado por el momento, se orienta hacia

el tratamiento de residuos integrados por constituyentes inorgánicos de elevada peligrosidad, aunque a las altas temperaturas de trabajo utilizadas, la materia orgánica presente se descompone y destruye vía pirolisis y posterior combustión de los gases resultantes (Rodríguez et al., 1999).

En cuanto a la desorción térmica su acción va dirigida hacia la eliminación de los constituyentes volátiles y semivolátiles del residuo tratado, vía evaporación por arrastre mediante aire caliente o vapor de agua a temperaturas muy inferiores a las usuales en los sistemas de incineración. La aplicación de esta técnica no produce, una destrucción de los contaminantes objeto de la misma, sino su transferencia de la fase gaseosa, que consecuentemente, ha de ser tratada antes de su emisión a la atmosfera. Su empleo se ha extendido de forma creciente durante la última década como método de limpieza de suelos contaminados por compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles y va adquiriendo un interés cada vez mayor para el tratamiento de residuos peligrosos (Rodríguez et al, 1999).

La incineración persigue la destrucción de los contaminantes orgánicos presentes en el residuo procesado, con el concurso del oxígeno, a alta temperatura. No es sino un proceso de combustión, cuyas particularidades derivan del residuo tratado, en lo que se refiere a su composición y estado físico (Rodríguez et al., 1999).

#### **4.3.8 Medicamentos**

El manejo adecuado de las donaciones es importante, pues en muchos casos, lejos de ser útiles, son perjudiciales. Algunos medicamentos no son apropiados para tratar situaciones generadas por la tragedia, otros son desconocidos, algunos tienen rotulación inadecuada y otros contienen dosificaciones incompletas (OPS, 2003). Su eliminación debe realizarse con estricta fiscalización, para evitar un mal uso de los mismos. Será recomendable la incineración directa o la disposición en celdas de seguridad.

Para una adecuada disposición final es importante tener una clasificación de los medicamentos, separar los productos que se clasifican como sustancias

controladas tales como: los narcóticos y psicotrópicos además de antineoplásicos, antibióticos y otros productos peligrosos no farmacéuticos que pudieran haberse mezclado, esto debe almacenarse por separado en áreas seguras hasta su disposición final. Ésta es quizá la parte más difícil del proceso de clasificación, ya que implica revisar el principio activo que contiene cada medicamento y una vez conociendo su acción farmacéutica, separar los que pertenezcan a estos grupos; esta etapa es la que se puede llevar más tiempo dependiendo de las condiciones en las que se encuentren los productos en el sitio de almacenamiento (Fernández y Torres, 2001).

Los medicamentos caducos o inservibles restantes se deben clasificar como sigue (Fernández y Torres, 2001):

- ◆ Productos farmacéuticos que pueden ser utilizados
- ◆ Medicamentos caducos o inservibles

Dentro de los medicamentos que no deben usarse nunca y deben de considerarse siempre como residuos farmacéuticos se encuentran (Fernández y Torres, 2001):

- ◆ Todos los medicamentos caducos
- ◆ Todas las formas farmacéuticas líquidas incluyendo gotas, que muestren señas de haber sido usados, con el sello violado, derramados, estén o no caducos.
- ◆ Todos los medicamentos que deben de almacenarse bajo ciertas condiciones de temperatura, pero que en algún momento estuvieron fuera de refrigeración, por ejemplo: insulina, polipéptidos, hormonas, gammaglobulinas y vacunas.
- ◆ Todas las tabletas y cápsulas sin caja, si éstas no están caducos se pueden usar cuando se encuentren dentro del blíster original siempre y cuando la identificación sea la convenida.
- ◆ Todos los tubos de cremas, pomadas, ungüentos, geles, etc., que tengan los sellos violados, estén o no caducos.

Los medicamentos que contengan principios activos que se encuentren dentro de estos grupos de sustancias, deben de separarse del resto independientemente de la forma farmacéutica que presenten (Fernández y Torres, 2001):

- ◆ Sustancias controladas (por ejemplo: narcóticos y psicotrópicos)
- ◆ Fármacos Antifecciosos (antibióticos)
- ◆ Antineoplásicos
- ◆ Fármacos citotóxicos y anticancerígenos
- ◆ Hormonales
- ◆ Antisépticos y desinfectantes

Los medicamentos que contengan principios activos, que no se encuentren dentro de los grupos anteriores deben clasificarse de acuerdo a su forma farmacéutica dentro de las siguientes categorías (Fernández y Torres, 2001):

1. Sólidos, semisólidos y polvos: Tabletas, cápsulas, grageas, polvos para inyección o para preparar suspensiones, cremas, geles, óvulos, supositorios etc.
2. Líquidos: Soluciones suspensiones jarabes, gotas, etc.
3. Ampolletas
4. Aerosoles

La tabla 4.9 muestra la disposición final que puede utilizarse para los medicamentos.

Los desechos de materiales de empaque tales como papel, cartón y plástico, pueden ser reciclados o dispuestos como un residuo normal en un relleno sanitario, teniendo la precaución de romperlos antes de disponerlos (Fernández y Torres, 2001).

La tabla 4.10 muestra los métodos de tratamiento y la disposición final que puede utilizarse para los medicamentos.

