Fichas Temáticas

TOMO II

Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos

Fichas Temáticas

TOMO II

Autor:
M.Sc. Ing. Qco. Javier Martínez

Co-autores:
Ing. Qca. Marisol Mallo
Ing. Qca. Rosario Lucas
Q.F. Jacqueline Álvarez
Ing. Qca. Ana Salvarrey
Ing. Qco. Pablo Gristo

Centro Coordinador
del Convenio de Basilea
para América Latina y el Caribe

Montevideo, Uruguay
Setiembre/2005

RED de CENTROS
Convenio de Basilea
América Latina y el Caribe

BASEL CONVENTION

IDRC CRDI

EMS - SEMA

CENTRO COORDINADOR DEL CONVENIO DE BASILEA
PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
Silvia Aguinaga
Directora

©2005, Javier Martínez

Autor: M.Sc. Ing. Qco. Javier Martínez.
Co-autores: Ing. Qca. Marisol Mallo
Ing. Qca. Rosario Lucas
Q.F. Jacqueline Álvarez
Ing. Qca. Ana Salvarrey
Ing. Qco. Pablo Gristo

Setiembre, 2005

Diseño de Tapa y Diagramación: D.I. Marcelo Caiafa.

El material que aparece en la presente publicación puede ser reproducido total o parcialmente citando la fuente.

Los conceptos vertidos son de responsabilidad del autor.

Contenido

1. Flujos Específicos de Residuos

página

1. Residuos Sólidos Hospitalarios 9
2. Neumáticos Usados 21
3. Baterías Plomo-Ácido 27
4. Aceites Usados 35
5. Bifenilos Policlorados (PCB) 43
6. Plaguicidas Obsoletos 53
7. Envases Vacíos de Plaguicidas 63
8. Medicamentos Vencidos 69
9. Chatarra Metálica 75
10. Solventes de Desecho 83
11. Pilas y Baterías Domésticas 89
12. Lámparas de Descarga 95
13. Residuos Radiactivos 101

2. Tecnologías de Tratamiento y Disposición Final

I. Autoclavado de Residuos Hospitalarios 107
II. Incineración de Residuos Peligrosos 111
III. Rellenos de Seguridad 119
IV. Deshidratación de Lodos 127
V. Caracterización y Rehabilitación de Sitios Contaminados 133

1. Flujos Específicos de Residuos

1. Residuos Sólidos Hospitalarios

Los Residuos Sólidos Hospitalarios (RSH) son los residuos sólidos generados en los centros de atención a la salud durante la prestación de servicios de hospitalización, diagnóstico, prevención, tratamiento y curación, incluyendo los generados en los laboratorios.

Como centro de atención de la salud se entiende a todo hospital, sanatorio, clínica, policlínico, centro médico, maternidad, sala de primeros auxilios y todo aquel establecimiento donde se practique cualquiera de los niveles de atención humana o animal, con fines de prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación, y en aquellos centros donde se realiza investigación.

La generación media de RSH varía de un país a otro dependiendo de las características socioeconómicas y culturales. En la siguiente tabla se presentan rangos de generación media agrupados por regiones.

Región	Kg/cama-día
Norte América	7 - 10
América Latina	2.6 - 3.8
Europa Occidental	3 - 6
Europa Oriental	1.4 - 2

1.1 Clasificación de RSH

La clasificación de los RSH es un aspecto clave en la gestión de los mismos. Existen distintas clasificaciones basadas en criterios tales como el tipo de fuente, el tipo de riesgo, el destino final de los residuos, entre otros. En el presente documento se adoptó la clasificación propuesta por el CEPIS en la "Guía para el manejo interno de residuos sólidos en los centros de atención de salud", la cual los agrupa en tres categorías: **infecciosos**, **especiales y comunes**.

1. Residuos infecciosos

Los residuos 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 residuos pueden ser, entre otros:

- ***Materiales provenientes de salas de aislamiento de pacientes:*** *residuos biológicos, excreciones, exudados o materiales de desecho provenientes de salas de aislamiento de pacientes con enfermedades altamente transmisibles. Se incluye a los animales aislados y cualquier tipo de material que haya estado en contacto con éstos.*
- ***Materiales biológicos:*** *cultivos, muestras almacenadas de agentes infecciosos, medios de cultivo, placas de Petri, instrumentos usados para manipular, mezclar o inocular microorganismos, vacunas vencidas o inutilizadas, filtros de áreas altamente contaminadas, etc.*
- ***Sangre humana y productos derivados:*** *sangre de pacientes, bolsas de sangre inutilizadas, con plazo de utilización vencida o serología positiva, muestras de sangre para análisis, suero, plasma y otros subproductos. También se incluyen los materiales empapados o saturados con sangre; materiales como los anteriores aunque se hayan secado, incluyendo el plasma, el suero y otros, así como los recipientes que los contienen o que se contaminaron, como bolsas plásticas, tubos de venoclisis, etc.*
- ***Residuos anatómicos patológicos y quirúrgicos:*** *desechos patológicos humanos, incluyendo tejidos, órganos, partes y fluidos corporales, que se remueven durante las autopsias, la cirugía u otros, incluyendo las muestras para análisis.*
- ***Residuos punzocortantes:*** *elementos punzocortantes que estuvieron en contacto con fluidos corporales o agentes infecciosos, incluyendo agujas hipodérmicas, jeringas, pipetas de Pasteur, agujas, bisturís, tubos, placas de cultivos, cristalería entera o rota, etc. Se considera también cualquier objeto punzocortante desechado, aun cuando no haya sido utilizado.*

- ***Residuos de animales:*** *cadáveres o partes de animales infectados, provenientes de los laboratorios de investigación médica o veterinaria, así como sus camas de paja u otro material.*

2. Residuos especiales

Los 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 por sus características agresivas tales como corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o radiactividad.

Pueden ser, entre otros:

- *residuos químicos y peligrosos*
- *residuos farmacéuticos*
- *residuos radiactivos*

3. Residuos comunes

Los residuos comunes son aquellos generados por las actividades administrativas, auxiliares y generales, no considerados en las categorías anteriores. 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.

Entre el 75 al 90 % de los RSH corresponden a residuos asimilables a residuos sólidos urbanos. Entre el 10 al 25 % presentan algún tipo de peligrosidad, dentro de éstos menos de un 10 % son infecciosos. El porcentaje de infecciosos puede ser mayor en los casos en que no exista una correcta segregación.

1.2 Riesgos Asociados con los RSH

Los riesgos asociados a los RSH son función del tipo de peligrosidad de los mismos y del tipo de manejo, lo cual pude provocar distintos grados de exposición. Si bien los RSH incluyen varios tipos de peligros, el mayor riesgo está relacionado con los residuos infecciosos, los cuales pueden contener una gran variedad de agentes transmisores de enfermedades. Hoy en día han surgido mayores preocupaciones asociadas al SIDA, Hepatitis B y C, infecciones de la piel y respiratorias. En menor grado aparecen los riesgos vinculados a los residuos conteniendo productos citostáticos y radiactivos.

Las personas con mayor riesgo de afectación son los propios trabajadores de los establecimientos de salud (especialmente los enfermeros y el personal de limpieza), los trabajadores que manipulan los desechos fuera del hospital y los segregadores o hurgadores en caso que los RSH sean dispuestos junto con los residuos sólidos urbanos, lo que corresponde a una práctica inadecuada. Es muy poco probable que las personas afectadas sean los pacientes o el público en general.

Una de las principales causas de accidentes vinculados a los RSH son las lesiones con objetos punzocortantes del personal hospitalario de limpieza y del personal que maneja los residuos sólidos. Un estudio realizado en México indica que el 75 % de los accidentes relacionados a los residuos infecciosos es causado por pinchaduras con agujas, 11 % por cortaduras, 12 % por salpicaduras y 2 % por otras causas. La inadecuada segregación y el almacenamiento inadecuado de los objetos punzocortantes son la principal causa de accidentes.

Otros riesgos vinculados a los RSH están asociados al tratamiento de los residuos en unidades inapropiadas como es el caso de algunos incineradores ubicados en los propios centros de atención, los cuales generan emisiones gaseosas tóxicas que afectan la salud y el medio ambiente.

1.3 Gestión de los RSH

La gestión de los RSH incluye el conjunto de actividades que se desarrollan desde el momento en que se generan los residuos hasta su tratamiento y disposición final.

Como en todo sistema de gestión de residuos se deberá contemplar en primera instancia la minimización de generación y las alternativas de reuso o reciclaje, si bien estas últimas tienen posibilidades muy limitadas.

La gestión de RSH se puede dividir en dos etapas:

- ➔ *manejo interno*
- ➔ *manejo externo*

El **manejo interno** comprende a todas las operaciones que se realizan al interior del centro de atención de salud y tiene como objetivo garantizar un manejo seguro de los RSH. El manejo interno comprende las siguientes operaciones:

- ➔ *Segregación, envasado y etiquetado*
- ➔ *Manipulación*
- ➔ *Almacenamiento transitorio*
- ➔ *Almacenamiento temporal*

El **manejo externo** se refiere a las operaciones efectuadas fuera del centro de atención de salud, incluyendo las que realizan las empresas encargadas del transporte externo, el tratamiento y la disposición final. El manejo externo comprende las siguientes operaciones:

- ➔ *Recolección y transporte externo*
- ➔ *Tratamiento*
- ➔ *Disposición final*

En algunos casos los centros de atención a la salud cuentan con plantas de tratamiento de residuos ubicadas en el propio establecimiento, de todos modos se requiere transportar y disponer los residuos generados en el tratamiento.

Segregación, envasado y etiquetado

La segregación de residuos es la clave en el sistema de gestión y tendrá repercusiones tanto en los riesgos posteriores como en los costos de tratamiento.

Es importante que el personal esté capacitado para realizar una correcta segregación de acuerdo a los criterios de clasificación establecidos en el centro de atención de salud, así como contar con los recursos materiales necesarios para la implementación.

El centro deberá contar con contenedores claramente diferenciados para cada una de las corrientes de residuos previamente establecidas, los que contarán con símbolos y leyendas alertando del riesgo que representan.

Generalmente se utilizan bolsas plásticas de diferentes colores para los distintos tipos de residuos y recipientes rígidos especiales para los residuos punzocortantes. En caso de tratarse de residuos infecciosos las bolsas y recipientes lucirán el pictograma universal de riesgo biológico.

A continuación se presenta un ejemplo de colores de bolsas para diferentes corrientes de residuos.

Color de bolsas	Tipo de RSH
amarillas	infecciosos
marrones	farmacéuticos y químicos
negras	comunes o asimilados a urbanos

Las bolsas tendrán un espesor mínimo que garantice su integridad durante todos los pasos hasta el ingreso al sistema de tratamiento.

Las bolsas podrán suspenderse dentro de una estructura con tapa o bien colocarse en un recipiente rígido, el extremo de la bolsa se doblará sobre el reborde del recipiente que debe tener una tapa.

Manipulación

Los centros deberán contar con un programa de recolección y transporte interno de los residuos que incluya los siguientes aspectos:

- *Frecuencias y horarios de recolección.*
- *Rutas de circulación de recorridos cortos, evitando zonas de alto riesgo.*
- *Utilizar medios de carga, diseñados de forma que puedan ser desinfectados periódicamente y estén debidamente señalizados.*

El personal encargado de la manipulación deberá usar ropa e implementos de protección personal que minimicen los riesgos de exposición.

Previo al transporte interno, las bolsas y recipientes de residuos deberán ser selladas. El uso de ductos no es recomendado en atención al riesgo de rotura de las bolsas y dispersión de los residuos.

Los residuos serán transportados hacia los lugares establecidos de acuerdo a la clasificación correspondiente.

Almacenamiento transitorio

Los diferentes tipos de residuos contarán con lugares establecidos para su almacenamiento transitorio, a la espera de su transporte hacia los lugares de tratamiento o disposición final. Los locales de almacenamiento temporal deben estar lo más alejado posible de las salas del hospital, pudiendo estar en la misma zona, pero debidamente separados para evitar contacto entre las diferentes corrientes.

El lugar de almacenamiento deberá estar estratégicamente ubicado, tener fácil acceso tanto para el trasporte interno, como para el ingreso y maniobra de los vehículos de transporte externo. El área estará techada, cercada, iluminada, ventilada y contará con pisos que permitan la correcta limpieza y desinfección.

El local debe contar con carteles luciendo leyendas y pictograma universal de riesgo infeccioso y se mantendrá cerrado para evitar el ingreso de personas ajenas a la manipulación de los residuos.

Las frecuencias de recolección no deberían ser menores a tres veces por semana, de lo contrario, dependiendo de las condiciones del lugar, podría ser necesario contar con cámaras refrigeradas.

Transporte externo

En la mayoría de los casos las etapas de tratamiento y disposición final son llevadas a cabo en sitios centralizados fuera del centro de atención a la salud. A esos efectos se utilizarán vehículos especialmente diseñados para albergar y preservar la carga de RSH.

Los vehículos deben poseer caja de carga rígida, completamente cerrada, impermeable, revestida internamente con acero inoxidable o aluminio para proporcionar una superficie lisa e impermeable. Se deben utilizar ángulos sanitarios para facilitar el lavado y desinfección. Deben estar provistos de una puerta con llave y un sistema de ventilación.

El vehículo debe estar debidamente señalizado con leyendas y simbología alusiva a la carga trasportada en tamaño perfectamente visible.

En función de las condiciones climáticas y de los tiempos de permanencia de los RSH a lo largo de los circuitos de recolección hasta llegar a destino, se podrán requerir de sistemas de enfriamiento en las cajas de los vehículos.

El personal debe contar con la indumentaria, los elementos de higiene y protección personal correspondientes.

Los vehículos deben ser lavados y desinfectados después de cada descarga y antes de abandonar las instalaciones de tratamiento.

Se debe contar con un plan de contingencia para derrames. El personal debe estar entrenado y el vehículo debe disponer de los materiales necesarios.

Se recomienda implementar sistemas de control de las operaciones, mediante el uso de recibos, hojas de ruta y partes diarios que acompañen en todo momento el vehículo y la carga, según los casos. Tales documentos deberán permitir identificar y acreditar el origen, la cantidad y el destino de los residuos, la fecha y hora del retiro y la entrega de los mismos, y todo otro dato relevante para el servicio.

Tratamiento

Como cualquier tratamiento de residuos peligrosos, el objetivo que se persigue es la reducción de la peligrosidad y volumen de los residuos de una manera ambientalmente adecuada, generando un residuo que pueda ser manejado y dispuesto sin riesgos para la salud o el ambiente.

En el caso de los RSH, en particular para los infecciosos, se deberán seleccionar tecnologías de tratamiento que permitan eliminar en forma eficiente los agentes infecciosos presentes en los distintos componentes de los residuos en todas sus formas.

Por razones estéticas, religiosas o culturales también deberán dejarse en forma irreconocible las partes anatómicas que suelen estar presentes en los RSH. Adicionalmente, el tratamiento debe garantizar que no sea posible la inadecuada reutilización de los artículos reciclables.

La tecnología seleccionada debe ser segura, de fácil operación y mantenimiento, permitiendo además la implementación de mecanismos de control que garanticen la eficiencia del tratamiento.

Los sistemas de tratamiento más comúnmente empleados para los RSH infecciosos son: el **autoclavado** y la **incineración**.

El resto de los RSH peligrosos deberán ser tratados de acuerdo a su peligrosidad en plantas de tratamiento de residuos peligrosos. Dentro de este grupo están los residuos químicos, medicamentos y radiactivos.

La incineración es una tecnología apropiada para el tratamiento de muchos residuos químicos y medicamentos, no así el autoclavado que sólo se limita a los RSH infecciosos.

Para los RSH infecciosos existen además otras alternativas tecnológicas como el tratamiento por **microondas**, la **irradiación** y la **desinfección química**, los cuales presentan algunas limitaciones.

Los fármacos citotóxicos deben ser quemados o degradados químicamente.

La mayoría de los residuos radiactivos que se generan en los centros de atención a la salud son los denominados residuos radiactivos de transición, es decir de bajo nivel de radiactividad y vida media corta, que se desintegran durante el período de almacenamiento temporal, pudiendo a continuación ser gestionados como residuos no radiactivos. Para el caso de los materiales que no tengan estas características se deberán seguir las pautas establecidas por los organismos rectores en materia de energía nuclear.

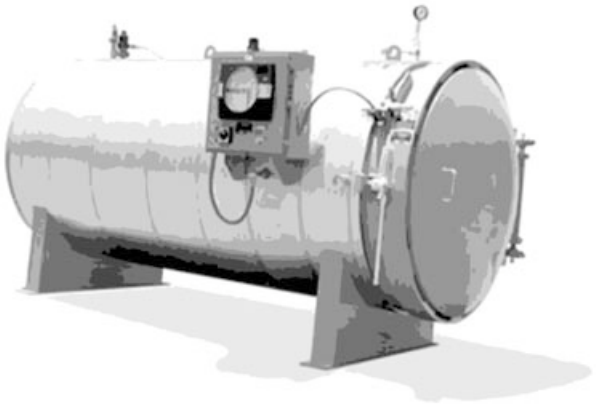
Los envases presurizados deben enterrarse o devolverse al fabricante, no debiendo ser ingresados a sistemas de incineración.