Tabla 4.9 Opciones de disposición para cada categoría de clasificación  
(Fernández y Torres, 2001).

| <b>Categoría de clasificación</b> | <b>de</b> | <b>Opciones de disposición</b>   |
|-----------------------------------|-----------|--|
| Sólidos, semisólidos y polvos     |           | Incineración a altas temperaturas<br>Incineración a temperatura media<br>Inertización<br>Encapsulamiento<br>Relleno Sanitario<br>Tiraderos controlados |
| Líquidos                          |           | Incineración a altas temperaturas.<br>Desechar en el drenaje   |
| Ampolletas                        |           | Triturar las ampolletas y desechar el líquido en el drenaje  |
| Antiinfecciosos                   |           | Incineración a altas temperaturas<br>Incineración a temperatura media<br>Inertización<br>Encapsulamiento   |
| Antineoplásicos                   |           | Devolución al donador o fabricante<br>Incineración a altas temperaturas<br>Descomposición química<br>Inertización<br>Encapsulamiento                   |
| Medicamentos controlados          |           | Incineración a altas temperaturas<br>Incineración a temperatura media<br>Inertización<br>Encapsulamiento   |
| Desinfectantes                    |           | Usarlos<br>Diluirlos y desecharlos en el drenaje bajo supervisión de un experto calificado   |
| Aerosoles                         |           | Encapsulamiento<br>Relleno sanitario<br>Tiraderos controlados  |

Tabla 4.10. Métodos de tratamiento y disposición para medicamentos caducos  
(Fernández y Torres, 2001).

| <b>Método de disposición</b>                                   | <b>Tipo de desecho farmacéutico<br/>Procedimiento</b>   | <b>Tipo de desecho farmacéutico<br/>Procedimiento</b>  |
|--|---|--|
| Devolución al donador o fabricante                             | Todos los desechos farmacéuticos particularmente antineoplásicos.   | Si existen grandes cantidades de desechos farmacéuticos del mismo laboratorio y es costeable la devolución debe considerarse como primera opción, por lo que se debe dar aviso a las autoridades competentes para seguir los procedimientos Necesarios.  |
| Incineración a altas temperaturas (superiores a 1200°C)        | Es el mejor método de disposición para todos los desechos farmacéuticos excepto ampollas de vidrio.                             | Las autoridades competentes se encargarán del seguimiento del procedimiento de incineración.   |
| Incineración a temperatura media (temperatura mínima de 850°C) | En ausencia de incineradores a alta temperatura, todos los desechos farmacéuticos excepto ampollas de vidrio y antineoplásicos. | Las autoridades competentes se encargarán del seguimiento del procedimiento de incineración.   |
| Encapsulación  | Sólidos, semisólidos, polvos, líquidos, antineoplásicos y sustancias controladas.   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir una tapa del tambor de acero y doblarla hacia afuera.</li> <li>2. Llenar el tambor al 75% de su capacidad (teniendo precaución de no cortarse) con desechos farmacéuticos en forma sólida o semisólida sin el material de empaque secundario.</li> <li>3. Llenar el tambor con una mezcla de cal/cemento/agua en proporción 15:15:5 (por peso), en ocasiones se puede requerir una proporción mayor de agua para alcanzar una consistencia líquida satisfactoria.</li> <li>4. Sellar la tapa de preferencia con costura soldada.</li> <li>5. Los tambores sellados se deben colocar en la base de un relleno sanitario y cubrirse con grandes cantidades de desechos sólidos municipales.</li> </ol> |

Tabla 4.10 Continuación de la tabla Métodos de tratamiento y disposición para medicamentos caducos (Fernández y Torres, 2001).

| <b>Método de disposición</b>             | <b>Tipo de desecho farmacéutico<br/>Procedimiento</b>  | <b>Tipo de desecho farmacéutico<br/>Procedimiento</b>  |
|--|--|--|
| Inertización                             | Sólidos, semisólidos, polvos, antineoplásicos y sustancias controladas.  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Quitar todos los materiales de empaque de los medicamentos.</li> <li>2. Moler y mezclar con agua en un camión revoladora.</li> <li>3. Añadir una mezcla de cemento cal y agua en proporciones 15:15:5 por peso para formar una pasta homogénea.</li> <li>4. La mezcla se transporta en estado líquido por el camión batidora de concreto y se dispone en un basurero, de preferencia un relleno sanitario, la pasta entonces se convierte en una masa sólida dispersada dentro de los desechos municipales.</li> </ol> |
| Relleno sanitario                        | Cantidades limitadas de sólidos, semisólidos y polvos sin tratamiento.<br>Grandes cantidades de todos los desechos farmacéuticos preferiblemente después de su inmovilización. | En caso de que la disposición en relleno sanitario sea posible, los encargados del mismo, dan el manejo necesario a este tipo de desechos, ya que una vez dispuestos, se deben de cubrir con grandes cantidades de residuos sólidos municipales de preferencia deben de sacarse del material de empaque secundario ya que esto reduce significativamente el volumen a disponer.  |
| Basureros controlados y no controlados   | Todos los desechos farmacéuticos preferiblemente después de su inmovilización.   | En caso de que la disposición en relleno sanitario sea posible, los encargados del mismo, dan el manejo necesario a este tipo de desechos, ya que una vez dispuestos, se deben de cubrir con grandes cantidades de residuos sólidos municipales de preferencia deben de sacarse del material de empaque secundario ya que esto reduce significativamente el volumen a disponer.  |
| Desechar en el drenaje o cursos de agua. | Formas farmacéuticas líquidas diluidas, soluciones intravenosas, pequeñas cantidades de desinfectantes diluidos  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diluir con agua.</li> <li>2. Neutralizar.</li> <li>3. Desechar en el drenaje</li> </ol>  |
| Quema en contenedores abiertos           | Materiales de empaque excepto PVC  | Método considerado para materiales de empaque en caso de que no sea posible su reciclaje.  |
| Descomposición química                   | Fármacos específicos.  | Recomendado solamente bajo supervisión de químicos expertos y para cantidades menores a 50 kg.   |