Un inadecuado diseño u operación de los sistemas de tratamiento pueden generar problemas de salud y de contaminación ambiental, por lo que resulta clave realizar una correcta selección de la tecnología y del proveedor del equipo, así como contar con un programa de operación y control, con especial énfasis en la capacitación del personal.

Al seleccionar una alternativa de tratamiento es necesario, además de los estudios técnicos, económicos y ambientales, considerar las condiciones que establece la legislación nacional en la materia y muy especialmente la eventual oposición pública a algunas de las alternativas.

Esterilización por autoclavado

A nivel internacional se reconoce a la esterilización por autoclavado como una de las mejores tecnologías disponibles para el procesamiento de RSH infecciosos.



El calor húmedo provoca la destrucción de todas las formas de vida, incluido los virus, si se mantienen ciertas condiciones de presión y temperatura por un determinado período de tiempo.

El proceso se realiza dentro de un recinto sellado herméticamente en el cual se inyecta vapor, previa extracción del aire presente por desplazamiento o por vacío. Los tiempos requeridos van desde los 15 a 45 minutos para rangos de 130 a 160 ºC y presiones de 2 a 6 kg/cm^2 hasta más de 90 minutos para 121 ºC y presiones de 1.1 kg/cm^2.

En el tratamiento se elimina la peligrosidad de estos residuos por lo que se transforman en residuos asimilables a residuos urbanos y pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios. Sin embargo los sólidos tratados permanecen reconocibles después del tratamiento, por lo que en algunos casos se requiere de una etapa posterior, en la que los residuos son triturados antes de su disposición final en rellenos sanitarios. La reducción del volumen oscila entre 30 y 40 %.

Para el control de la esterilización se utilizan ampollas de esporas del *Bacillus Stearothermophilus*, las cuales se consideran las formas más resistentes a la temperatura.

Ventajas:

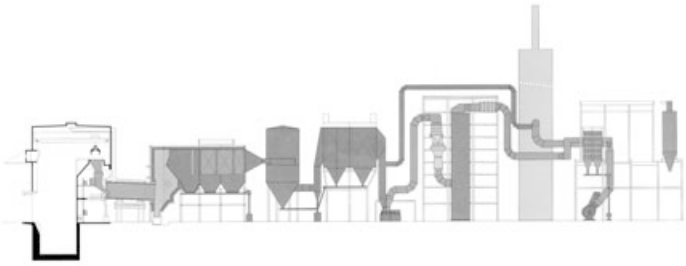
- *Costos de inversión y operación relativamente bajos.*
- *Equipos simples y fáciles de operar.*
- *Existen equipos para un amplio rango de capacidades.*
- *Alto grado de efectividad.*
- *Muy fácil de controlar.*
- *Tecnología ampliamente probada.*
- *Los residuos tratados se pueden disponer junto con los urbanos.*

Desventajas:

- *No reduce significativamente el volumen de los residuos.*
- *Puede generar aerosoles conteniendo productos químicos y agentes patógenos.*
- *Proceso discontinuo.*
- *Puede requerir trituración posterior.*
- *Se requiere de equipamiento adicional para el suministro de vapor.*

Incineración

En la incineración se destruyen los compuestos orgánicos a través de la combustión a altas temperaturas, produciéndose la oxidación de la materia orgánica a dióxido de carbono, agua y otros productos secundarios de la reacción, generándose además un residuo sólido (cenizas y escorias constituidas por el material no combustible).



Los incineradores modernos están equipados con una cámara primaria y otra secundaria de combustión, provistas de quemadores, capaces de alcanzar la combustión completa de los residuos. En la cámara de combustión secundaria se alcanzan temperaturas de alrededor de 1.200 °C y se opera con un tiempo de residencia de gases de al menos dos segundos. Se requiere de complejos sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas compuestos por enfriadores, torres de lavado, ciclones y filtros.

El mayor cuestionamiento que se le hace a esta tecnología es la generación de dioxinas y furanos durante el proceso, las cuales son emitidas a la atmósfera. A efectos de minimizar las emisiones de estas sustancias altamente tóxicas, es necesario reducir el contenido de cloro en los residuos, realizar un adecuado acondicionamiento térmico de los gases luego de la combustión y emplear filtros para la retención de estos productos.

Esta tecnología permite tratar la mayoría de los residuos sólidos peligrosos, incluyendo residuos químicos y de medicamentos, pero no los desechos radiactivos ni los contenedores presurizados.

Ventajas:

- *Destruye todo tipo de materia orgánica, siendo altamente efectivos para los agentes infecciosos.*
- *La reducción del volumen es del orden del 90 %.*
- *Los restos son irreconocibles y no reciclables*
- *Es posible el tratamiento de residuos químicos y de medicamentos.*
- *Tecnología ampliamente probada.*

Desventajas:

- *El costo es hasta 3 veces el correspondiente a otras tecnologías.*
- *Alto costo de funcionamiento.*
- *Mantenimiento complejo y costoso.*
- *Requiere de personal altamente especializado.*
- *Potencial generador de emisiones de sustancias tóxicas a la atmósfera.*
- *Se generan cenizas que pueden requerir una disposición especial.*

Tratamiento por microondas

Consiste en impulsar a los residuos, previamente triturados y rociados con vapor, a través de una cámara donde son expuestos a microondas hasta alcanzar una temperatura en el rango de 95 a 100 °C, durante un tiempo de 30 minutos. Las microondas son radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia, 2.450 MHz y longitud de onda de 12,24 cm.

Las radiaciones electromagnéticas producen vibraciones a nivel de las moléculas de agua, las que constituyen una fuente de emisión de calor, haciendo de esta forma aumentar la temperatura de la masa de residuos y mantener las condiciones uniformes dentro de la misma.

La reducción del volumen de los residuos es del orden del 60 %.

Existen pequeños hornos, similares a los de uso doméstico, que se utilizan para el tratamiento de pequeñas cantidades de residuos de laboratorios. Los objetos punzocortantes no deben ser tratados en estos hornos ya que los metales provocan descargas eléctricas con las paredes equipo.

Ventajas:

- *Bajo consumo de energía.*
- *Deja irreconocibles los residuos.*
- *De desarrollo compacto.*
- *Proceso continuo.*

Desventajas:

- *Problemas mecánicos en la trituración previa.*
- *No se destruyen todos los parásitos ni bacterias esporuladas.*
- *Se requiere de personal capacitado.*
- *Posible liberación de radiaciones sobre los operarios.*
- *No es apropiado para punzocortantes, ni residuos que contengan componentes metálicas.*
- *Puede emitir aerosoles conteniendo productos orgánicos peligrosos.*

Desinfección por irradiación

Esta tecnología consiste en la destrucción de los agentes infecciosos presentes en los RSH mediante su exposición a radiaciones ionizantes. Una fuente utilizada es el Cobalto 60.

La utilización de radiaciones ionizantes requiere estructuras físicas especialmente diseñadas y mantenidas para el manejo de la fuente radiactiva, además de estrictas medidas de operación, a efectos de minimizar los riesgos de exposición del personal a sustancias radiactivas. Por esta razón no es una tecnología muy recomendable para lugares donde no se puedan cumplir estas condiciones.

A efectos de mejorar la eficacia es recomendada la molienda previa de los residuos. La reducción del volumen es del orden del 60 %.

Ventajas

- *Alto grado de efectividad.*
- *Proceso limpio y contaminación mínima.*

Desventajas

- *Riesgo de exposición del personal a las radiaciones.*
- *Tecnología compleja.*
- *Requiere instalaciones especiales para el manejo de radiaciones.*
- *Se necesita personal altamente especializado*
- *La fuente de irradiación constituye un futuro residuo radiactivo.*
- *Proceso discontinuo*

Desinfección química

Esta tecnología consiste en someter a los residuos previamente triturados a un proceso de contacto con productos químicos desinfectantes, durante un determinado tiempo de exposición, el cual será función del desinfectante utilizado, su concentración y el tipo de mezcla.

Los desinfectantes más utilizados son el dióxido de cloro, hipoclorito de cloro, óxido de etileno, compuestos de amonio cuaternario y formaldehído.

Los desinfectantes pueden no inactivar a organismos tales como esporas, algunos hongos y virus, pudiendo ser ineficaces contra cepas de patógenos que son resistentes a un químico determinado.

Los líquidos resultantes sobre el final del tratamiento, incluyendo cualquier vestigio de desinfectante, son volcados a la red de alcantarillado previo tratamiento, mientras que los residuos sólidos tratados pueden ser dispuestos en relleno sanitario.

Ventajas:

- *Bajo costo*
- *Operación sencilla*
- *Puede ser realizada en la fuente de generación*

Desventajas:

- *Los desinfectantes utilizados son generalmente sustancias tóxicas, por los que se requieren cuidados especiales en su manipulación.*
- *La eficiencia de destrucción puede ser baja en el caso de algunos agentes infecciosos.*
- *Las probabilidades de desinfectar químicamente el interior de una aguja o jeringa son muy bajas.*
- *No reduce el volumen.*
- *Se generan efluentes líquidos que pueden requerir tratamiento previo al vertido.*

Disposición final

Si los RSH han sido tratados adecuadamente, pueden ser asimilados a residuos urbanos comunes y ser dispuestos en rellenos sanitarios, los cuales son operados con cobertura diaria.

En el caso de utilizarse la incineración, las cenizas pueden requerir de una disposición especial.

1.4 Referencias

Guía para el manejo interno de residuos sólidos de centros de atención de salud. OPS/CEPIS, 1996.

Manejo de residuos en centros de atención de salud. Gladys Monge, CEPIS, 1997.

Manual para técnicos e inspectores de saneamiento, Programa Regional de Desechos Sólidos Hospitalarios ALA 91/33, 1998.

Directrices técnicas sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos biomédicos y sanitarios. Secretaría del Convenio de Basilea, 2003.

2. Neumáticos Usados

La estructura del neumático está formada en la parte interior por láminas de caucho, una malla de acero y/o textil y una capa exterior de caucho macizo moldeado, que constituye la banda de rodadura. Esta banda es la que va en contacto con la superficie del camino, tiene una alta resistencia al desgaste y a través de su diseño proporciona las características de tracción, frenado y adherencia.

Durante el uso se produce un desgaste de la banda de rodadura, volviendo insegura la conducción, por lo que el neumático debe ser cambiado. Generalmente los fabricantes de neumáticos recomiendan como mínimo 3 mm de profundidad de dibujo o huella para garantizar la seguridad del vehículo. Con ese mismo objetivo, en algunos países existen normas de seguridad de tránsito que establecen la profundidad mínima de dibujo o huella en 1.6 mm. Esta es la razón por la cual existe un significativo mercado mundial de neumáticos usados, hacia aquellos países que no cuentan con este tipo de normas.

2.1 Composición de los Neumáticos y Principales Fuentes

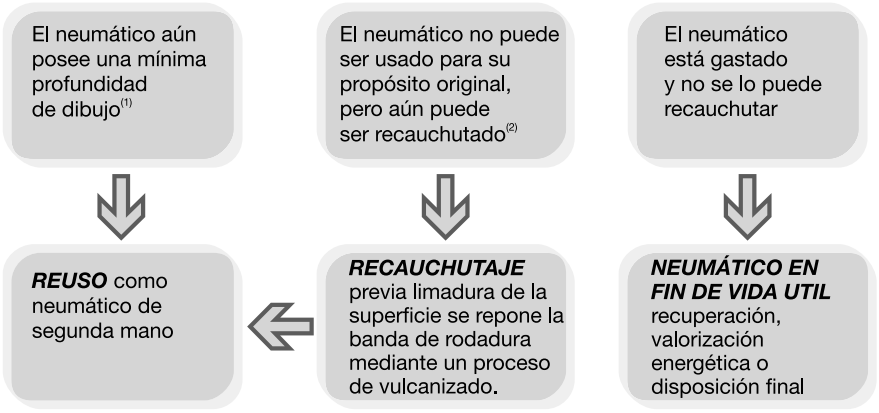
Dependiendo del uso y del tamaño, los neumáticos varían en tamaño y diseño, sin embargo la composición de los productos de los distintos fabricantes es muy similar. En la siguiente tabla se presenta un resumen de las principales características de los neumáticos usados en autos y camiones.

Composición	Caucho 45-47 %
	Negro de carbono 21,5- 22 %
	Acero 16,5 - 25 %
	Textil 5,5 % (solo para autos)
	Oxido de cinc 1-2 %
	Azufre 1 %
	Aditivos 5 - 7,5 %
Metales pesados presentes	Cantidades trazas de cobre, cadmio y plomo
Alto poder calorífico	32 -34 MJ/Kg (1Ton es equivalente a 0,7 Ton Fuel oil)
Temperatura de auto-ignición	400 ºC
Peso	Entre 6,5 - 11 Kg (vehículos livianos) Entre 50 - 80 Kg (camiones)

2.2 Generación del Residuo

Generalmente los neumáticos tienen una vida útil de 50.000 Km, aunque esto depende en gran medida del mantenimiento del vehículo y del estado de las rutas por las que transita. Los fabricantes de neumáticos han realizado esfuerzos logrando extender la vida útil a más de 100.000 km en algunos casos.

Dependiendo de las propiedades del neumático usado se pueden establecer tres diferentes categorías, de acuerdo al uso o tratamiento que posteriormente se le pueda dar:



Notas:

(1): la profundidad mínima del dibujo está regulada en muchos países por las normas de seguridad de tránsito, dependiendo de esta especificación los neumáticos se comercializan como de segunda mano o se exportan para usarse en países sin especificaciones o con especificaciones menos exigentes.

(2): los neumáticos de camiones se fabrican para ser recauchutados y conforman cerca del 40% de los recambios de neumáticos de los camiones. En el caso de vehículos más pesados como equipamiento para movimiento de tierra, el recambio es tan caro que se llegan a recauchutar hasta 3 veces.

Los neumáticos usados deben ser considerados como residuos especiales debido al gran volumen que ocupan, al difícil manejo y por tratarse de un residuo de generación masiva, con puntos de generación muy dispersos.

Los vertederos de residuos urbanos tienden a no recibir neumáticos enteros debido al gran volumen que ocupan, a su tendencia a subir a la superficie cuando se procede a la compactación de los residuos y a su lenta degradación natural, la cual supera los 100 años.

2.3 Impactos en la Salud y el Medio Ambiente

De acuerdo a ensayos de lixiviación realizados con neumáticos usados granulados, se concluye que los lixiviados no presentan características de peligrosidad, por lo que podrían ser dispuestos en el terreno sin generar problemas de contaminación por lixiviación de productos tóxicos.

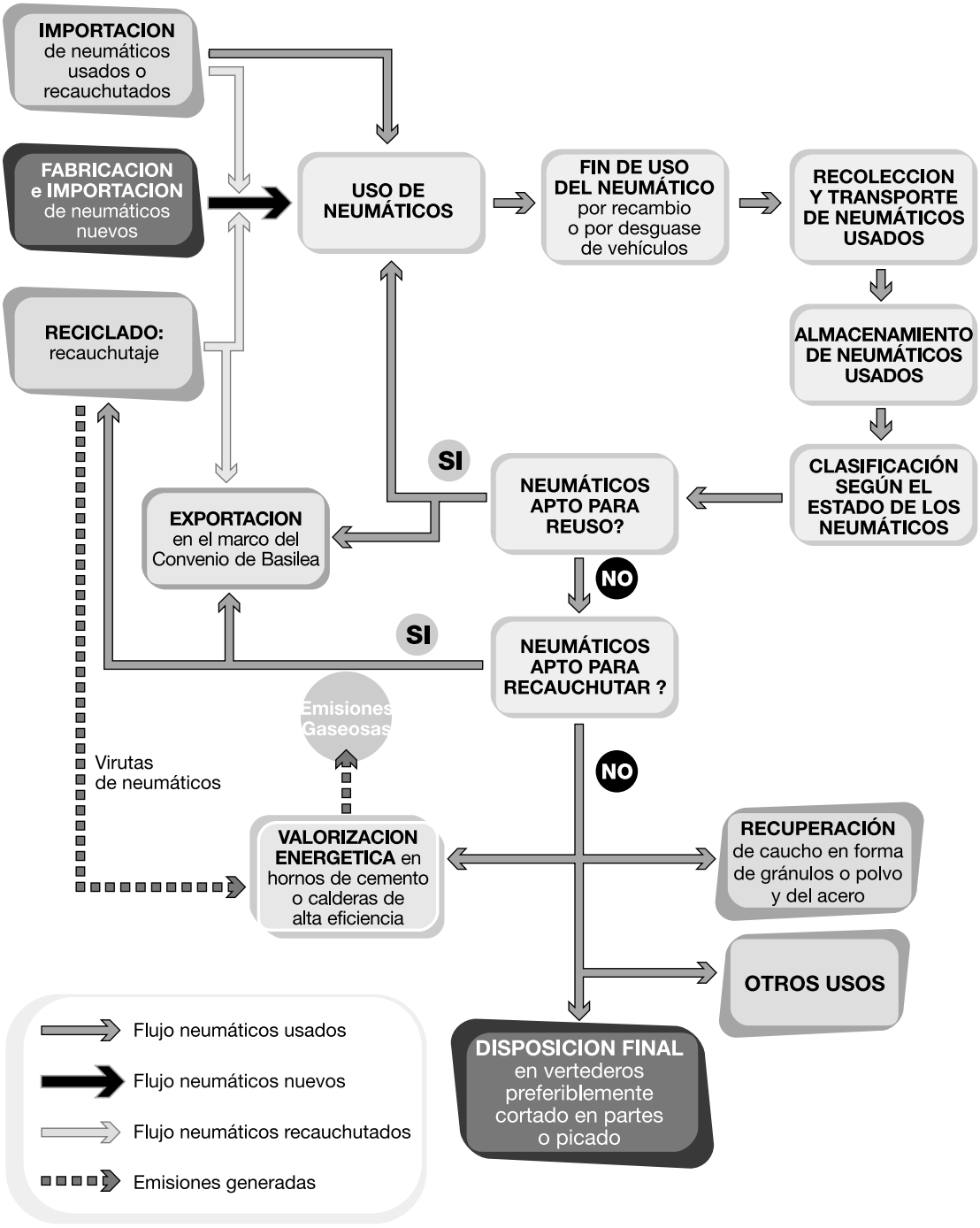
Sin embargo el almacenamiento y la disposición final de neumáticos usados en el terreno o en vertederos representa los siguientes riesgos para la salud y el medio ambiente:

- *La transmisión de enfermedades al hombre por los insectos, que encuentran en el agua de lluvia estancada en los neumáticos por largos períodos un hábitat apto para crecer y multiplicarse, como es el caso de la proliferación del mosquito del Dengue. El riesgo se ve acentuado en las zonas de clima sub-tropical y tropical.*

➔ *La quema incontrolada a cielo abierto, que produce emisiones gaseosas con altos niveles de monóxido de carbono e hidrocarburos poli-aromáticos, además de que los restos orgánicos que quedan depositados en el suelo pueden afectar la flora y fauna.*

2.4 Alternativas de Gestión Integral

De acuerdo al análisis de ciclo de vida de los neumáticos y de las alternativas disponibles de reciclado, reutilización y valorización energética de los neumáticos usados, se representa en el siguiente esquema un sistema de gestión integrado:



En la siguiente tabla se presentan, para cada fase del ciclo de vida de los neumáticos usados, las prácticas más ampliamente utilizadas y recomendaciones para la gestión ambientalmente adecuada de los mismos.