#### **4.3.9 Residuos peligrosos biológico infecciosos (RPBI)**

La clasificación de las víctimas es una fuente significativa de generación de residuos peligrosos por su potencial infeccioso, que usualmente no se toma en cuenta (materiales biocontaminados). Por ser una actividad de rápida respuesta, se recomienda que todos los residuos generados en esta etapa de la atención y en los primeros auxilios, sin excepción, sean almacenados en recipientes debidamente identificados como "residuos biocontaminados", de preferencia en bolsas de color rojo. Se evitará el contacto directo con estos residuos (OPS, 2003).

La clasificación de los residuos peligrosos biológico-infecciosos es la siguiente (DOF, 2003):

- ◊ La sangre: la sangre y sus componentes, sólo en su forma líquida, así como sus derivados no comerciales, incluyendo las células progenitoras, hematopoyéticas y las fracciones celulares o acelulares de la sangre resultante (hemoderivados). No se considera como RPBI a la sangre seca.
- ◊ Los cultivos y cepas de agentes biológico-infecciosos: los cultivos generados en los procedimientos de diagnóstico e investigación, así como los generados en la producción y control de agentes biológico-infecciosos. Utensilios desechables usados para contener, transferir, inocular y mezclar cultivos de agentes biológico-infecciosos.
- ◊ Patológicos: Los tejidos, órganos y partes que se extirpan o remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica y que no se encuentren en formol.  
No se consideran RPBI aquellos tejidos, órganos y partes del cuerpo que se encuentren en formol.  
Son líquidos patológicos los fluidos corporales (líquido sinovial, pericárdico, pleural, cefaloraquídeo, peritoneal y pulmonar).  
Muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico e histológico.

No se consideran RPBI la orina y el excremento, sin embargo, cuando estos provengan de pacientes con enfermedades infectocontagiosas graves deben ser desinfectadas con hipoclorito de sodio o formol antes de ser desechadas. Los cadáveres y partes de animales que fueron inoculados con agentes entero- patógenos en centros de investigación y bioterios.

Únicamente se consideran RPBI los cadáveres de animales o partes de ellos que fueron inoculados con agentes enteropatógenos.

- ◊ No anatómicos: Recipientes desechables que contengan sangre líquida. Materiales de curación empapados, saturados o goteando sangre o fluidos corporales.

Los sellos de agua desechables, serán considerados como RPBI no anatómico. Materiales desechables que contengan secreciones pulmonares de pacientes sospechosos de tuberculosis o sospecha/diagnóstico fiebres hemorrágicas o enfermedades infecciosas, según sea determinado por la SSA mediante memorándum interno o el Boletín Epidemiológico.

Materiales desechables usados para el cultivo de agentes infecciosos.

Materiales absorbentes utilizados en las jaulas de animales que hayan sido expuestos a agentes enteropatógenos.

- ◊ Objetos punzocortantes: Los que han estado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento, únicamente tubos capilares, agujas de jeringas desechables, navajas, lancetas, agujas hipodérmicas, agujas de sutura, agujas de acupuntura y para tatuaje, bisturís y estiletes de catéter.

Excepto material de vidrio roto, utilizado en el laboratorio, ya que éste se deberá desinfectar o esterilizar para ser dispuesto como basura municipal.

Una vez que los residuos han sido clasificados o separados según sus características, deben ser envasados como se muestra en la tabla 4.11.

Tabla 4.11 Características de los envases de RPBI (Castañeda et al., 2007).

| Clasificación                           | Estado físico       | Envasado  | Tipo de envase   | Color    |
|---|---------------------|---|--|----------|
| Sangre                                  | Líquido             | Recipientes herméticos                          |    | Rojo     |
| Cultivos y cepas de agentes infecciosos | Sólidos             | Bolsas de polietileno                           |    | Rojo     |
| Patológicos                             | Sólidos<br>Líquidos | Recipientes herméticos<br>Bolsas de polietileno |    | Amarillo |
| Residuos no anatómicos                  | Sólidos<br>Líquidos | Recipientes herméticos<br>Bolsa de polietileno  |   | Rojo     |
| Objetos punzocortantes                  | Sólidos             | Recipientes rígidos de polipropileno            |  | Rojo     |

#### 4.3.9.1 Tratamientos de los RPBI

##### 4.3.9.1.1 Desinfección

1. Química: Consiste en la destrucción de agentes biológico infecciosos a excepción de las esporas de hongos y bacterias que suelen ser resistentes a este método, mediante la aplicación de sustancias químicas que actúan sobre la vida o desarrollo de los agentes biológico infecciosos (Castañeda et al., 2007).

2. Microondas: Tratamiento por el cual se aplica una radiación electromagnética de corta longitud de onda a una frecuencia característica. La energía irradiada a dicha frecuencia afecta exclusivamente a las moléculas de agua que contiene la materia orgánica, provocando cambio en sus niveles de energía manifestados a través de oscilaciones a alta frecuencia, las moléculas de agua al chocar entre sí friccionan y producen calor elevando la temperatura del agua contenida en la materia, causando la desinfección de los RPBI. La aplicación de esta tecnología implica una trituración, desmenuzamiento y humedecimiento de los residuos previo al tratamiento, afín de mejorar la eficiencia de éste método; donde cada partícula se expone a una serie de generadores de microondas convencionales que producen la desinfección (Castañeda et al., 2007).

#### **4.3.9.1.2 Esterilización**

Tratamiento para la destrucción de los agentes biológico infecciosos, sean cuales sean sus características, siendo lo mismo que sean patógenos o no, que estén sobre el material o dentro de él (Castañeda et al., 2007).

#### **Calor húmedo**

Este tratamiento se lleva a cabo mediante la utilización de vapor, que por sí solo no es esterilizante, por lo que requiere someterlo a una presión mayor que la atmosférica que aumente su temperatura, en un tiempo determinado, siendo de esta forma como se logra la destrucción de todos los agentes biológico infecciosos, los parámetros de esterilización dependerán de las características y condiciones de los equipos que se utilicen (Castañeda et al., 2007).

Las tablas 4.12 y 4.13 muestran las principales ventajas y desventajas de los diferentes métodos de tratamiento de los RPBI y los tratamientos recomendados para cada tipo de RPBI respectivamente.

Tabla 4.12 Principales ventajas y desventajas de los diferentes métodos de tratamiento de los RPBI (Castañeda et al., 2007).

| Método               | Ventajas  | Desventajas  |
|----------------------|---|--|
| Incineración         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Constituye el método de eliminación definitiva más efectivo ya que puede reducir hasta el 90% del volumen y el 75% del peso y consigue una eliminación adecuada.</li> <li>◊ Es la principal alternativa para el tratamiento de los residuos patológicos.</li> <li>◊ Recuperación de energía.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Altos costos de instalación, mantenimiento y de control de emisiones.</li> <li>◊ Requiere controles especiales para las cenizas y los gases producidos.</li> <li>◊ Requiere de una autorización por parte de SEMARNAT, para su operación.</li> <li>◊ Una incineración deficiente puede generar dioxinas y furanos en niveles superiores a los límites máximos permisibles.</li> </ul>   |
| Esterilización       | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Todo microorganismo puede ser eliminado por este método.</li> <li>◊ Es un método que puede eliminar el 100% de los gérmenes, incluyendo las esporas.</li> <li>◊ El costo es menor al de otros métodos.</li> <li>◊ Fácil en su operación, únicamente utiliza agua y electricidad.</li> <li>◊ No produce contaminación ambiental.</li> <li>◊ Al final del tratamiento, los residuos se consideran no peligrosos y pueden ser sometidos a compactación, reduciendo el volumen hasta en un 60%.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Después del tratamiento se requiere llevar a cabo la trituración de los residuos para hacerlos irreconocibles. Este paso eleva los costos del tratamiento.</li> <li>◊ No es útil para el tratamiento de residuos que contengan productos químicos, ya que pueden generar reacciones violentas.</li> <li>◊ No debe emplearse para residuos denominados patológicos.</li> </ul>   |
| Desinfección química | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Son económicos relativamente con otros métodos.</li> <li>◊ Existe una gran variedad y disponibilidad de los mismos.</li> <li>◊ Al término del proceso, se consideran como residuos no peligrosos.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Los desinfectantes son peligrosos para la salud humana y el ambiente, por tanto, tienen que aplicarse con técnicas especiales.</li> <li>◊ El personal debe emplear equipo de protección.</li> <li>◊ Requiere del conocimiento del tipo de germen y de cumplir con las especificaciones de cada producto, como tiempo de contacto, concentración, temperatura, vida útil, etc.</li> <li>◊ No se deben emplear como método principal de desinfección de los RPBI cuando la institución posee algún sistema de tratamiento de aguas residuales a base de bacterias.</li> <li>◊ Los líquidos residuales requieren de una inactivación antes de ser desechados, esta inactivación depende del desinfectante utilizado en el tratamiento.</li> <li>◊ No destruyen las esporas bacterianas.</li> </ul> |
| Microondas           | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Efectivos para la destrucción de todos los gérmenes incluso esporas de bacterias y huevos de parásitos.</li> <li>◊ El tiempo requerido para el tratamiento es menor en comparación con otros sistemas de tratamiento.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Los residuos requieren de un nivel específico de humedad para una mayor eficiencia del tratamiento.</li> <li>◊ Los costos de instalación y operación son elevados.</li> </ul>   |

Tabla 4.13 Tratamiento para residuos biológico infeccioso (ISEM, 2005).

| <b>Tipo de residuo</b>                              | <b>Estado Físico</b> | <b>Tratamiento</b>                                    |
|---|----------------------|---|
| Residuos de sangre                                  | Sólidos<br>Líquidos  | Incineración o esterilización<br>Desinfección química |
| Fluidos corporales                                  | Líquidos             | Desinfección química                                  |
| Residuos de cultivos y cepas de agentes infecciosos | Sólidos              | Incineración o Esterilización                         |
| Residuos patológicos                                | Sólidos              | Incineración  |
| Residuos no anatómicos                              | Sólidos              | Esterilización o incineración                         |
| Objetos punzocortantes                              | Sólidos              | Esterilización  |

En caso de que el sistema de tratamiento no cumpla con el requerimiento de volver irreconocibles a los RPBI, se deberá llevar a cabo cualquiera de las siguientes acciones (Castañeda et al., 2007):

- ◊ Trituración. Consiste en reducir los RPBI a pequeñas partículas mediante cuchillos rotatorios que deben ser reemplazados periódicamente. El equipo debe contar con un dispositivo automático para detener el movimiento y expulsar los objetos que no puedan cortarse.
- ◊ Aglutinación. Consiste en convertir los RPBI tratados en una masa mediante el uso de yeso, brea, pegamento plástico, arena bituminosa o cualquier otro material que tenga la particularidad de solidificar estos residuos.