Fase del ciclo de vida de los neumáticos	Prácticas y recomendaciones
Fabricación	Se deben hacer esfuerzos en mejorar el diseño y aumentar la vida útil de los neumáticos.
Recolección y Transporte	Para la recolección existen varias alternativas: • Un sistema libre donde el poseedor del neumático sea el responsable de la eliminación del residuo, debiéndolo entregar a un gestor autorizado haciéndose cargo de los gastos de la eliminación. • El fabricante de neumáticos asume la obligación de la correcta gestión de los residuos que se generan tras el uso, haciéndose cargo de los mismos, entregándolos a gestores autorizados y financiando todo el proceso. • Legislaciones de algunos países obligan al usuario a la devolución del neumático cuando adquieren uno nuevo. • En algunos casos, las municipalidades subsidian el sistema de recolección. Los transportistas deben estar registrados y la carga se debe acondicionar para prevenir vuelcos durante el transporte.
Almacenamiento	Generalmente se establecen límites máximos de tiempo y/o volumen almacenado a partir del cual es obligatorio tener la habilitación de la autoridad competente (por ejemplo en volumen comúnmente se establece el límite de 1000 neumáticos). El almacenamiento tiene que estar directamente vinculado con la actividad de reciclado o valorización energética, para evitar que se convierta en un vertedero. El diseño de un almacenamiento puede ser similar a una playa de estacionamiento y debe contar con dimensiones adecuadas, medidas para control de fuego y control de ingreso de terceros.
Exportación - Importación	Los neumáticos que aún tienen vida útil o estén en condiciones para ser recauchutados, pueden ser exportados a un país que acepte su ingreso. Se recomienda que el país que recibe los neumáticos usados controle este tipo de importación, verificando que el destino sea realmente el uso o el recauchutaje y no que el neumático se convierta en residuo al introducirse en el país importador.
Reciclado	Los neumáticos recauchutados pueden colocarse en el mercado interno o exportarse. En el proceso de reciclado se generan desechos como virutas o limaduras de neumáticos que pueden ser valorizadas energéticamente.
Valorización energética	La utilización de neumáticos usados como combustible alternativo en hornos de cemento, calderas de producción de pulpa de papel y centrales térmicas es ambientalmente segura y no genera emisiones adicionales de dióxido de azufre u óxidos de nitrógeno, siempre y cuando cuenten con apropiados sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas. De todas maneras, se debe realizar el monitoreo de las emisiones gaseosas con y sin sustitución de combustible para verificar el correcto funcionamiento.
Recuperación de materiales para ser utilizados en otros usos	Es la forma más ecológica de valorización. El acero entra en el mercado de recuperación de metales. El caucho se tritura y dependiendo del tamaño de partícula se utiliza como aglomerante betún-caucho o para usos diversos.
Otros usos	También se pueden utilizar enteros en arrecifes, muelles, terraplenes, en muros, como barreras acústicas, como barreras contra choques en las carreteras, para controlar la erosión, como drenajes (troceados), colchones para ganado (gránulos sueltos).
Disposición final	Es la opción menos deseada, de todos modos cuando no existen opciones de reciclado o valorización se deben disponer en rellenos sanitarios. Previo a la disposición es preferible que los neumáticos sean picados o al menos cortados en partes, de forma de disminuir el volumen, no generar problemas de compactación y minimizar el riesgo de transmisión de vectores. El neumático picado puede ser utilizado como material base del relleno. Muchos países desarrollados han establecido fechas límites para la disposición de neumáticos enteros en rellenos sanitarios.

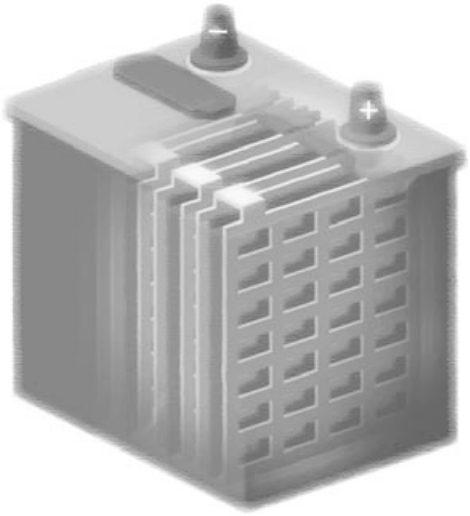
2.5 Referencias

Life cycle assessment of a car tyre. Continental AG, Germany, 2002.

Plan Nacional de neumáticos fuera de uso 2001-2006, Secretaría General de Medio Ambiente de España, BOE Núm. 260, 2001.

State scrap tyre program. A quick referente guide. US EPA, Solid Waste and Emergency Response, 1999. ***www.epa.gov***

Technical guidelines on the identification and management of used tyres. Secretariat of Basel Convention, 2000. ***www.basel.int***



3. Baterías Plomo - Ácido

Un **acumulador eléctrico o batería** es un dispositivo que permite, mediante un proceso electroquímico, almacenar la energía eléctrica en forma de energía química y liberarla cuando se conecta con un circuito de consumo externo. Las reacciones químicas que tienen lugar son reversibles y pueden ser recargadas cuando se conectan los terminales a una fuente de energía externa, pero con polaridad invertida.

La **batería de plomo** suministra energía a través de las reacciones químicas de oxidación de plomo metálico a sulfato de plomo que ocurre en el ánodo y la reducción de óxido de plomo a sulfato de plomo que ocurre en el cátodo, utilizando un conductor iónico al que se le denomina electrolito. Mientras la batería se descarga se forma sulfato de plomo en ambos electrodos, cuando se recarga se invierten las reacciones y el sulfato de plomo se transforma nuevamente en plomo y óxido de plomo.

El **electrolito** es una solución de ácido sulfúrico diluida al 36% (400 g de ácido sulfúrico por litro de agua destilada). En algunas baterías, sobre todas las de bajo peso, como pueden ser las utilizadas en UPS, el electrolito se encuentra melificado.

Los componentes principales de una batería de plomo son:

- *Las placas positivas (que son láminas de plomo metálico) y las placas negativas (que son rejillas de plomo metálico recubiertas por una pasta de óxido de plomo). La reacción química que ocurre cuando interviene sólo un par de placas produce un potencial de 2V. Si se conectan varios pares de placas en serie el voltaje total del acumulador aumenta (en el caso de una batería de automóvil se conectan 6 pares en serie, produciendo un voltaje de 12V). Las placas se colocan consecutivamente y aisladas entre sí por separadores constituidos generalmente son fundas de polietileno y algunas de PVC.*
- *El contenedor o caja es generalmente de polipropileno y en algunos casos de ebonita (caucho endurecido).*
- *El electrolito, constituido por ácido sulfúrico diluido.*

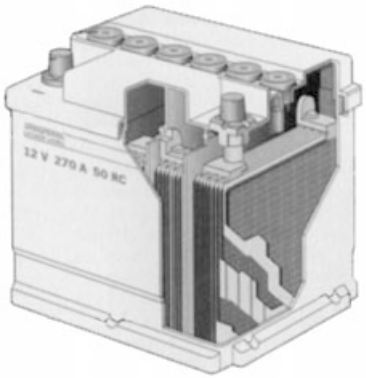
Según la aplicación, las baterías pueden clasificarse en:

- *Baterías para arranque: como son las utilizadas en automóviles, camiones, motocicletas, tractores, embarcaciones o aeronaves.*
- *Baterías de tracción: las utilizadas para transportar cargas como los montacargas, carritos de golf, transporte de equipaje en aeropuertos, automóviles eléctricos.*
- *Baterías estacionarias: que se utilizan como respaldos en sistemas de alimentación interrumpida como las telecomunicaciones, usinas eléctricas, sistemas de UPS, etc.*

Las baterías pueden tener pesos desde 0,5 Kg (como las de respaldo de alimentación interrumpida de sistemas de seguridad) hasta 10.000 Kg (como son los grandes bancos de baterías estacionarias). Las de mayor consumo en número son las baterías de automóviles que pesan generalmente entre 12 y 16 Kg.

La composición en peso promedio de los componentes de una batería de plomo nueva y una batería agotada se mantiene. El agotamiento de la batería se produce debido a que las placas se contaminan cada vez más con sulfato de plomo durante la descarga. Esto tiene como consecuencia la inhibición de las reacciones químicas que ocurren en las placas de óxido de plomo, impidiendo una nueva recarga. De esta forma el acumulador queda agotado, transformándose en un residuo. En la siguiente tabla se presentan los porcentajes típicos de los componentes de una batería.

Composición en peso de una batería nueva o agotada
65 - 75 % de Plomo (Pb, PbO_2, $PbSO_4$)
15 - 25 % Electrolito
5 % Separadores de plástico
5 % Caja de plástico



3.1 Generación del Residuo

Cuando deja de ser posible su recarga, las baterías se transforman en residuos. Existen referencias que indican que las baterías pueden llegar a tener una vida útil menor a 48 meses, sin embargo en la práctica las baterías duran de 2 a 10 años dependiendo del tipo y calidad de las baterías, así como del régimen de funcionamiento al que sean sometidas. Las baterías de arranque son las de menor vida útil.

Por tratarse de un producto de uso masivo, consumido por la población, la industria y las empresas de servicios, tanto los puntos de generación como los actores involucrados son muy diversos. Por el volumen de generación, en orden de relevancia se destacan:

1. *las estaciones de servicio y talleres de mantenimiento de vehículos*
2. *las plantas industriales*
3. *empresas de telecomunicaciones y empresas que generan, distribuyen y/o trasmiten energía (aunque la vida útil de estas baterías son de más de 5 años, los volúmenes generados en el momento de recambio de los bancos de baterías es muy significativo)*
4. *empresas instaladoras de alarmas y de servicios de mantenimiento informático*
5. *el recambio realizado por el propio usuario*

3.2 Impactos sobre la Salud y el Medio Ambiente

Las baterías poseen dos sustancias peligrosas: el **electrolito ácido** y el **plomo**. El primero, es corrosivo, tiene alto contenido de plomo disuelto y en forma de partículas y puede causar quemaduras en la piel y los ojos.

El plomo es altamente tóxico para la salud humana, ingresa al organismo por ingestión o inhalación y se transporta por la corriente sanguínea acumulándose en todos los órganos, especialmente en los huesos. La exposición prolongada al plomo puede provocar:

- *Anemia, que es uno de los primeros efectos*
- *Afectación del sistema nervioso central, cuyos efectos van desde sutiles cambios psicológicos y de comportamiento hasta graves efectos neurológicos, siendo los niños la población con más riesgo de afectación.*

El mal manejo de las baterías usadas puede dispersar o transportar el plomo de la batería a los distintos compartimentos del ambiente, ingresando al organismo por distintas vías.

La fundición de plomo por recolectores informales, incluso en su propia vivienda, genera contaminación por plomo en el aire y el suelo, afectando fundamentalmente la salud de operador, la su familia y los vecinos. Por otro lado, la fundición de plomo en hornos industriales sin sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas genera contaminación por plomo.

La disposición inadecuada de las escorias que se generan en la fundición es otra potencial fuente de contaminación de suelo y agua.

3.3 Alternativas de Gestión de la Batería Usada

Al final de su vida útil la batería contiene la misma cantidad de plomo que el producto nuevo. Por esta razón la batería usada adquiere un valor comercial significativo ya que es posible reciclar el plomo a través de un proceso de fundición.

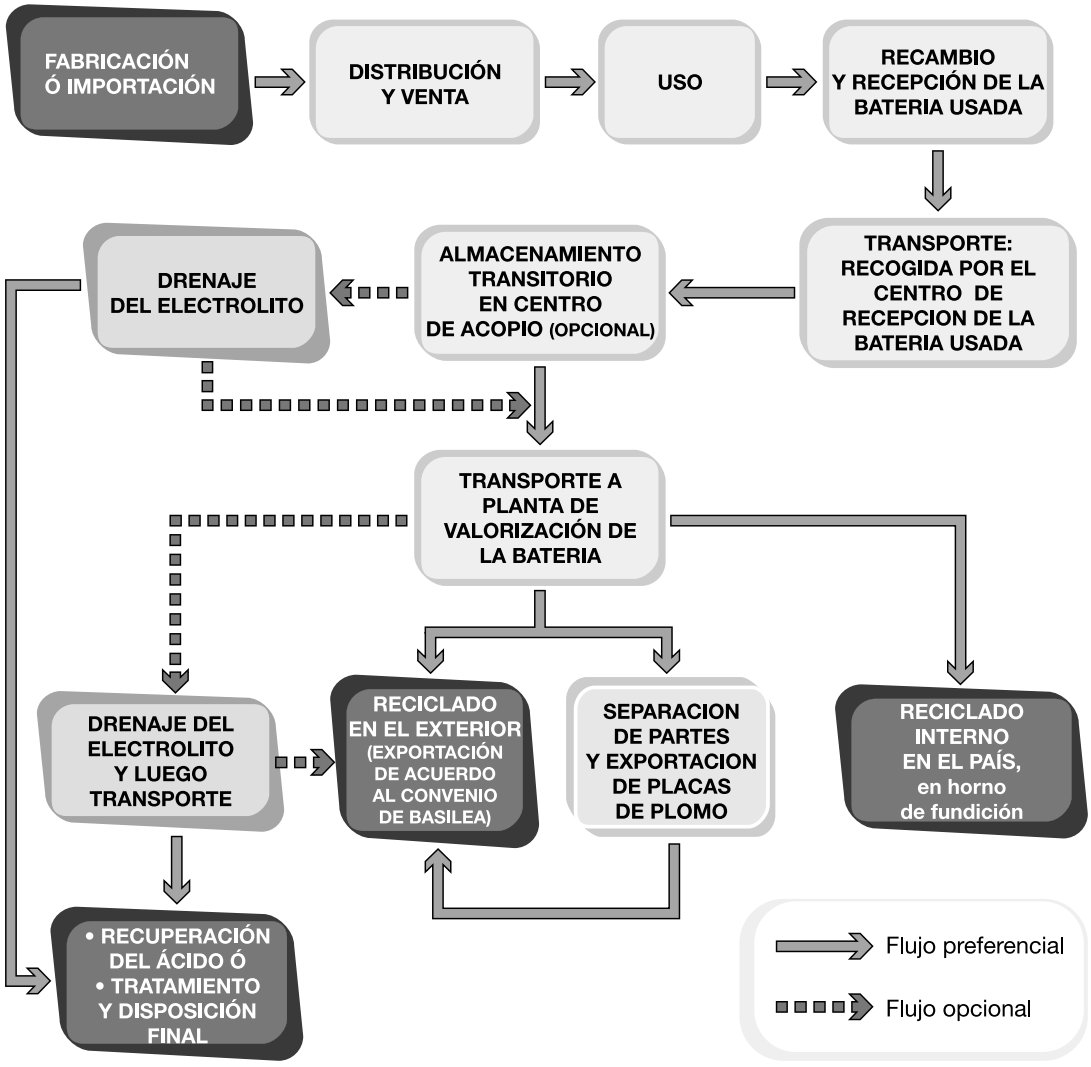
A efectos de recuperar el plomo en forma ambientalmente adecuada es esencial que exista un sistema de gestión formal, que contemple todos los pasos desde que la batería se convierte en residuo hasta el proceso de fundición.

Los principales beneficios de contar con un sistema de gestión formal son:

- ➔ *Evitar el vertido del electrolito, que además de ser muy corrosivo contiene alta concentración de plomo disuelto y en forma de partículas que contaminan el suelo y las aguas.*
- ➔ *Evitar que se recupere el plomo en fundiciones no autorizadas, con tecnologías no adecuadas ambientalmente, provocando contaminación del suelo de la instalación y del aire por la emisión gaseosa de plomo con importantes consecuencias sobre la salud.*

Las diferentes etapas involucradas en la gestión, que se inicia con la recepción de las baterías usadas en los centros de recepción hasta la etapa final de reciclado, presentan riesgos de contaminación si no se realizan de forma adecuada, contando con la infraestructura necesaria y con la tecnología de fundición adecuada, provista de sistemas de tratamiento de emisiones requeridos.

En el siguiente diagrama se muestra el ciclo de vida de las baterías integrado a un sistema de gestión adecuado de las mismas.

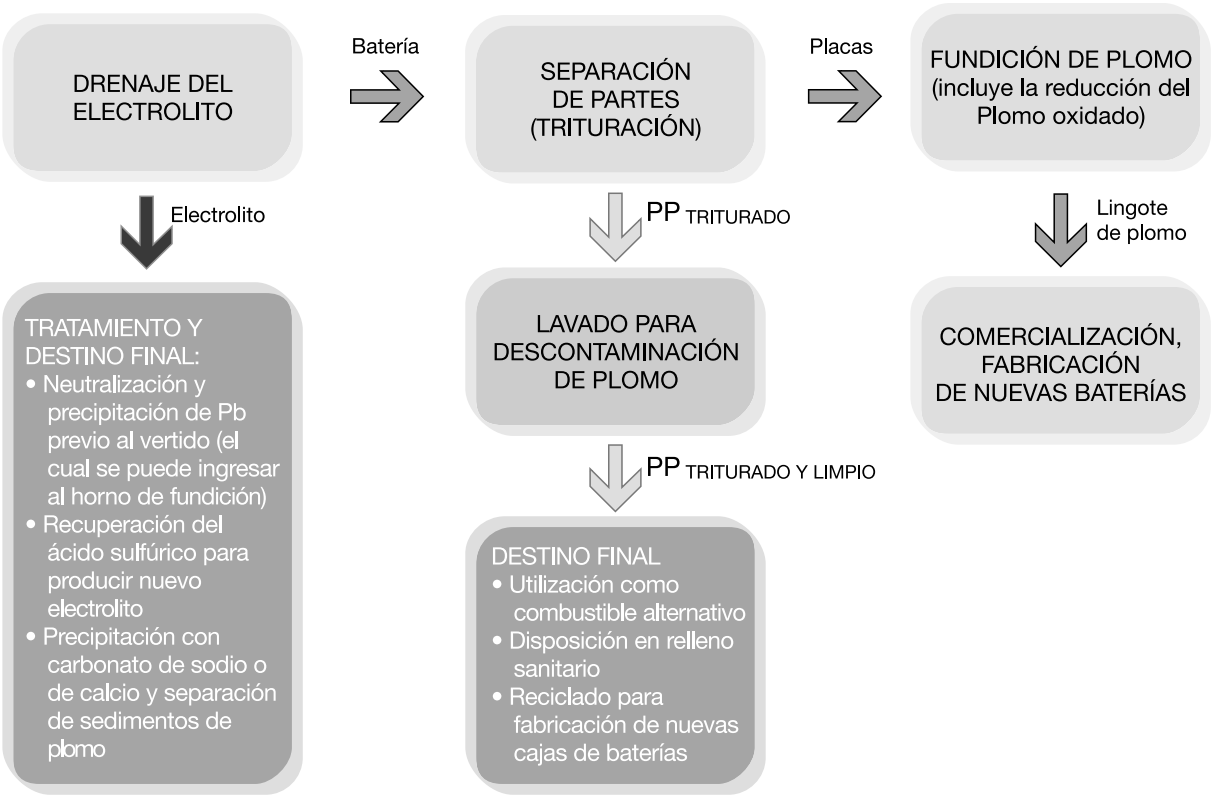


En la siguiente tabla se presentan, para cada fase de la gestión de las baterías usadas, los riesgos de contaminación asociados, así como las recomendaciones para la gestión ambientalmente adecuada de las mismas.

Fase	Riesgo de contaminación	Recomendaciones
Importación y/ ó Fabricación	Derivado del ingreso de las baterías a un sistema informal de recuperación de plomo.	➔ Los importadores o fabricantes son los que introducen las baterías en el mercado, por lo que la mayoría de las normativas los consideran responsables del residuo. En este marco, a través de su cadena de distribución, deben promover la devolución de la batería agotada por parte del cliente (ya sea mediante incentivos económicos o por concientización del cliente). Deben contar con planes que garanticen la retornabilidad de la batería, así como también alternativas para la valorización de la misma. ➔ Por otro lado, las autoridades competentes deberán coordinar con las autoridades aduaneras el control de la importación de baterías, de modo que sólo operen empresas debidamente autorizadas.
Recepción de la batería usada en los centros de ventas	Pérdidas de electrolito. Ingreso de las baterías a un sistema informal, las cuales se destinan a fundiciones de plomo ambientalmente no adecuadas dentro o fuera del país.	➔ Los centros de ventas, deben recibir las baterías usadas y contar con la infraestructura necesaria para almacenarlas en forma segura. ➔ Depositar las baterías en contenedores de plástico o sobre bandejas plásticas. ➔ No realizar el drenaje del electrolito en los centros de recepción. ➔ Los centros de recepción deben entregar baterías únicamente a los sistemas de recolección habilitados, evitando el circuito informal.
Transporte	Derrame de electrolito por vuelco de las baterías o pérdidas de electrolito.	➔ Colocar las baterías sobre pallets y envolverlos con film adherente para ajustar la carga y colocarlos sobre bandejas plásticas o dentro de contenedores plásticos sellados. ➔ El vehículo debe estar identificado con los símbolos de transporte para materiales corrosivos y peligrosos. ➔ Se deben utilizar documentos de carga. ➔ Contar con planes de contingencia y productos tales como soda o cal para neutralizar posibles derrames. ➔ Realizar el recorrido por rutas de bajo tráfico. ➔ La empresa de transporte debe contar con la autorización del organismo competente.

Centros de acopio transitorio	Derrame de electrolito por vuelco de las baterías o pérdidas de electrolito Existe un alto riesgo por robos de baterías, que se destinan a fundiciones informales dentro o fuera del país.	➔ Pisos anticorrosivos, con sistema de conducción y contención de derrames. ➔ Contar con materiales para neutralizar derrames (soda o cal). ➔ Almacenar en pallets estibados en forma segura. ➔ Contar con sistema de seguridad para evitar el ingreso de terceros. ➔ Los centros de acopio deben contar con la habilitación del organismo competente.
Reciclado - etapa de drenaje	Efluente ácido y con alto contenido de plomo.	➔ En los casos en que no se recupere el electrolito, previo al vertido del efluente, se debe neutralizar el ácido y precipitar el plomo como hidróxido de plomo. ➔ Controlar la concentración de plomo en el efluente según los estándares de emisiones que establezca la reglamentación vigente.
Reciclado - etapa de separación de partes plásticas y limpieza del plástico	Efluente ácido y con alto contenido de plomo. Residuos sólidos no valorizables como la ebonita.	➔ Tratar el agua de lavado previo al vertido del efluente, neutralizando el ácido y precipitando el plomo como hidróxido de plomo. ➔ La ebonita puede ingresar el horno de fundición como agente reductor. Si esto no es posible, se dispondrá en rellenos de seguridad o relleno sanitario, dependiendo de la eficiencia del lavado.
Reciclado - etapa de fundición	Emisiones gaseosas con plomo, material particulado (MP) y anhídrido sulfuroso (SO_2). Residuos sólidos: escoria con alto contenido de plomo. Polvo del sistema de tratamiento de gases.	➔ La salida del horno de fundición debe contar con un sistema de tratamiento para emisiones gaseosas, que retenga el MP (a donde se adhiere el plomo), como precipitadores electrostáticos para partículas grandes seguidos de filtros mangas para retención de la fracción de bajo tamaño, seguido de un lavador básico para absorber los vapores ácidos (SO_2). ➔ Por ser residuos peligrosos, las escorias se deben disponer en rellenos de seguridad. ➔ El polvo puede ingresarse nuevamente al horno de fundición. ➔ Se debe controlar la emisión de plomo, material particulado y SO_2 en boca de chimenea de acuerdo a la reglamentación vigente. En caso de no contar con legislación nacional, se recomienda usar como referencia reglamentaciones reconocidas a nivel internacional. ➔ El organismo de competencia ambiental debe autorizar y controlar la planta de fundición.
Exportación de baterías o placas de plomo		➔ La exportación se debe realizar de acuerdo al Convenio de Basilea por tratarse de residuos peligrosos.

En la separación de las partes de la batería para su reciclado se generan tres corrientes de residuos: electrolito ácido, placas de plomo y plásticos, cuyas opciones de recuperación, valorización o disposición final se esquematizan en el siguiente cuadro.



La viabilidad económica de la instalación de una planta de fundición secundaria de plomo, con los requerimientos ambientales necesarios, requiere de un mercado significativo de baterías (en el orden de dos mil toneladas por año ó más). Además de los costos de inversión y operación se deben considerar los costos del sistema de recolección.

3.4 Referencias

Decreto 373/03 sobre Gestión integral de baterías usadas de Plomo-Acido, Uruguay, 2003. ***www.dinama.gub.uy***

Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de baterías usadas y generadas por el parque automotor de Bogotá. Colombia, 2001. ***www.dama.gov.co***

Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de los acumuladores de ácido plomo de desecho. Secretaría del Convenio de Basilea, 2003. ***www.basel.int***

Proyecto Nacional de manejo ambientalmente seguro de baterías usadas de ácido-plomo en Venezuela, 2002. ***www.marnr.gov.ve***

4. Aceites Usados

La denominación **aceite usado** comprende a los aceites de origen mineral, que durante el uso perdieron sus propiedades características, volviéndose inapropiados para continuar su utilización con el mismo propósito. Comprenden a los aceites lubricantes de motores (de vehículos y máquinas industriales), los fluidos hidráulicos y de transmisión, aceites de corte, de transferencia de calor y los aceites dieléctricos provenientes de transformadores y condensadores.

Quedan excluidos del alcance de este capítulo los aceites dieléctricos que contienen más de 50 ppm de PCB, los cuales deben gestionarse en forma separada de acuerdo a su grado de contaminación.

La principal generación de aceite usado corresponde a los lubricantes para motores, los cuales cumplen la función primordial de evitar el contacto directo entre superficies metálicas con movimiento relativo, reduciendo así la fricción y sus consecuencias como son la generación de calor excesivo, el desgaste, el ruido, los golpes y la vibración.

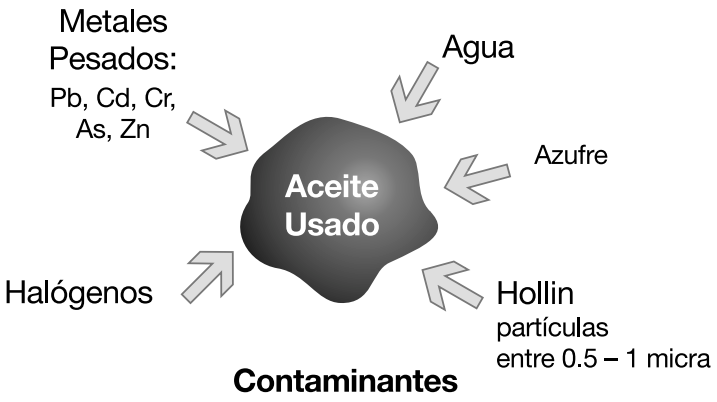
Los aceites lubricantes están constituidos por una base lubricante y una serie de aditivos. Dependiendo del uso del aceite, la base lubricante será mineral (proveniente del petróleo crudo), sintética o vegetal, siendo el uso mayoritario las bases lubricantes minerales.

En la siguiente tabla se presentan valores típicos de composición de los aceites minerales, indicando la función de los diferentes aditivos, los cuáles en términos generales permiten aumentar su rendimiento, eficiencia y vida útil.

Composición media de un aceite lubricante	
Hidrocarburos totales (85 - 75%)	
Alcanos	45-76%
Cicloalcanos	13-45%
Aromáticos	10-30%
Aditivos (15 - 25%)	
Antioxidantes	Ditiofosfatos, fenoles, aminas
Detergentes	Sulfonatos, fosfonatos, fenolatos
Anticorrosivos	Ditiofosfatos de zinc y bario, sulfonatos
Antiespumantes	Siliconas, polímeros sintéticos
Antisépticos	Alcoholes, fenoles, compuestos clorados

4.1 Composición de los Aceites Usados y Principales Fuentes

Los aceites lubricantes usados adquieren concentraciones elevadas de metales pesados como plomo, cadmio, cromo, arsénico y zinc. El origen de estos metales es principalmente el desgaste del motor o maquinaria que lubricó. Otra fuente de metales es debida al contacto con combustibles, como es el caso de la presencia de plomo proveniente de la degradación del tetraetilo de plomo de las naftas. Con frecuencia se encuentran solventes clorados tales como tricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno, provenientes del proceso de refinación del petróleo y de la reacción del aceite con compuestos halogenados de los aditivos. Otros contaminantes presentes son el azufre y hollín generados en la combustión.



La descomposición de los aceites de motor se debe especialmente a una reacción de oxidación. En todos los casos, como consecuencia de su utilización se degradan perdiendo las cualidades que les hacían operativos y se hace necesaria su sustitución, generándose un residuo que puede ser variable en cantidad y composición, dependiendo de la procedencia. En la siguiente tabla se presenta un ejemplo de la composición de contaminantes presentes en un aceite lubricante usado.

Contaminantes	Concentración (ppm)
Cadmio	1.2
Cromo	1.8
Plomo	220
Zinc	640
Cloro Total	900
PCB´s	< 2

Resultado obtenido en Uruguay, 2005

Cabe destacar que la concentración de plomo varía significativamente en función del tipo de combustible utilizado en el parque automotriz.

Los aceites lubricantes son productos de uso masivo, siendo consumido además por el sector industrial y las empresas de servicios, principalmente por empresas de transporte. Los puntos de generación,

así como los actores involucrados son muy diversos, destacándose en orden de relevancia por el volumen de generación las estaciones de servicio y talleres de mantenimiento de vehículos, seguidos por las plantas industriales. Un porcentaje menor es generado por el recambio de aceite realizado por el propio usuario. En el caso de los vehículos se estima una vida útil del aceite lubricante equivalente a los 5000 km, mientras que en los usos industriales depende mucho del uso específico.

El parque automotriz genera alrededor del 65% del total de aceite usado generado, mientras que el restante 35% es de origen industrial.

Información sobre sistemas de gestión de aceites usados en la Comunidad Europea reflejan que se pierde durante el uso el 50% de aceite por combustión, evaporación, residuos que quedan en los tanques de almacenamiento, derrames y pérdidas de maquinaria industrial.

4.2 Impactos en la Salud y el Medio Ambiente

Los aceites son considerados potencialmente peligrosos para el ambiente debido a su persistencia y su habilidad para esparcirse en grandes áreas de suelo y del agua, formando un film que no permite el ingreso de oxígeno, lo que produce rápidamente una significativa degradación de la calidad del ambiente. En el caso de los aceites usados existe el riesgo adicional de la liberación de los contaminantes tóxicos presentes como es el caso de los metales pesados.

El vertido de aceite en el terreno, además de contaminar el suelo, puede infiltrarse contaminado el agua subterránea, o escurrir o ser arrastrado por el agua de lluvia y contaminar los cursos de aguas.

Si bien el vertido en la red de saneamiento no es una práctica muy difundida, así como tampoco la disposición en el terreno, una fracción menor de los aceites lubricantes usados es eliminada por estas vías.

Debido a que generalmente el aceite usado es comercializado como combustible alternativo debido a su poder calorífico, el principal problema ambiental se concentra en la mala gestión del aceite que se origina en la combustión en condiciones no adecuadas. Este procedimiento genera la degradación del ambiente por la gran cantidad de contaminantes, particularmente aquellos asociados con contenidos de metales como cadmio, cromo, plomo, entre otros, que son emitidos a la atmósfera durante el proceso de combustión. Estos compuestos químicos producen un efecto directo sobre la salud humana y varios de ellos son cancerígenos.

Las prácticas inadecuadas, derivan del desconocimiento de los impactos que generan y de los procedimientos técnicos para su regeneración, de la ausencia de normativas sobre su reutilización industrial (carencia de estándares de consumo en calderas, hornos y secadores) y del mercado informal existente con estos productos.

4.3 Alternativas de Gestión Integral de los Aceites Usados

A continuación se presentan cuatro alternativas de gestión para los aceites usados, ordenadas de acuerdo a principios ambientales.