Los RPBI una vez tratados e irreconocibles, podrán disponerse en sitios de disposición final para residuos no peligrosos.

En la figura 4.3 se muestra un diagrama donde se simplifica el flujo general del tratamiento que se mencionó en este capítulo basándose principalmente en el reciclaje y la reutilización de los residuos.

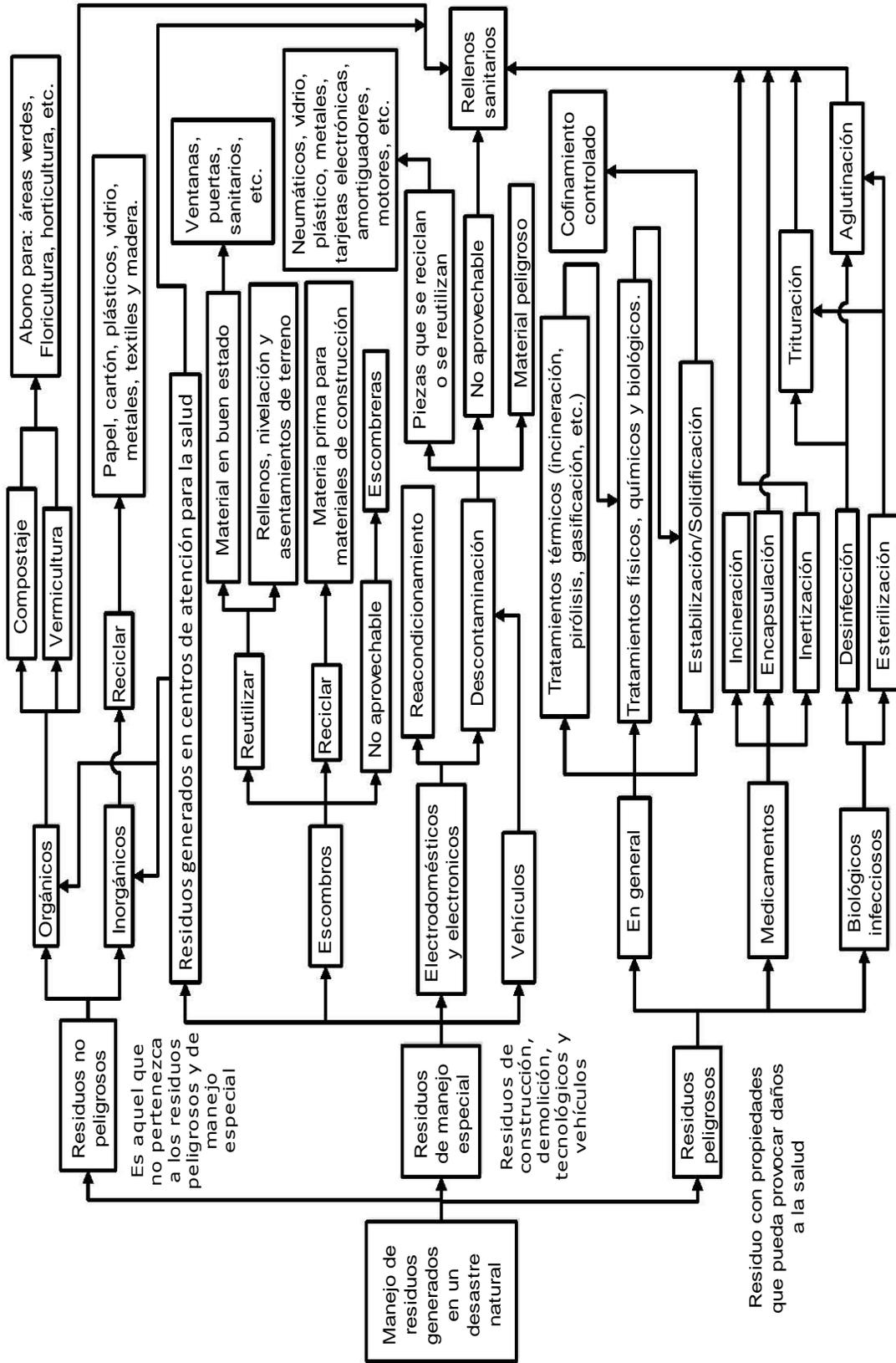


Figura. 4.3 Diagrama general del manejo de residuos generados en un desastre natural.

## Conclusiones y recomendaciones

---

---

En general se establecieron las acciones básicas para el desarrollo de un manejo adecuado de los residuos sólidos después de un desastre natural, considerando su naturaleza y se observó que en México hace falta implementar normas sobre la gestión de dichos residuos, por ejemplo con respecto a la disposición segura de los vehículos dañados, además los residuos derivados de la construcción aun no sea desarrollado una infraestructura a nivel nacional con respecto a su tratamiento final, lo mismo sucede con los residuos electrónicos y eléctricos.