- ***La re-utilización en otros usos****, si la calidad del aceite usado lo permite o previo tratamiento para remoción de contaminantes insolubles y productos de oxidación, mediante calentamiento, filtración, deshidratación y centrifugación, puede reusarse como aceite de maquinaria de corte o en sistemas hidráulicos. El aceite dieléctrico es uno de los que se puede mantener "limpio" luego de su uso.*

- ***La regeneración****, mediante distintos tratamientos es posible la recuperación material de las bases lubricantes presentes en el aceite original, de manera que resulten aptas para su reformulación y utilización. Casi todos los aceites usados son regenerables, aunque en la práctica la dificultad y el costo hacen inviable esta alternativa para aceites usados con alto contenido de aceites vegetales, aceites sintéticos, agua y sólidos.*

- ***La valorización energética*** *mezclado con fuel-oil (en calderas industriales y hornos de cemento) ya sea por combustión directa o con pre-tratamiento del aceite (separación de agua y sedimentos). El aceite se constituye en uno de los residuos con mayor potencial para ser empleado como combustible por su elevado poder calorífico. Aunque la mayoría de calderas domésticas, calderas comerciales e industriales de baja potencia de generación, pueden quemar aceites usados, es una práctica no recomendable debido al problema de contaminación potencial del aire, por tratarse de quemas de productos sin control de especificaciones, quemado bajo condiciones no controladas y sin tratamiento de emisiones, especialmente por el contenido de metales pesados.*

- ***La destrucción en incineradores de residuos peligrosos****, en los casos que presenten niveles de contaminantes de metales pesados o halógenos que no permitan la sustitución de combustible en hornos o calderas industriales.*

Esta priorización se basa en las ventajas ambientales de los procesos actuales de regeneración, por su mayor ahorro de materias primas, menores emisiones y olores, así como la menor producción de residuos o efluentes. Sin embargo se debe tener en cuenta que todavía coexisten procesos de regeneración que son muy contaminantes, frente a lo cual la opción de valorización energética puede ser más conveniente.

Datos del año 1999 de la Comunidad Europea reflejan que el 50 % del aceite usado recolectado se valorizó energéticamente (representando el principal uso la producción de cemento), el 25% se regeneró y el 25 % restante se dispuso ilegalmente.

En la Comunidad Europea los sistemas de gestión varían de un país a otro. En la mayoría se estimula la utilización de aceites usados como sustitución de combustible, al no tener que pagar el impuesto que se aplica a la compra de fuel oil pesado. Generalmente no se subsidia la recolección, excepto en España, donde el gobierno paga un monto determinado por tonelada de aceite recolectado y regenerado. En algunos países para incentivar la regeneración subsidian esta actividad, aunque lo más común es exonerar o disminuir la carga de impuestos al aceite regenerado frente al aceite producido de base lubricante virgen, como es el caso de Italia y Francia.

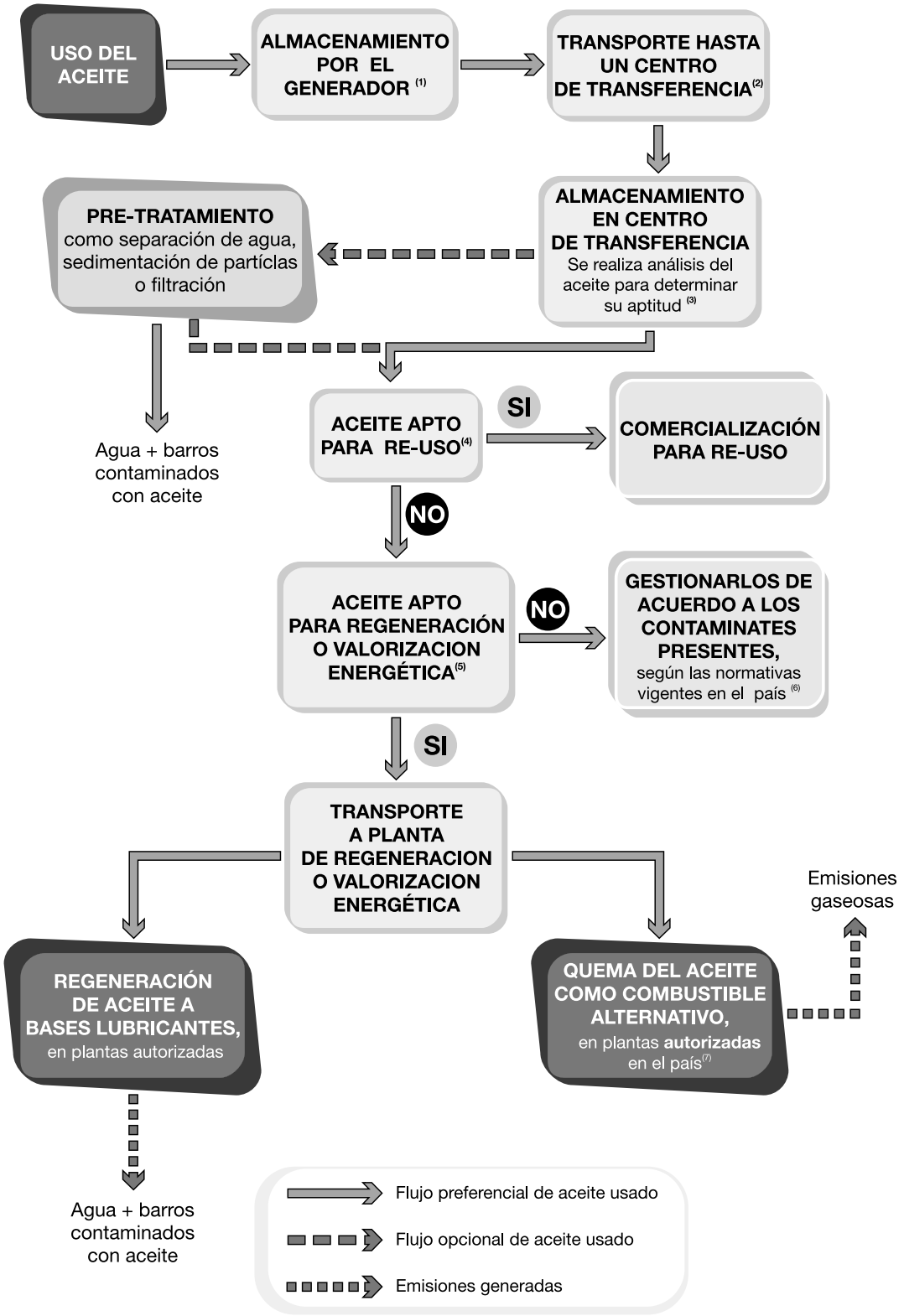
Tecnologías de regeneración

En la siguiente tabla se resumen las tecnologías más comúnmente utilizadas para la regeneración de los aceites usados.

Ácido-arcilla	El aceite se somete a evaporación de aquellos productos ligeros como agua e hidrocarburos del rango de la gasolina. Luego se trata con ácido sulfúrico y se filtra con arcilla y cal para mejorar su color y su acidez. En la siguiente etapa el aceite se fracciona para separar destilados livianos del tipo gas-oil y así obtener finalmente la base lubricante. El proceso tiene un rendimiento global del 70% en peso de la carga de aceite. Desventaja: Se genera un residuo de arcilla ácida y aceite de difícil disposición final.
Destilación a vacío - arcilla	El aceite se destila a presión por debajo de la atmosférica, lo que permite operar a bajas temperaturas reduciendo los problemas de descomposición. Se utiliza la arcilla con alta capacidad adsorbente para reducir las impurezas, fundamentalmente los metales pesados. Desventaja: Se genera como residuo arcilla con aceite.
Destilación en vacío e hidro-tratamiento	El aceite usado es deshidratado y son eliminados parte de los hidrocarburos livianos, luego el aceite se envía a una torre de destilación a vacío, donde se extraen por la cabeza los componentes livianos remanentes, quedando en el fondo los contaminantes pesados. Los productos livianos separados pueden ser usados como combustibles. El fondo contiene metales, productos de polimerización y materiales asfálticos. Desventaja: Tecnología costosa.

Nota: En todos los casos se generan residuos de tipo peligroso que se deben quemar en un incinerador de residuos peligrosos o en hornos de cemento.

Para realizar una gestión adecuada de los aceites usados se debe implementar un sistema que integre todas las fases del manejo del aceite, desde su generación hasta su tratamiento final o regeneración. En el siguiente esquema se presenta un sistema integral de gestión para los aceites usados:



Notas:

(1) El generador debe acondicionar y almacenar los aceites usados para ser transportados hasta un lugar de gestión autorizado. Los envases y sus cierres deben ser rígidos y resistentes para responder con seguridad a las manipulaciones necesarias, manteniéndose en buenas condiciones, sin defectos estructurales y sin fugas aparentes. Los envases se deben etiquetar en forma clara legible e indeleble, deben permanecer cerrados para evitar el ingreso de agua de lluvia. El lugar de acopio debe estar acondicionado de forma de contener eventuales derrames y en caso de ser exterior debe contar con un sistema de separación agua aceite.

(2) El transporte generalmente lo realiza un gestor debidamente autorizado. El transportista deberá utilizar documentos de identificación de la carga y contar con planes de contingencia, así como los elementos necesarios para la atención de emergencias.

(3) En el centro de transferencia o centro de acopio se realizan los análisis según las especificaciones establecidas para el tratamiento del aceite, determinando el contenido de humedad, metales pesados, PCB, cloruro y material en suspensión. En algunos centros de transferencia se puede realizar el tratamiento previo para disminución de contenido de agua, material en suspensión y/o metales pesados, de forma de dejarlo apto para el tratamiento posterior o la utilización como combustible alternativo.

(4) Cuando los aceites recolectados son "limpios", como es el caso de aceites dieléctricos de transformadores libres de PCB, y no están contaminados con metales pesados pueden ser reutilizados como aceite para máquinas de corte.

(5) En base a los análisis realizados se determina si el aceite está apto para ser ingresado a una planta de regeneración o valorización energética de acuerdo a las especificaciones establecidas según el tratamiento seleccionado.

(6) Si no es posible pre-tratar el aceite para llegar a los límites de especificaciones necesarios para quemarlo en calderas autorizadas, el aceite debe ser tratado en un horno de incineración autorizado.

(7) La valorización energética debe realizarse en instalaciones autorizadas, para lo cual se deben fijar ***especificaciones del aceite a ser quemado según las condiciones del horno o caldera***: potencia de generación, control de quema y tratamiento y monitoreo de emisiones. Por ejemplo la EPA, establece que si el contenido en ciertos contaminantes es menor que un límite establecido, los aceites pueden ser ingresados a cualquier caldera, independiente de las condiciones de la instalación. La utilización como combustible sin pre-tratamiento para disminución de metales pesados se puede operar en instalaciones con alta potencia térmica, altas temperaturas, gran consumo de combustible y alta producción de gases, como son los hornos de clinker en las cementeras, estos hornos queman el aceite usado y los contaminantes tales como los metales quedan incorporados al cemento, aquellas partículas que no lo hacen son retenidas por precipitadores electrostáticos. Para tener un combustible de espectro de utilización más amplio como en instalaciones con menos potencia térmica se deben aplicar tratamientos físico-químicos de separación de elementos volátiles y de metales pesados, así como agua y sólidos (normalmente esto se hace por destilación o por tratamiento con aditivos floculantes, sedimentación, centrifugación o filtración). Además se deben establecer porcentajes máximos de mezcla con el combustible tradicional, para disminuir el riesgo de contaminación.

La responsabilidad de los sistemas de recolección y transporte deben ser trasladados a los fabricantes e importadores del aceite. Estos actores deben instrumentar un sistema de recolección en los centros de distribución y recambio de aceites.

Dado que el aceite usado tiene un valor en el mercado, es posible que este servicio lo realicen terceras empresas, en calidad de convenio o acuerdo con las empresas que colocan el aceite nuevo en el mercado.

4.4 Referencias

Biodegradación de aceites lubricantes. Monografía, Santiago Builes. 2005.

Code of Federal Regulations, Title 40 Protection of Environment, Part 279 Management of waste oil. ***www.epa.gov***

Critical review of existing studies and life cycle analysis on the regeneration an incineration of waste oil. Taylor Nelson, 2001.

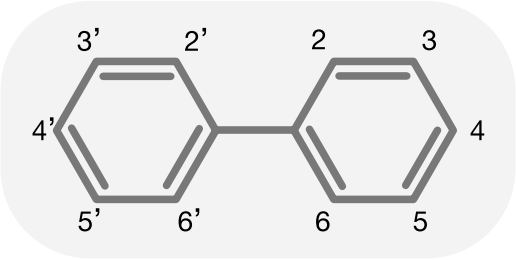
Directiva de la Comunidad Europea 75/439/EC y enmienda 87/101/EC.

Technical guidelines on used oil re-refining or other re-uses of previously used oil. Secretariat of the Basel Convention, 1997. ***www.basel.int***

Technical guidelines on waste oil from petroleum origins and sources. Secretariat of the Basel Convention, 1997. ***www.basel.int***

5. Bifenilos Policlorados (PCB)

Los bifenilos policlorados (PCB) son una serie de compuestos organoclorados que se forman mediante la sustitución por cloro de una o más de las diez posiciones de la molécula del bifenilo, constituyendo un conjunto de 209 congéneres.



Se trata de productos sintéticos, no conociéndose fuentes naturales de PCB. A nivel comercial los PCB se han distribuido en formulaciones compuestas por mezclas de diferentes congéneres, siendo conocidas por sus nombres comerciales, tales como Aroclor o Askarel entre otros.

Los PCB son uno de los doce compuestos orgánicos persistentes incluidos en el Convenio de Estocolmo. El Convenio establece, entre otras obligaciones, la prohibición de producción y comercialización de PCB, el año 2025 como plazo máximo para que los países eliminen el uso de equipos que contienen PCB, la prohibición de exportación de equipos y materiales con PCB que no sea con el objetivo de su eliminación ambientalmente racional.

Muchos países definen con el término PCB a los aceites que contienen una concentración de PCB mayor o igual a 50 ppm y a los materiales que los contienen o los han contenido. Algunos definen categorías según el grado de contaminación, como es el caso de la EPA y la Unión Europea que define como equipo PCB si contiene aceite con concentración mayor de 500 ppm y equipo contaminado con PCB si la concentración está entre 50 ppm y 500 ppm.

5.1 Características y Usos Principales de los PCB

Las propiedades de los PCB varían apreciablemente de acuerdo a su contenido de cloro, pudiendo ser líquidos viscosos incoloros o amarillentos o incluso resinas transparentes duras. Las principales características son:

- ➔ *insolubles en agua y solubles en aceite y solventes orgánicos*
- ➔ *altamente resistentes a ataques químicos y biológicos*
- ➔ *presentan alta estabilidad frente al calor y sólo se descomponen a altas temperaturas (> 1000º C)*
- ➔ *poseen alta resistencia al fuego y alta capacidad de absorción del calor*
- ➔ *tienen excelentes propiedades dieléctricas*

Las tres últimas propiedades son la razón por la cual se han usado ampliamente como aislantes eléctricos en transformadores y condensadores.

Se utilizaron intensamente entre los años 1930 y 1970, pero como consecuencia de las restricciones de uso, la producción disminuyó rápidamente a partir de la década del 70.

En la siguiente tabla se presentan los principales usos identificados:

Usos	Porcentaje
Aplicaciones cerradas:	
Aceites dieléctricos en transformadores, condensadores y interruptores	**60**
Refrigerantes y fluidos hidráulicos	**15**
Aplicaciones abiertas:	
Adhesivos, plastificantes, ceras, pinturas, papel copianteinsecticidas, bactericidas, aceites lubricantes	**25**
Recubiertas de cables, tintas, retardadores de llama, asfaltos	**no determinado**

Los transformadores pueden contener PCB por haber sido diseñados y fabricados para utilizarse con un aceite de PCB o tratarse de equipos etiquetados y vendidos como libres de PCB, pero haberse contaminado con estos compuestos. La contaminación puede ocurrir por malas prácticas, como por ejemplo el uso del mismo equipamiento para rellenar aceites con o sin PCB durante la fabricación del transformador o posteriormente en las etapas de mantenimiento (secado del aceite y/o desencubado de aceite). Por esta razón el número de equipos contaminados con PCB puede llegar a superar a la cantidad de los equipos PCB puros.

5.2 Impacto de los PCB en la Salud y el Medio Ambiente

Los PCB ingresan al aire, al agua y al suelo durante su uso y disposición, como consecuencia de derrames accidentales o escapes durante su transporte y por escapes o incendios de productos que contenían PCB.

No se degradan fácilmente por lo que pueden permanecer en el medio ambiente por largo tiempo. Pueden viajar largas distancias en el aire y ser depositados en áreas distantes del lugar de liberación.

Los PCB se absorben fácilmente a través de todas las áreas expuestas y permanecen en su mayoría en el tejido graso, donde tienden a acumularse, razón por lo cual se encuentran con más frecuencia en animales que en plantas.

En agua, una pequeña porción de los PCB puede permanecer disuelta, pero la mayor parte se adhiere a partículas orgánicas y a sedimentos del fondo, por lo que pueden ser consumidos en cantidades importantes por especies que se alimentan del lecho marino y así ingresar a la cadena trófica. Las aves predadoras que consumen gran cantidad de peces afectados pueden sufrir trastornos. Uno de los efectos más importantes es la fragilidad de los huevos por inhibición de la deposición de calcio durante el desarrollo de la cáscara. Otro efecto perjudicial es la afectación de la capacidad reproductiva de los machos de algunas especies de aves y otros animales.

El efecto que se observa más comúnmente en las personas expuestas a grandes cantidades de PCB son efectos a la piel como acné, irritaciones cutáneas, hipersecreción de glándulas lacrimales, conjuntivitis. Estudios en trabajadores expuestos han observado alteraciones en la sangre y la orina que pueden indicar daño al hígado. Unos pocos estudios de trabajadores han asociado exposición a PCB con ciertos tipos de cáncer, tales como cáncer del hígado y del tracto biliar.

Cuando los PCB se descomponen por el calor, producen en principio cloro, gas clorhídrico y monóxido de carbono. Los gases pueden arrastrar moléculas de PCB sin descomponer y además se pueden producir pequeñas cantidades de compuestos carcinogénicos como las dioxinas y furanos. Por esta razón la destrucción de PCB debe estar controlada y realizarse con tecnología adecuada para que dicha destrucción sea completa y evitar la formación de compuestos nocivos.

5.3 Generación de Residuos

Son residuos de PCB todo producto o material que contiene PCB (ya sea puro o contaminado) así como los equipos o materiales que entran en contacto con sustancias con PCB durante el uso y manejo de las mismas. Por lo cual es esperable que exista una gran variedad de residuos que caen bajo esta denominación. Sin embargo teniendo en cuenta que el principal uso de PCB ha sido como aceite dieléctrico en transformadores y condensadores, y las posibilidades de su tratamiento

y disposición final, un enfoque razonable de gestión resulta en atender prioritariamente los siguientes residuos:

- *equipos eléctricos que contienen dieléctricos con más de 50 ppm de PCB*
- *aceites dieléctricos que contienen más de 50 ppm de PCB*
- *materiales que se contaminaron con PCB: suelos, solventes utilizados para la descontaminación de equipos, absorbentes y trapos utilizados durante la manipulación de aceites con PCB*

Los principales generadores de residuos de PCB son:

1. *las empresas de generación, transmisión y distribución de energía, que representan el principal poseedor de PCB, más de un 60%.*
2. *las empresas que poseen equipamiento eléctrico con aceite dieléctrico: como industrias manufactureras de gran consumo energético, centros de salud, hoteles, centros comerciales y potabilizadoras de agua entre otras.*
3. *empresas que realizan el mantenimiento de transformadores eléctricos.*

5.4 Gestión de Residuos de PCB

Debido a que los equipos con PCB tienen un plazo para su salida de servicio, se deben establecer dos sistemas diferentes de gestión:

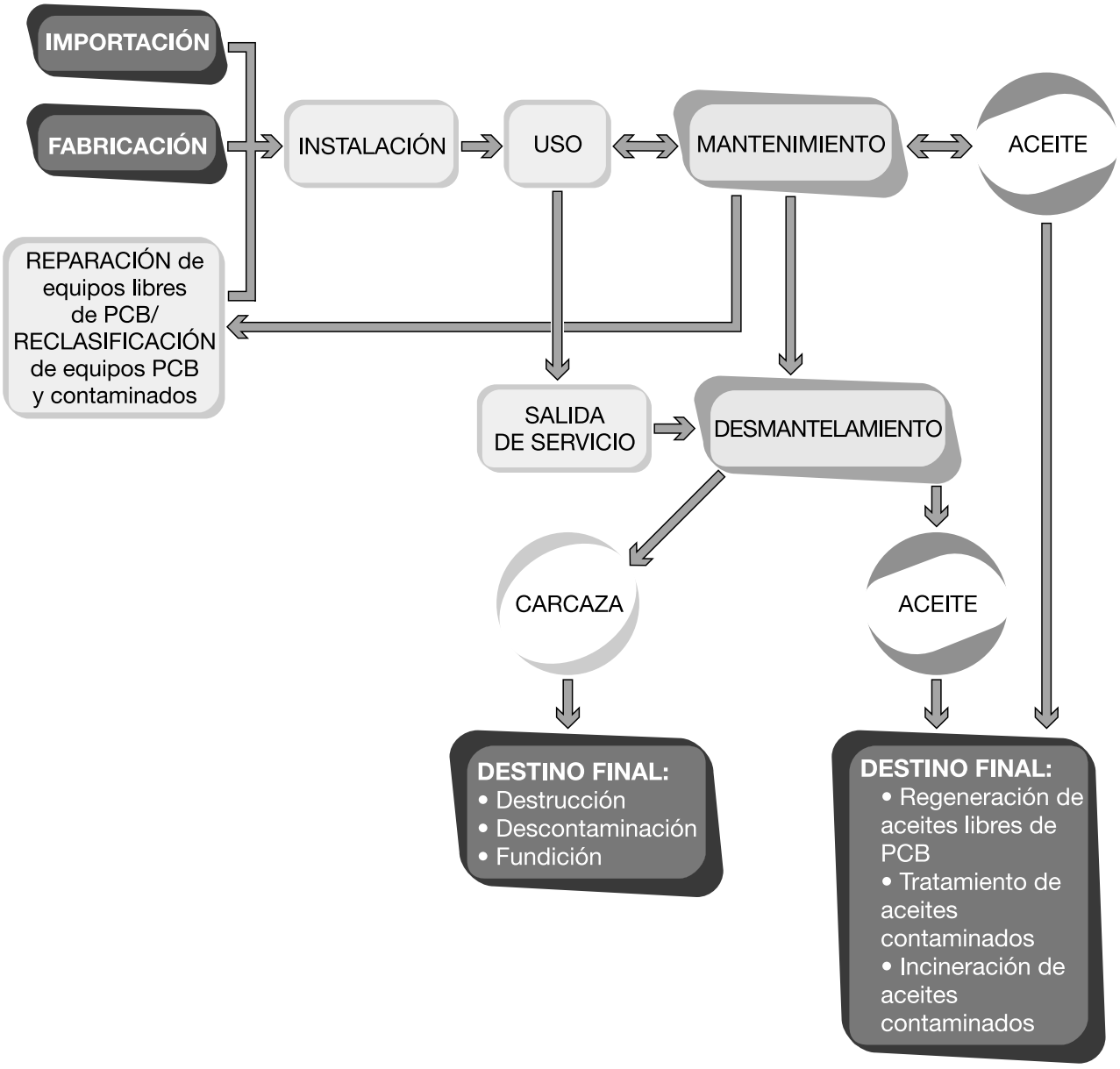
- *un sistema de gestión para el uso ambientalmente adecuado hasta que salen de servicio*
- *un sistema de gestión para cuando salen de servicio.*

Para implementar los sistemas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- *el contenido de PCB en el equipo, lo que permite determinar el tratamiento más adecuado a realizar desde el punto de vista económico y ambiental.*
- *el estado del equipo, la existencia de pérdidas de aceite y las condiciones generales de funcionamiento, de forma de establecer si conviene reclasificarlo (en caso que sea posible), reemplazarlo o mantenerlo en uso con condiciones e infraestructura adecuadas de manejo.*
- *el riesgo que representa su lugar de ubicación para la salud y el medio ambiente.*
- *el volumen de equipos a tratar, las tecnologías de tratamiento y/o eliminación disponibles en el país y sus costos, así como los costos de exportación para el tratamiento y/o disposición fuera del país.*

La elaboración de un plan de gestión de residuos de PCB, requiere en primer término determinar la cantidad, estado, localización y nivel de contaminación de las existencias, a fin de definir claramente el alcance del problema. Seguidamente resulta indispensable identificar dentro de las tecnologías existentes, aquellas que resultan técnica y económicamente viables, en función de las existencias identificadas y de las opciones disponibles a nivel local, regional e internacional. Con base a esta información se estará entonces en condiciones de definir regulaciones y controlar las actividades identificadas en el ciclo de vida de los equipos que contienen aceite dieléctricos y así lograr una minimización del riesgo de contaminación al medio ambiente por PCB.

En el siguiente diagrama se identifican las actividades más relevantes del ciclo de vida de los equipos que contienen aceite dieléctricos.

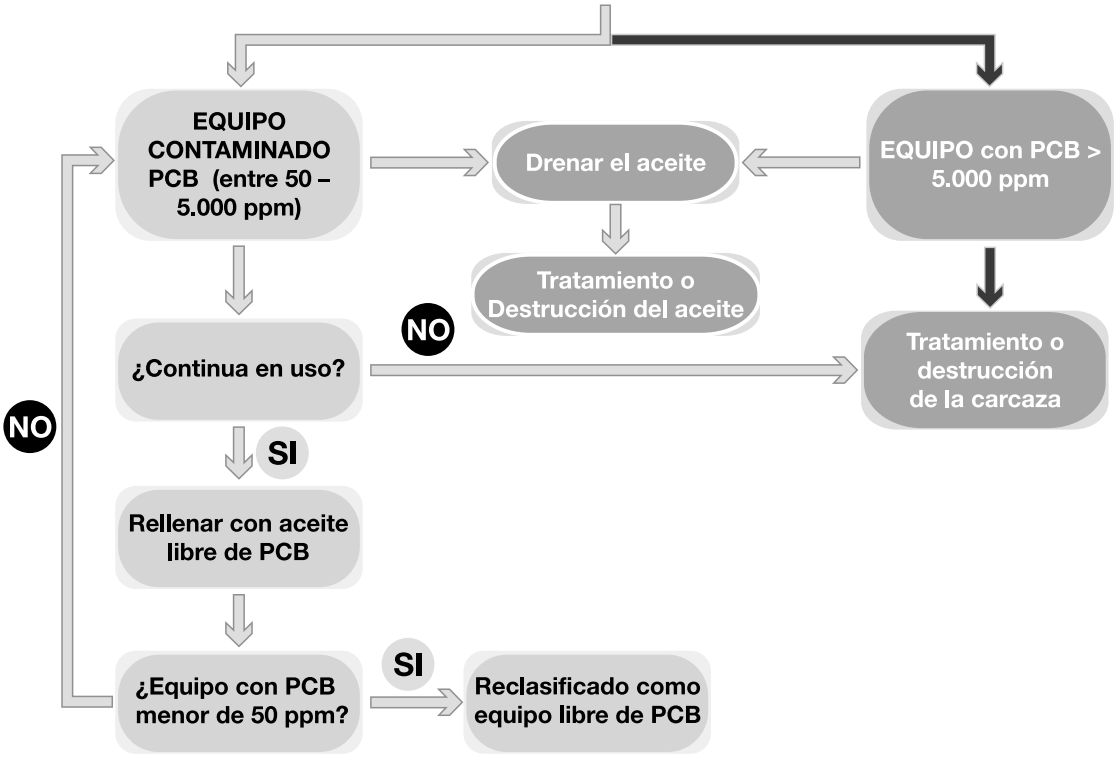


En el siguiente cuadro se resumen los riesgos y las acciones a tomar para cada una de las actividades señaladas.

Actividad	Riesgo asociado	Acciones a tomar
Importación	Ingreso al país de equipos con PCB o aceites dieléctricos con PCB.	➔ Prohibir la importación de aceites y equipos con PCB. ➔ Si bien por debajo de 50 ppm se considera libre de PCB, es conveniente exigir niveles no detectables.
Fabricación o reparación de equipos	Utilización de aceite dieléctrico con PCB.	➔ En la fabricación y reparación prohibir la utilización de aceite dieléctrico con PCB. ➔ Prohibir la reparación de equipos con PCB sin previa descontaminación de los mismos.
Uso	Si el equipo es viejo y puede tener pérdidas de dieléctrico, éstas producirán contaminación.	➔ Imponer la obligatoriedad de llevar registro de los equipos que contienen PCB. ➔ Establecer sistemas de control y condiciones de seguridad para la utilización de equipos que contienen PCB hasta su salida de servicio.
Mantenimiento	Las técnicas de secado y/o desencubado de aceite, sin control, pueden provocar la contaminación cruzada de equipos, al utilizar el mismo equipamiento para el mantenimiento de un equipo con PCB y otro libre de PCB. La reposición de aceite dieléctrico puede contaminar el equipo, si la empresa utiliza aceite recuperado de otros equipos. Las pérdidas de aceite con PCB durante el mantenimiento puede contaminar el suelo. La comercialización del aceite con destinos no conocidos como la quema incontrolada.	➔ Se deben establecer las condiciones de manejo de los equipos y del aceite a los talleres de mantenimiento, así como del almacenamiento de aceite retirado con PCB. ➔ Prohibir la reutilización del aceite con PCB. ➔ Prohibir la comercialización del aceite usado con PCB.
Destino final del equipo	Ingreso a hornos de fundición, generando emisiones gaseosas con PCB, dioxinas y furanos. Ingreso a sistemas de tratamiento y/o destrucción no ambientalmente adecuados, pudiendo generar contaminación de aguas, suelos y aire. Comercialización de equipos con PCB para su reutilización	➔ Reclasificación de equipos contaminados con PCB y de equipos PCB. ➔ Ingreso de equipos PCB a sistemas de recuperación, previa descontaminación del mismo. ➔ Exportar equipos con PCB para su tratamiento y/o destrucción de acuerdo al Convenio de Basilea. ➔ Prohibir la comercialización de equipos con PCB.
Destino final del aceite	Contaminación de las aguas y el suelo por vertido incontrolado de aceite. Contaminación del aire por quema incontrolada, en sistemas de incineración no adecuados o quema a cielo abierto. Comercialización de aceite con PCB para su reutilización.	➔ Proceder al tratamiento de aceite con PCB con tecnología ambientalmente adecuada. ➔ Exportar aceites con PCB para su tratamiento y/o destrucción de acuerdo al Convenio de Basilea. ➔ Prohibir la comercialización de aceites con PCB.

En todos los casos se debe determinar el contenido de PCB en el aceite y si es mayor a 50 ppm, un esquema posible de trabajo se muestra en el siguiente cuadro:

Determinación del Contenido de PCB en el Dieléctrico



Tratamiento/Destrucción de aceites con PCB

Para el tratamiento/destrucción de aceites contaminados con PCB se pueden utilizar las siguientes tecnologías:

Declorinación: consiste en la extracción de los átomos de cloro de las moléculas de PCB, permitiendo la reutilización del aceite. La declorinación suele realizarse por reacción química con un agente reductor, utilizándose en la región el método de reducción con sodio. La ventaja que presenta este método, frente a la quema es que el aceite se puede volver a utilizar como dieléctrico. Este sistema se vuelve poco factible desde el punto de vista económico para concentraciones superiores a las 5.000 ppm de PCB.

Incineración: destrucción del aceite en incineradores de residuos peligrosos o co-incineración en hornos de producción de clinker empleando el aceite como combustible alternativo, procedimiento que deberá contar con la autorización de la autoridad competente.

Si bien estas tecnologías son las más difundidas y de aplicabilidad en la región, otras tecnologías para tratamiento de PCB han prosperado y se vienen utilizando en países desarrollados, son ejemplos de estos sistemas:

- ***Arco de Plasma**: mediante ionización de gas argón a través de una descarga eléctrica entre el cátodo y ánodo se forma un arco de plasma de temperatura superior a 10.000 ºC. El residuo, líquido o gas, es inyectado directamente en el plasma formado, alcanzando rápidamente una temperatura de 3.100 ºC.*
- ***Reducción Química en Fase Gaseosa (GPCR)**: consiste en una reducción química de compuestos orgánicos con hidrógeno en corriente gaseosa a 850 ºC, formando gas metano y ácido clorhídrico. El ácido clorhídrico es neutralizado y el gas metano se consume como combustible.*
- ***Descomposición por Catálisis Básica (BCD)**: los residuos sólidos y líquidos se tratan a 300 ºC con una mezcla de reacción que consiste en un hidrocarburo de alto punto de ebullición, hidróxido sodio y un catalizador, produciendo hidrógeno de alta reactividad, que reacciona rompiendo los enlaces y produciendo carbono y sales de sodio.*

Tratamiento / Destrucción de carcazas contaminadas con PCB

Las carcazas de los transformadores pueden ser sometidas a un tratamiento de descontaminación o ser destruidas en un incinerador de residuos peligrosos.

La descontaminación de las partes metálicas se realiza con solventes orgánicos, lo que permite que el metal ingrese a un sistema de fundición. Se debe tener en cuenta que la descontaminación de las partes metálicas internas del equipo como el alambre de cobre de la bobina es un proceso que exige más tiempo que el necesario para limpiar las superficies metálicas de la caja del transformador. Otros componentes como cerámica, madera y papel son difíciles de descontaminar para disponerlos en rellenos, por los que deben ser incinerados.

Uno de los métodos utilizados para descontaminación de equipos es enjuague con solvente en autoclave. Las partes metálicas del equipo desarmado se introducen en la cámara del autoclave y se enjuaga con solvente (percloroetileno). Luego el solvente se recupera mediante destilación en vacío y se reutiliza nuevamente para otra descontaminación. La cola del destilado, con alto contenido de PCB, debe incinerarse.

En el caso de **condensadores** generalmente se drena el aceite para su destrucción y posteriormente se destruyen por incineración, ya que debido a su estructura son difíciles de descontaminar.