Asimismo se investigó en medios impresos y electrónicos información sobre desastres naturales ocurridos a nivel mundial y se encontró que algunos países tienen la gestión adecuada para la disposición final de los residuos tales como Japón y Estados Unidos. En el primero predomina el reciclaje de los materiales mientras que en el segundo se envía a disposición final preferentemente.

Por otro lado se revisó y analizó la información concerniente al manejo de residuos sólidos después de un desastre considerando la información que presentan los organismos internacionales hallándose que la Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud son los organismos que más han trabajado en este tema así como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y su enfoque es más hacia la atención de la salud.

De igual manera se clasificaron los residuos sólidos generados después de un desastre tomando en cuenta su peligrosidad y se puede concluir que es un paso muy importante para llevar a cabo el tratamiento y la disposición final, ya que si no hay segregación los daños al ambiente se incrementarían notablemente. Con respecto a los residuos peligrosos el tratamiento y la disposición en México, se

basan primordialmente su disposición final más que en el tratamiento y recuperación de los mismos.

Finalmente se propuso un manejo adecuado de los residuos sólidos generados en el desastre de acuerdo a su clasificación tomando como prioridad el reciclaje y el reuso, tratando de minimizar los residuos que son enviados a rellenos sanitarios.

---

## Referencias

---

Agencia de Residuos de Cataluña (ARC), 2009, Guía de buenas prácticas para el reciclaje de vehículos fuera de uso en Cataluña.

Brown C., Milke M., Seville E., Giovinazzi S., 2010, Case Study Report: L'Aquila Earthquake – Disaster Waste Management.

Brown C., Milke M., Seville E., Giovinazzi S., 2010, Disaster Waste Management on the Road to Recovery: L'Aquila Earthquake Case Study.

Brown C., 2012, Disaster Waste Management: a systems approach, University of Canterbury.

Cabidol M., Claramunt R., Corgano M., Escolástico C., Esteban S., Farrán M., García M., López C., Pérez J., Pérez Marta, Santa Maria M., Sanz., 2008, Reciclado y tratamiento de residuo, editorial UNED, España, pág. 322

Cámara del papel, 2012, Plan de manejo para los residuos del papel y carton en México 2012, Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel.

Castañeda L., Jiménez J., Urzúa A., Manzano R., Valentín J., Pérez E., Cruz S., Gálvez A., 2007, Guía de cumplimiento de la norma oficial mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 Protección Ambiental - Salud Ambiental - Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos - Clasificación y Especificaciones de Manejo, Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT), México.

Castells X., 2000, Reciclaje de residuos industriales, Editorial Diaz de Santos, España, pag. 436.

Colomer F., Gallardo A., 2010, Tratamiento y gestión de residuos solidos, México, editorial Limusa Universidad Politécnica de Valencia. Pags 91-103.

Concretos reciclados, materiales para reciclar, México. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2013]. Disponible en:

<http://www.concretosreciclados.com.mx/es/materiales.php>

Diaz E., 2002, Guía de lombricultura, Agencia de desarrollo económico y comercio exterior, Municipio Capital de La Rioja, Argentina.

DOF, 2003, Norma oficial mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 Residuos peligrosos biológico-infecciosos clasificación y especificaciones de manejo. Diario Oficial de la Federación el 17 de febrero de 2003.

DOF, 2006, Norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Características, procedimiento de identificación, clasificación y listados de los residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 2006.

DOF, 2012, Ley General de Protección Civil (LGPC). Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012.

DOF, 2013, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los residuos (LGPGIR). Diario Oficial de la Federación 7 de julio de 2013.

DOF, 2013a, Norma oficial mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Diario Oficial de la Federación 1 de febrero de 2013.

Esworthy R., Schierow L, Copeland C., Luther L., and Ramseur J., 2006, Cleanup After Hurricane Katrina: Environmental Considerations.

Fernández G., Torres P., 2001, Guía para la disposición segura de medicamentos caducos acumulados en situaciones de emergencia, Centro Nacional de Prevención de desastres, México.

Hernández C., Fernández G., Sánchez J., 1995, Manual para el tratamiento y disposición final de medicamentos y fármacos caducos, Instituto Nacional de Ecología, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México.

Instituto de Salud del Estado de México (ISEM), 2005, Manual de procedimientos para el manejo de residuos peligrosos biológico-infecciosos generados en los hospitales del instituto de salud del estado de México, México.

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), 2013, Lecciones aprendidas Loreto: intervención frente a la emergencia por inundaciones en Loreto en el año 2012, Perú.

Instituto Nacional de Ecología (INE), 2011, Elaboración de un documento integrado de la información generada de los proyectos nacionales y la experiencia en otros países en materia de residuos electrónicos, México.

Instituto Nacional de Ecología (INE), 2007, Experiencias de la producción de composta en México [Fecha de consulta: 6 de Febrero de 2014]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/499/experiencias.html>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2013, Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos 2012, México.

Luther L., 2006, Disaster Debris Removal After Hurricane Katrina: Status and Associated Issues.

Marqués M., Urquiaga R., 2005, Manual del buen compostador, Grupo de acción para el medio ambiente, Madrid.

Martínez C., Lombricultura, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), México.

Martínez J., 2005, Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, Centro coordinador del convenio de Basilea para América latina y el Caribe, Uruguay.

Micangeli A., Michelangeli E, Naso V., 2013, Sustainability after the Thermal Energy Supply in Emergency Situations: The Case Study of Abruzzi Earthquake (Italy).

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), 2009, Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Colombia.

Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial (OCADE), 2007, Gestión integral de residuos o desechos peligrosos, Colombia.

Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización mundial de la salud (OMS), 2006, Efectos de la Erupción del Volcán Reventador (2002) en los Sistemas de Agua y Alcantarillado.

Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización mundial de la salud (OMS), 2013, Inundaciones en Loreto. Perú 2012: Respuesta del Sector Agua, Saneamiento e Higiene – Experiencias y aprendizajes, Perú.

Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2003, Gestión de residuos sólidos en situaciones de desastre. Washington, D.C

Orozco J., Fuertes C., 2009, Hacia una Vivienda Saludable, Organización Panamericana de la Salud, Perú.

Pedrero H., Zuart J., Ramírez A., Amaya F., Graham H., Espinosa S., García V., Manual de lombricultura, Fundación Produce Chiapas, México.

Reinhart D., McCreanor P., 1999, Disaster Debris Management–Planning Tools.

Rodríguez M., Córdova A., 2006, Manual de compostaje municipal tratamiento de residuos sólidos urbanos, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

(Semarnat), Instituto Nacional de Ecología (INE), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, México.

Risk Management Solutions (RMS), 2005, Hurricane Katrina: Profile of a Super Cat - Lessons and Implications for Catastrophe Risk Management.

Rivero O., Garfias M., González S., Toledo G., 1997, Residuos peligrosos, Programa universitario de medio ambiente, México.

Röben E., 2003, El Reciclaje oportunidades para reducir la generación de los desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico, Municipio de Loja/ DED (Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica), Ecuador.

Schmidlin T., King P., Hammer B., Ono Y., 1998: Risk factors for death in the 22–23 February 1998 Florida tornadoes.

Sea Studios Foundation, Guía inteligente sobre plásticos. [Fecha de consulta: 8 de octubre de 2013]. Disponible en:

<http://www-tc.pbs.org/strangedays/pdf/StrangeDaysSmartPlasticsGuideSpanish.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2012, Plan de manejo de vehículos al final de su vida útil 2012, México.

SEMARNAT. Residuos peligrosos. Actualizada: 19 de febrero de 2013. [Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2013]. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/materialesactividades/Paginas/ResPel.aspx>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2012a, Informe de la situación del medio ambiente en México comprendido de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental, México.

SEMARNAT. Residuos. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2013]. Disponible en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/07\\_residuos/cap7\\_1.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/07_residuos/cap7_1.html)

SEMARNAT. Empresas autorizadas para el manejo de residuos peligrosos. Actualizada: 20 de enero de 2014. [Fecha de consulta: 25 de enero de 2014]. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/transparencia/transparencia-focalizada/residuos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos>

Sakai S., Debris Management, Kyoto University and International Recovery Platform.

Sociedad pública de gestión ambiental (SPGA), 2003, Monografía sobre vehículos al final de su vida útil.

Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S., 1994, Gestión integral de residuos sólidos, España, editorial McGraw-Hill. pag 45

Torres L., Elaboración de composta, Secretaria de agricultura, ganaderia, desarrollo rural pesca y alimentación (SAGARPA), México.

United Nations Environment Programme (UNEP), 2012, Managing post-disaster debris: the Japan experience.

Washington J., Gelati P., Vasicek A., Baridón E., Pellegrini A, Millán G., Mildemberg J., Cattani V., Fittipaldi C., Iribar M., Capacitación para el reciclado de residuos orgánicos. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Catedra de Edafología.

Zilbert L., Wilches-Chaux G., Orrego J., 2005, Volcán Reventador: Una Comunidad Campesina Conviviendo con el Volcán El Reventador. Ecuador

---

## Glosario

---

**Árido:** Se denomina árido al material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción, principalmente.

**Afluente:** tributario o corriente que vierte sus aguas a otro río, con el cual se une en un lugar llamado confluencia.

**Asbesto:** Mineral de composición y caracteres semejantes a los del amianto, pero de fibras duras y rígidas que pueden compararse con el cristal hilado.

**Calcinación:** Proceso químico que tiene lugar mediante calentamiento a altas temperaturas y cuya finalidad es la eliminación de los componentes volátiles presentes en una sustancia sólida.

**Cauce:** conducto abierto, creado natural o artificialmente, el cual contiene agua en movimiento periódico o continuamente.

**Ceniza:** Polvo mineral de color gris claro que queda como residuo de una combustión completa. Conjunto de los materiales más finos arrojados por un volcán.

**Ciclón tropical:** es un remolino gigantesco que cubre cientos de miles de kilómetros cuadrados y tiene lugar, primordialmente, sobre los espacios oceánicos tropicales. Cuando las condiciones oceánicas y atmosféricas propician que se genere un ciclón tropical, la evolución y desarrollo de éste puede llegar a convertirlo en huracán.

**Depresión Tropical:** Los vientos se incrementan en la superficie, producto de la existencia de una zona de baja presión. Dichos vientos alcanzan una velocidad sostenida menor o igual a 62 kilómetros por hora.

**Desastre:** suceso que causa alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente, excediendo la capacidad de respuesta de la comunidad afectada.

**Detrito:** resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas.

**Encapsulación:** es un proceso que incluye el recubrimiento completo o cercado de una partícula tóxica o un residuo aglomerado con una nueva sustancia, como pueden ser los aditivos generales de S/E o aglutinantes específicos. La microencapsulación es la encapsulación de partículas individuales. La macroencapsulación es el recubrimiento o contención mediante una capa impermeable de una aglomeración de residuos o materiales microencapsulados, que limita el acceso de residuos a los elementos de lixiviación.

**Epicentro:** Punto en la superficie de la tierra, directamente encima del lugar de origen del terremoto.

**Epidemia:** aumento inusual o aparición de un número significativo de casos de una enfermedad infecciosa que se manifiesta con una frecuencia mayor a la cual normalmente se presenta en esa región o población. Las epidemias pueden también atacar a los animales, desencadenando desastres económicos en las regiones afectadas.

**Erupción volcánica:** Expulsión al exterior de materias sólidas, líquidas o gaseosas procedentes del interior de la Tierra, generalmente a través de un volcán.

**Escombrera:** Área destinada para la eliminación de escombros y restos de demolición no aprovechables (materiales inertes), que pueden ser naturales (por ejemplo, hondonadas o depresiones) o creadas por el hombre (por ejemplo, canteras abandonadas).

**Escombro:** Desecho proveniente de las construcciones y demoliciones de casas, edificios y otro tipo de edificaciones.

**Estabilización o inertización:** se refiere a aquellas técnicas que reducen el peligro potencial de un residuo convirtiendo los contaminantes en sus formas menos solubles, móviles o tóxicas. El termino incluye solidificación, pero también que se dé una reacción química para transformar el compuesto tóxico en una sustancia no tóxica.

**Fijación química:** es la transformación de los contaminantes tóxicos a una forma no tóxica. El término ha sido mal empleado para describir procesos en los cuales no se incluía unión química con el contaminante al aglomerante (o alutinante).

**Gestión:** conjunto de reglas, procedimientos y métodos operativos para llevar a cabo con eficacia y eficiencia la acción planificada.

**Heladas:** fenómeno que se presenta cuando la temperatura desciende por debajo de los 0°C.

**Hundimiento:** Colapso de una superficie considerable de tierra, debido a la remoción de líquido o capa inferior de tierra, o remoción de un material soluble mediante agua.

**Huracán:** es un ciclón tropical en el cual los vientos máximos sostenidos alcanzan o superan los 119 km/h. El área nubosa cubre una extensión entre los 500 y 900 km de diámetro, produciendo lluvias intensas. El ojo del huracán alcanza normalmente un diámetro que varía entre 24 y 40 km, sin embargo, puede llegar hasta cerca de 100 km.

**Incineración:** Es un proceso de oxidación térmica a alta temperatura en el cual los residuos peligrosos o no son convertidos en presencia de oxígeno, en gases y residuales sólidos incombustibles. Los gases generados son emitidos a la atmósfera previa limpieza de gases y los residuales sólidos son depositados en un relleno de seguridad.

**Inundación:** aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce.

**Lacustres:** Se aplica al ser vivo que tiene como hábitat los lagos y sus orillas:

**Lixiviado:** Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.

**Minga:** compromiso, contrato o convenio para un trabajo, entre el trabajador y la persona que necesita sus servicios.

**Perecible:** Que dura poco tiempo o que inevitablemente tiene que acabarse.

**Plaguicida:** en sentido estricto, sustancia que mata plagas; en el uso corriente, cualquier sustancia que se utiliza para controlar, evitar o destruir plagas animales, microbianas o vegetales.

**Putrefacta:** sustancia que está en proceso de descomposición.

**Reciclaje:** Proceso mediante el cual los materiales segregados de los residuos son reincorporados como materia prima al ciclo productivo.

**Relleno sanitario:** Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente, y el control de los gases y lixiviados y la proliferación de vectores, a fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.

**Réplica:** sismo que ocurre tras uno de gran magnitud, y relacionado con aquél. Las réplicas se deberán a la liberación de los restos de energía que quedan después del sismo principal.

**Sismos:** Movimiento de imperceptible o ligeramente perceptible a sacudimiento violento de la Tierra, producido por el paso de las ondas generadas por el desplazamiento repentino de las rocas por debajo de la superficie de la Tierra.

**Solidificación:** es un proceso en el cual los materiales se unen al residuo para producir un sólido monolito de alta integridad estructural. Puede suponer o no una reacción química entre el contaminante tóxico y el aditivo, pero en cualquier caso confinará el residuo dentro de la estructura monolítica.

**Tormenta Tropical:** El incremento continuo de los vientos provoca que éstos alcancen velocidades sostenidas entre los 63 y 118 km/h. Las nubes se distribuyen

en forma de espiral. Cuando el ciclón alcanza esta intensidad se le asigna un nombre preestablecido por la Organización Meteorológica Mundial.

**Tornado:** es un fenómeno meteorológico que se produce a raíz de una rotación de aire de gran intensidad y de poca extensión horizontal, que se prolonga desde la base de una nube madre, conocida como Cumulonimbus. La base de esta nube se encuentra a altitudes por debajo de los 2 Km y se caracteriza por su gran desarrollo vertical, en donde su tope alcanza aproximadamente los 10 Km de altura hasta la superficie de la tierra o cerca de ella.

**Tsunami:** palabra que viene del japonés tsu (puerto) y nami (ola). Un tsunami es generado por un rápido desplazamiento de un gran volumen de agua. Generalmente son originados por terremotos en el fondo del mar, pero también puede ser generados por deslizamientos de bloques de tierra, erupciones volcánicas, separación de un iceberg de un témpano de hielo y muy raramente por el impacto de un meteorito. Derrumbe

**Vertederos:** Sitio donde o por donde se vierten basuras, escombros, desperdicios o aguas residuales.