Exportación

Si el país no dispone de los sistemas de eliminación o tratamiento para PCB indicados, se debe proceder a la exportación del equipo y/o el aceite para su destrucción o tratamiento en su totalidad fuera del país, o realizar parte del tratamiento en el país y parte en el exterior, por ejemplo las carcazas se pueden descontaminar por enjuague con solventes en el país y destruir el aceite y las colas de destilado en el exterior.

Reclasificación de transformadores

Los equipos que contienen dieléctricos con concentraciones de PCB entre 50 y 5.000 ppm pueden ser reclasificados como equipos libres de PCB, si luego de 90 días del proceso de drenado y rellenado con aceite libre de PCB, la concentración es menor a 50 ppm. Para equipos que contenían más de 1.000 ppm, se requiere además que los equipos estén bajo carga en el período indicado. Si luego del rellenado el equipo continúa con una concentración por encima de 50 ppm, es posible repetir el rellenado con aceite libre de PCB tantas veces como sea necesario para alcanzar la reclasificación del mismo. Cabe destacar que el límite de 5.000 ppm responde a un criterio de costo-efectividad del proceso.

5.5 Referencias

Chlorobiphenyls regulations. CEPA, extract Canada Gazette, 1991. ***www.ec.gc.ca/pcb***

Code of Federal Regulations, Title 40 Protection of Environment, Part 761: Polychlorinated Biphenyls (PCBs) manufacturing, processing, distribution in commerce, and use prohibitions, USA, ***www.epa.gov***

Directrices para la identificación de PCB y otros materiales que contengan PCB. Secretaría del Convenio de Basilea, 1999. ***www.baseil.int***

Encuesta sobre tecnologías actualmente disponibles para la destrucción de PCB sin incineración. Secretaría del Convenio de Basilea, 2000 ***www.baseil.int***

Federal mobile PCB treatment and destructions regulations. CEPA, extract Canada Gazette, 1990. ***www.ec.gc.ca/pcb***

General technical guideline for environmentally sound management of wastes consisting of containing of contaminated with persistent organic polluents", Draft 15/5/2004, "Guidelines for the ESM of POP´s wastes" Basel Convention, ***www.baseil.int***

Inventario de la capacidad mundial para la destrucción de bifenilos policlorados. PNUMA Productos Químicos - Secretaría del Convenio de Basilea, 1998. ***www.baseil.int***

Preparation of a national environmentally sound management plan for PCB and PCB contaminated equipment. Basel Convention Series, 2003 ***www.baseil.int***

Storage of PCB material regulations. CEPA, extract Canada Gazette, 1992. ***www.ec.gc.ca/pcb***

Transformadores y condenadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación. Secretaría del Convenio de Basilea, 2002 ***www.baseil.int***

6. Plaguicidas Obsoletos

Se entiende por "**plaguicidas obsoletos**" aquellos plaguicidas que no se pueden o no se quieren seguir usando y deben ser eliminados. Esta denominación incluye:

1. *Plaguicidas técnicos y formulaciones caducas (generalmente dos años después de su manufactura).*
2. *Plaguicidas cuya utilización ha sido prohibida o fuertemente restringida.*
3. *Productos deteriorados:*
   - ➔ *aquellos que sufrieron cambios físicos o químicos que los hacen fitotóxicos para los cultivos o con peligrosidad no aceptable tanto para la salud humana como para el medio ambiente.*
   - ➔ *aquellos que sufrieron pérdida de eficacia biológica.*
   - ➔ *aquellos que presentan cambios en sus propiedades físicas que los hacen incompatibles con los equipamientos de aplicación habituales.*
4. *Plaguicidas no deseados por sus propietarios, aunque se encuentren en condiciones de uso.*
5. *Productos sin identificación.*
6. *Productos contaminados con otras sustancias.*

Se incluyen además:

7. *Residuos de plaguicidas generados en incendios y otros accidentes.*
8. *Materiales fuertemente contaminados con plaguicidas.*
9. *Residuos generados en la fabricación o formulación de plaguicidas.*

A continuación se listan los distintos tipos de existencias de plaguicidas obsoletos que se pueden encontrar.

1. ***Pequeñas cantidades derivadas del uso.*** *Son restos de plaguicidas obsoletos generados a nivel de productores, estaciones experimentales o institutos de investigación. Generalmente se trata de unos pocos kilos como máximo, su generación es dispersa y fluctuante, pero es de esperar que represente un flujo de residuos más o menos constante en el tiempo en las distintas regiones.*

2. ***Plaguicidas obsoletos generados en la comercialización.*** *Se encuentran en las empresas que comercializan plaguicidas, las cuales están identificadas pero dispersas en todo el país. La generación está directamente relacionada con la gestión de las existencias de productos que realice el comerciante y generalmente se trata de cantidades no muy grandes debido a sus costos.*

3. ***Residuos generados en la fabricación o formulación de plaguicidas.*** *Se trata de los residuos generados en la actividad industrial. La generación será función de la producción de plaguicidas, es localizada y se conocen sus características.*

4. ***Residuos generados por accidentes.*** *Se generan en accidentes durante el transporte, por incendios, derrames u otro tipo de accidentes en almacenes. En este caso la generación es eventual y dispersa, las cantidades son variables y básicamente se conocen las características del producto.*

5. ***Productos deteriorados.*** *Son aquellos que por diferentes causas, como por ejemplo malas condiciones de almacenamiento, sufrieron cambios físicos o químicos que los convierten en no aptos para ser utilizados. Aquí también la generación es eventual y dispersa, las cantidades son variables y básicamente se conocen las características del producto.*

6. ***Depósitos.*** *Se trata de depósitos de diferentes características que cuentan con cantidades que pueden ir desde unas pocas decenas de kilos hasta varias toneladas de plaguicidas obsoletos. Generalmente se han generado en el pasado pero también se pueden seguir generando por problemas de mala gestión de compras, mala gestión de depósitos o por decomisos. Pueden estar en instalaciones públicas o privadas distribuidas en cualquier parte del territorio, inventariados o no y muchas veces ni siquiera identificados. En este punto se incluyen los depósitos de industrias que no se encuentran en actividad y se han convertido en pasivos ambientales. Se trata del grupo más heterogéneo en cuanto a tipos de productos, cantidades, estado de los envases y del producto activo, estado del depósito y grado de riesgo que representan.*

7. ***Enterramientos.*** *Este tipo de práctica fue utilizada en el pasado en varios países. Esto corresponde a lo que habitualmente se denomina "sitio contaminado", pero debido a la alta contaminación que puede presentar el suelo se incluye como existencia. Las cantidades enterradas pueden ser muy variables, así como la extensión de la afectación y el grado de riesgo que representan. En este caso se presenta la dificultad adicional de la identificación de la localización.*

6.1 Riesgos Asociados a los Plaguicidas Obsoletos

Los plaguicidas son materiales biológicamente activos que se utilizan con el fin de controlar o eliminar plagas y enfermedades. Constituyen una amplia gama de productos químicos con diferentes grados de toxicidad, existiendo muchos productos catalogados como altamente tóxicos. Otras características a destacar de muchos plaguicidas son: la persistencia, la bioacumulación y la capacidad de poder ser transportados por vía del agua, aire o especies migratorias a áreas remotas.

La degradación, movilidad y bioacumulación son los parámetros utilizados para determinar como influyen los plaguicidas en los procesos que tienen lugar en el suelo. Si bien con el tiempo casi todos los plaguicidas se descomponen o se degradan como resultado de reacciones químicas y microbiológicas en el suelo, estos procesos pueden insumir varios años.

La contaminación al medio ambiente puede ocurrir de varias maneras:

- *infiltración en el suelo*
- *transporte por el viento*
- *arrastre por escorrentía*
- *transporte a través de las aguas subterráneas*

En forma general se puede considerar que un plaguicida obsoleto tiene propiedades similares al plaguicida que le dio origen. Un mal manejo de los mismos puede provocar la muerte y eventualmente desaparición de otros organismos beneficiosos y representar un riesgo para la salud humana y para el medio ambiente.

En términos de peligro no existe diferencia entre un depósito de plaguicidas obsoletos y uno de plaguicidas en uso. Sin embargo, generalmente un depósito de plaguicidas obsoletos suele representar un nivel de riesgo mayor debido a que las condiciones de almacenamiento no suelen ser buenas, así como tampoco el estado de los envases, por lo que las probabilidades de exposición son mayores.

Algunos factores importantes que determinan la magnitud de los riesgos asociados a la dispersión de los plaguicidas obsoletos están dados fundamentalmente por las propiedades de los mismos, cantidad de producto, el estado del depósito y de las características o vulnerabilidad de la zona donde se encuentran.

6.2 Prevención de Generación de Plaguicidas Obsoletos

La primera medida para prevenir la acumulación de existencias de plaguicidas obsoletos es asegurarse si es estrictamente necesario el uso de plaguicidas o si existen alternativas, en este sentido existen grandes avances en el desarrollo e implementación del manejo integrado de plagas para distintos cultivos, lo que hace que sea posible disminuir la utilización de plaguicidas.

El análisis de las causas que llevan a la generación de existencias de plaguicidas obsoletos sientan las bases para establecer una serie de recomendaciones de "buenas prácticas de gestión" con el objetivo de prevenir o minimizar los residuos. A continuación se presenta una lista de dichas recomendaciones.

- *Implementar campañas dirigidas a los usuarios, comerciantes y distribuidores para promover el buen uso de plaguicidas y el manejo adecuado de las existencias.*
- *Desarrollar programas de capacitación para mejorar el control de las existencias de productos, así como las condiciones y el manejo de los depósitos de plaguicidas, especialmente en dependencias gubernamentales.*
- *La legislación debe contemplar el ciclo completo de la sustancia, de modo que sea aplicable en todas las etapas, evitando la generación de plaguicidas obsoletos. La existencia de un registro de plaguicidas o un sistema que de una u otra manera autorice el ingreso y/o uso dentro de un país puede ser utilizado como una herramienta para evitar la generación de plaguicidas obsoletos.*
- *Incorporar en la legislación el concepto de responsabilidad del generador, mediante el cual se establece que el generador es el responsable de los plaguicidas obsoletos y de los daños sobre la salud y el medio ambiente que estos puedan producir.*
- *Establecer mecanismos de retorno, mediante los cuales los fabricantes, formuladores, importadores, envasadores y distribuidores tengan la obligación de hacerse responsables por los envases vacíos y restos de productos generados por los usuarios.*

- *Revisar la legislación para que los plaguicidas caducos no se conviertan en obsoletos, contemplando el concepto de efectividad biológica y no únicamente el de fechas de caducidad.*
- *Previo a la prohibición de un plaguicida, debiera considerarse un período mínimo de uso de la sustancia con la finalidad de agotar las existencias.*
- *Acordar con las Aduanas la implementación de mecanismos para retorno al país de origen de plaguicidas no deseados, para evitar que se conviertan en obsoletos.*
- *Evitar el decomiso de plaguicidas caducos y establecer las responsabilidades correspondientes cuando sea necesario.*
- *Controlar las donaciones y promociones de forma de evitar la adquisición de productos próximos a vencerse.*
- *Exigir un adecuado etiquetado de los productos, considerando especialmente la fecha de caducidad.*
- *Exigir envases duraderos acordes con las condiciones de manejo que van a ser empleadas y que el diseño favorezca la prevención de la generación de residuos y permita la eliminación de una forma ambientalmente adecuada.*
- *Exigir tamaño de envases que esté acorde con los volúmenes de productos que se van a manejar.*
- *Planificar correctamente las necesidades y mantener las existencias en los niveles mínimos.*
- *Implementar mecanismos que permitan lograr un suministro ágil de los productos.*
- *Promover la realización de acuerdos de Producción Limpia, lo que puede favorecer el cumplimiento de normativas legales asociadas, así como el manejo adecuado de las existencias, con el beneficio para los agricultores de presentar productos acorde a las normativas y exigencias internacionales.*
- *Implementar mecanismos que permitan la utilización de plaguicidas obsoletos luego de su reformulación, cuando esto sea posible.*

6.3 Pautas para la Gestión de Existencias Identificadas

Para cada existencia identificada se deberá definir, en forma previa a cualquier intervención, la totalidad de operaciones que permitan darle un destino final ambientalmente adecuado tanto a las existencias identificadas como a los residuos que se generen como resultado del acondicionamiento del depósito.

Evaluación de la situación

En primer lugar es necesario realizar una evaluación del lugar donde se encuentra la existencia, estableciendo los riesgos potenciales. Esta evaluación incluye:

- *Diagnóstico preliminar en base a búsqueda de antecedentes e inspección visual del sitio y su entorno. La inspección del sitio requiere tomar medidas precautorias como utilizar equipo de protección personal, permitir la ventilación del lugar previo a la entrada y no asumir riesgos innecesarios.*
- *Determinaciones complementarias, que pueden incluir el muestreo y análisis de producto para su identificación, así como el muestreo y análisis de suelo y agua para establecer el grado de contaminación.*

Contención de la contaminación

En los casos que se constate la existencia de derrames que están generando claros problemas de contaminación será necesaria la implementación de medidas que permitan su contención. Algunas acciones que pueden realizarse son:

- *Impedir el acceso del público restringiendo la entrada al predio.*
- *Para existencias al aire libre, evitar el contacto con agua de lluvia o el arrastre de partículas por acción del viento, cubriendo las existencias con lonas.*

- ➔ *Desviar los escurrimientos de agua de lluvia mediante la construcción de zanjas, de forma que no entren en contacto con las existencias.*
- ➔ *Interrumpir el escurrido del producto mediante el uso de adsorbentes (suelo, arena, aserrín o productos especiales).*

Almacenamiento transitorio

Las existencias de plaguicidas obsoletos no siempre pueden ser trasladadas de forma inmediata para su eliminación y/o disposición final. Se requiere de un plazo para la elaboración y ejecución de un plan de acción, que dependerá del riesgo que representen, de la presión social, de la existencia de alternativas de tratamiento y disposición final en el país y de la disponibilidad de recursos.

Con el objetivo de reducir riesgos, prevenir la contaminación del medio ambiente y la ocurrencia de accidentes, en algunos casos será necesaria la estabilización del depósito a la espera de una solución definitiva que establezca el destino final de los plaguicidas obsoletos y otros desechos presentes.

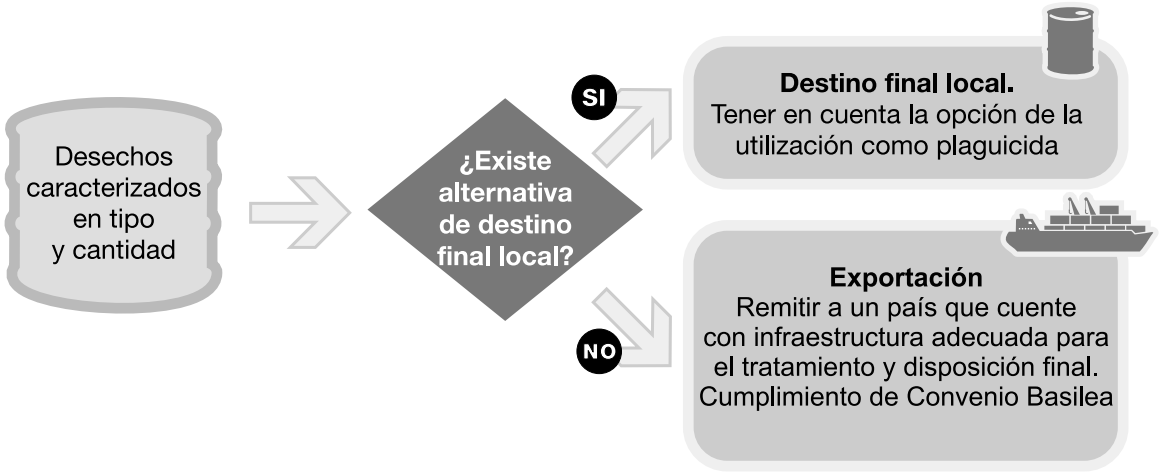
La estabilización del depósito comprende las siguientes acciones:

1. *Reenvasado de productos cuyos envases estén deteriorados.*
2. *Limpieza de los derrames.*
3. *Envasado de los materiales contaminados.*
4. *Relocalización dentro del mismo local o traslado a otro depósito transitorio.*

6.4 Evaluación de Alternativas de Destino Final

Como en cualquier sistema de gestión de residuos, se deberá procurar información sobre composición química de los mismos, los volúmenes a tratar y su estado físico.

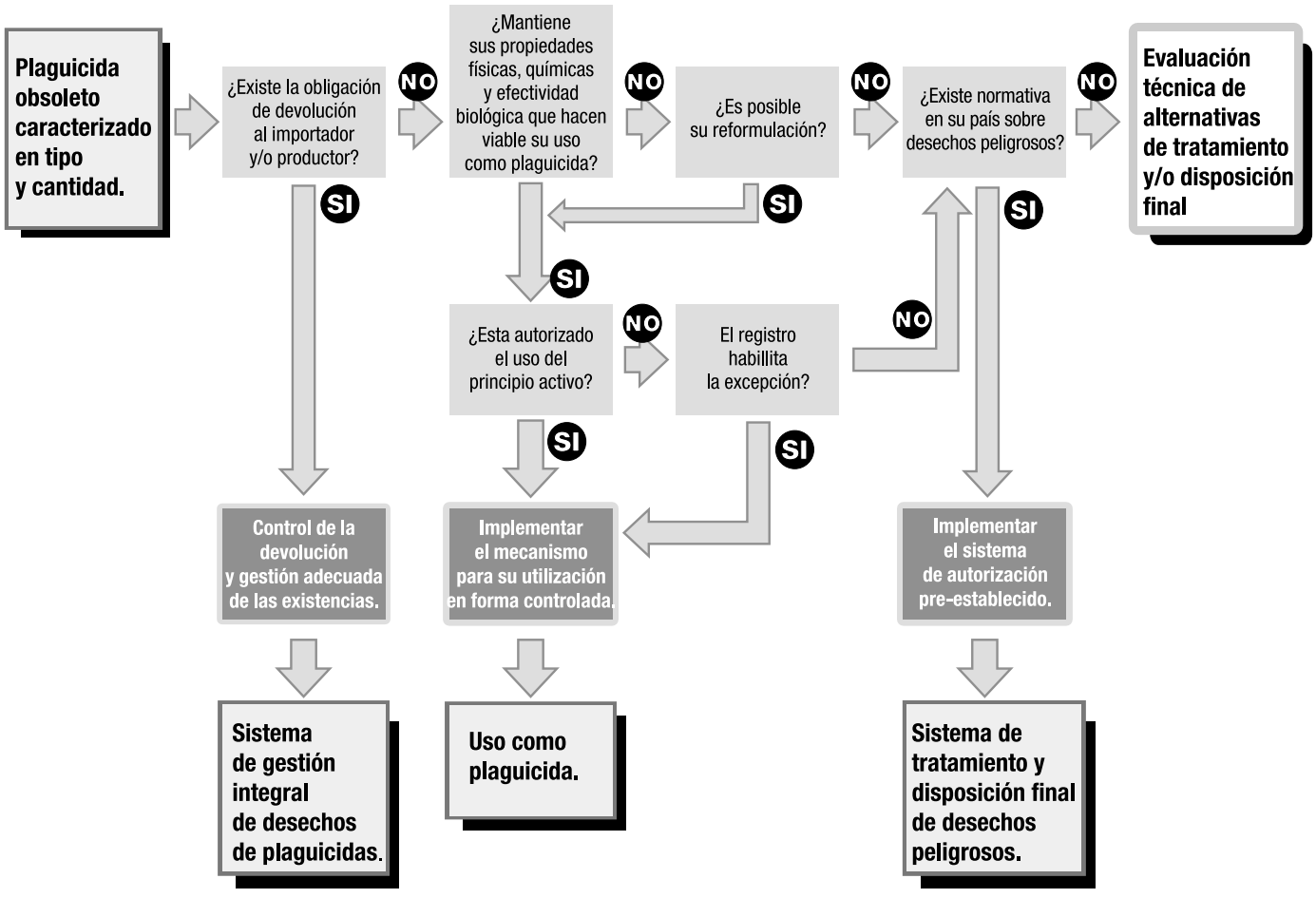
El primer análisis a realizar será si existe capacidad local viable para darle destino final a las existencias identificadas. De no existir la alternativa local deberá ser considerada la alternativa de exportación hacia un país que autorice la recepción y que cuente con capacidad para su tratamiento y/o disposición final. En la siguiente figura se ilustra el esquema general de destino final.



Las posibilidades disposición final de los plaguicidas obsoletos dependerán principalmente de las características de dichas existencias, de la normativa existente en materia de gestión y tratamiento de residuos peligrosos y de la infraestructura para el tratamiento de residuos que el país posea. En particular se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- *Sistema de registro o autorización de uso de plaguicidas a los efectos de evaluar la posibilidad de poder utilizar el plaguicida obsoleto.*
- *Existencia de un sistema de gestión integral de residuos de plaguicidas que establezca la obligación de la devolución de los residuos al importador o productor de plaguicidas.*
- *Normativa de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos.*
- *Infraestructura existente para el tratamiento de residuos peligrosos.*

A la hora de definir el destino final de una existencia de plaguicidas obsoletos se deberán analizar las alternativas que el país puede brindar. La siguiente figura muestra un diagrama sobre las opciones que pueden existir para la gestión de un plaguicida obsoleto, las que se describen a continuación.



Uso como plaguicida

Previo a analizar la vía de tratamiento y/o disposición final de los residuos es imprescindible que se evalúe la posibilidad de utilizar el compuesto para los fines que había sido producido (utilización como plaguicida). Para esto se deberá determinar si mantiene su efectividad biológica, analizar si su estado físico y composición química son adecuadas y verificar si el principio activo está habilitado o es posible su habilitación por la vía de la excepción para su uso como plaguicida.

En caso de que sus propiedades físicas y químicas no fueran las adecuadas para usarlo directamente como plaguicida se deberá analizar la posibilidad de su reformulación. Para esto se recomienda contactarse con empresas que se dediquen a la producción o formulación de plaguicidas en el país y evaluar la capacidad de ingresar el plaguicida obsoleto en alguno de los procesos de estas empresas.

De ser viable la utilización como plaguicida, en forma directa o a través de su reformulación, ésta será la opción recomendada para la gestión de la existencia, debiéndose acompañar el proceso de su aplicación a efectos de verificar la eliminación efectiva del plaguicida.

Sistema de gestión integral de residuos de plaguicidas

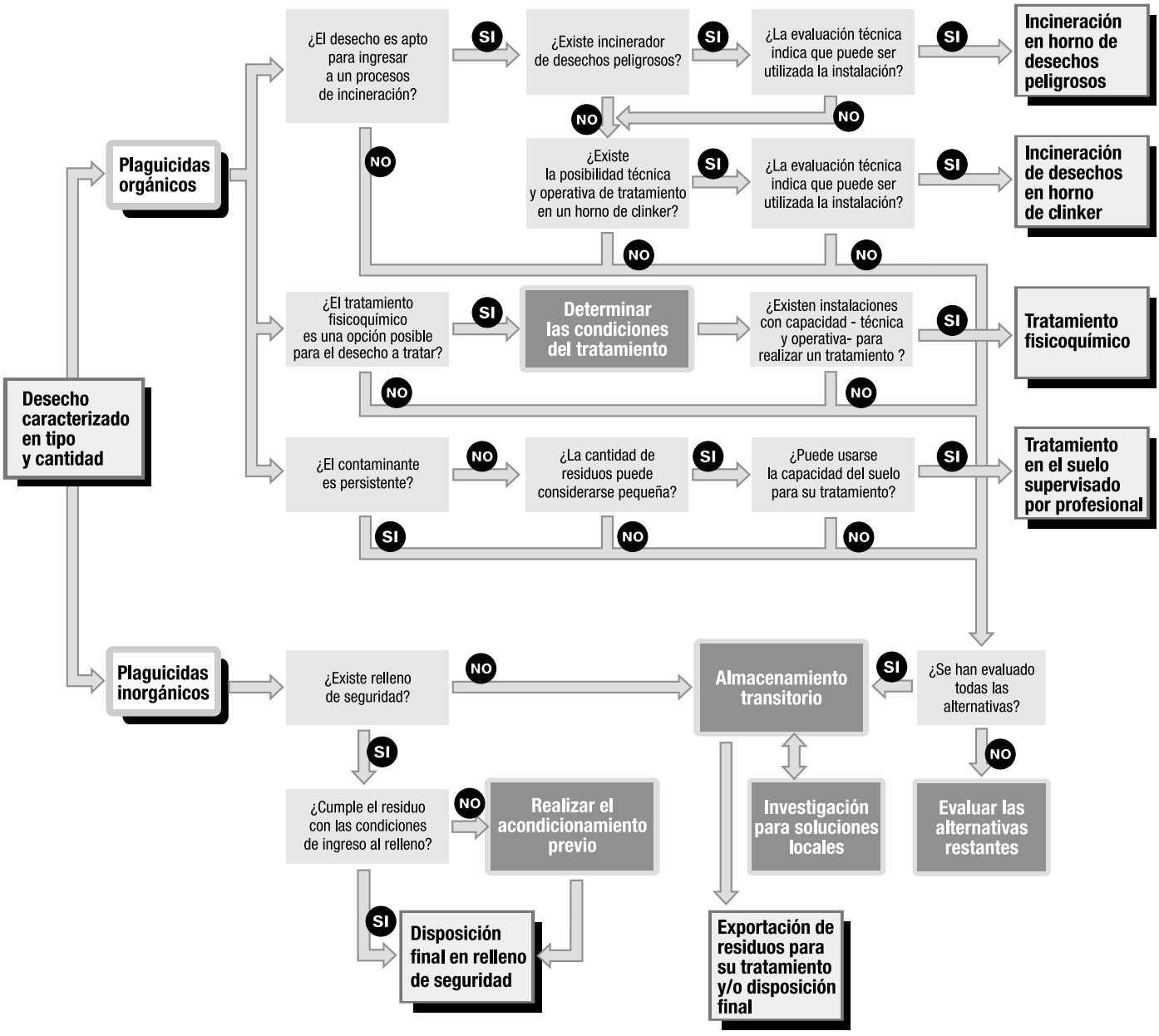
Se entiende por sistema de gestión integral de residuos de plaguicidas al sistema que se implementa en un país para la gestión de los residuos generados por la producción, distribución, comercialización y uso de los mismos. Estos sistemas involucran en general la implementación de un sistema de devolución por parte de los usuarios a través de puntos de recepción y la centralización de la gestión de los residuos a cargo de los productores e importadores.

En el caso que el país cuente con un sistema de gestión integral de residuos de plaguicidas se deberá optar por dirigir las existencias a dicho sistema, salvo que se esté frente a un plaguicida obsoleto cuyas características no permitan el ingreso al mismo.

La implementación de sistemas de gestión integral de residuos de plaguicidas involucra el desarrollo de una serie de procedimientos y la implantación de infraestructura específica para gestionar residuos contaminados con plaguicidas. Teniendo en cuenta que estos sistemas en general se diseñan para gestionar residuos generados por los productos que se comercializan en el mercado, puede ocurrir que no cuenten con capacidad para tratar y disponer algunos plaguicidas clorados que no estén autorizados.

Sistema de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos

Un país que cuente con normativa sobre gestión, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos tendrá mayor facilidad a la hora de gestionar dichos residuos en atención a que estarán las pautas pre-establecidas y contará al menos con alguna infraestructura para el tratamiento y disposición final. Sin perjuicio de ello es imprescindible tener en cuenta que es necesario evaluar la capacidad instalada de tratamiento y disposición final para residuos peligros para cada existencia de plaguicidas identificada en función de la variabilidad de los compuestos que pueden aparecer, la peligrosidad de los mismos y los volúmenes de las existencias. Para analizar esto se puede utilizar el esquema de evaluación técnica de alternativas presentado en la siguiente figura.



Evaluación de alternativas de tratamiento y disposición final

En los casos en que no existen normativas sobre residuos peligrosos, la gestión de las existencias identificadas se tornará más compleja teniendo en cuenta que el país no tiene establecido una serie de criterios de gestión de residuos y seguramente su infraestructura para el tratamiento y disposición final sea débil o inexistente.

Esta etapa del proceso involucra un análisis sobre las diferentes opciones de destino final y tendrá en cuenta una serie de criterios de los cuales se listan a continuación los principales.

Tecnológicos	Efectividad de la tecnología para transformar o contener adecuadamente el residuo.
	Capacidad instalada o infraestructura necesaria para gestionar los volúmenes identificados.
Ambientales	Impactos ambientales de la tecnología y riesgos asociados a su utilización.
Sociales	Niveles de rechazo social de las alternativas viables tecnológicamente.
Económicos	Costos de las alternativas viables tecnológicamente.

6.5 Referencias

Baseline study on the problem of obsolete pesticide stocks. FAO, 2001.

Destruction and decontamination technologies for PCBs and other POPs wastes under the Basel Convention. A training manual for hazardous waste project managers. Secretariat of the Basel Convention, 2002.

Directrices para el manejo de pequeñas cantidades de plaguicidas inutilizados y caducados. PNUMA - FAO - OMS, 2000.

Directrices provisionales para evitar existencias de plaguicidas caducados. FAO, 1996.

Guía práctica sobre la gestión ambientalmente adecuada de Plaguicidas Obsoletos en los países de América latina y el Caribe. Javier Martínez, Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe, 2004.

Managing obsolete stocks of crop protection products. CropLife International, 2004.

7. Envases Vacíos de Plaguicidas

La generación de envases de plaguicidas está asociada a un amplio espectro de la producción agropecuaria, en escalas que van desde la forestación de extensas áreas hasta el trabajo en pequeñas explotaciones hortícolas. Esta dispersión en la generación sumado a la característica de peligrosidad que les confieren los restos del plaguicida que contienen, convierten a los envases vacíos de plaguicidas en una corriente particular de residuos que requiere de políticas específicas de gestión.

7.1 Caracterización

Se entiende por envase de plaguicida a todo lo que envuelve o contiene una determinada formulación de principios activos de plaguicidas. La principal característica de los envases vacíos es la presencia de residuos de plaguicidas, tanto como una fase separada del material del envase, como adsorbidos a la superficie interna, por lo que constituyen un residuo peligroso.

Cada principio activo es comercializado en varios estados físicos (disuelto, disperso en solución acuosa o sólido), mezclado con distintos coadyuvantes y en algunos casos mezclado con otros principios activos. Los tamaños de los envases van desde 0,5 hasta 200 litros, mientras que los materiales y formas del envase son muy variados. Otro factor a tener en cuenta es que los fabricantes desarrollan nuevas formulaciones y presentaciones cada año. Es así que la distribución de envases vacíos por tipo de material, tamaño y formulación que contienen constituye una gran matriz, compleja y muy dinámica.

Los materiales de fabricación del envase, en orden según su porcentaje en peso son:

- ***Plástico**: principalmente PEAD (Polietileno de alta densidad) para el cuerpo del envase y PP (polipropileno) para las tapas y tapones. En un porcentaje menor PEBD (Polietileno de baja densidad) para envases dúctiles y PVC (Cloruro de Polivinilo) y COEX (Polietileno co-extrudado) para envases rígidos.*
- ***Metal**: predominantemente aluminio y hierro.*
- ***Vidrio**: uso cada vez menos frecuente.*
- ***Cartón y Papel**: usado en formulaciones en fase sólida o para embalaje de envases de pequeño tamaño.*

En la siguiente tabla se presenta la distribución porcentual media de los materiales utilizados en 18 países de América Latina entre los años 1998 y 2001, según datos de filial latinoamericana de la Federación Global para la Protección de Cultivos.

Material	Plástico lavable	Metal	Cartón	Plástico no lavable	Laminados	Vidrio
%	64	17	13	4	1	1

En la distribución presentada se introduce el concepto de "lavable" y "no lavable" que se refiere a la posibilidad que el envase pueda ser lavado con agua. En tal sentido se define como **lavable** a aquellos envases rígidos (plástico, metal o vidrio) que contienen formulaciones líquidas de plaguicidas para ser diluidas con agua. Por otro lado los **no lavables** son todos los envases flexibles y los rígidos que contienen plaguicidas que no utilizan agua como vehículo de pulverización.

En general no existe información suficiente relativa a la generación de envases vacíos, por lo que resulta conveniente disponer de índices que permitan realizar estimaciones a partir de datos relativamente fáciles de obtener, como ser las toneladas de plaguicidas utilizadas en un país. Hay que tener en cuenta sin embargo, que estos índices varían en el tiempo como consecuencia de los cambios en los tipos de materiales y formatos de los envases.

De forma de poder contar con un índice primario, se utilizaron los datos de Brasil correspondientes al año 1999. Este índice puede considerarse como representativo para América Latina, ya que Brasil consume cerca de la mitad de los plaguicidas que se utilizan en la región.

En el año 1999 Brasil consumió un total de 127.585 toneladas de plaguicidas, generando un total de 23.601 toneladas de envases vacíos, lo que representa un **índice de generación de 0,185 toneladas de envases vacíos / toneladas de plaguicidas utilizados**.

7.2 Riesgos Asociados a los Envases Vacíos de Plaguicidas

Los plaguicidas son materiales biológicamente activos que se utilizan con el fin de controlar o eliminar plagas y enfermedades. Constituyen una amplia gama de productos químicos con diferentes grados de toxicidad, existiendo muchos productos catalogados como altamente tóxicos. Otras características a destacar de muchos plaguicidas son: la persistencia, la bioacumulación y la capacidad de poder ser transportada por vía del agua, aire o especies migratorias a áreas remotas.

Los envases vacíos de plaguicidas por contener restos de esos productos son una fuente potencial de contaminación. Un mal manejo de los mismos puede provocar la muerte y eventualmente desaparición de otros organismos beneficiosos y representar un riesgo para la salud humana y para el ambiente.

Algunos factores importantes que determinan la magnitud de los riesgos asociados a la dispersión de los plaguicidas derivados de los envases están dados fundamentalmente por las propiedades de los mismos, cantidad de producto remanente en el envase, la forma de disposición final y de las características o vulnerabilidad de la zona utilizada para la disposición.

Existen una serie de prácticas inadecuadas para la disposición de los envase vacíos de plaguicidas, que son comúnmente utilizadas en la mayoría de los países, entre las que se destacan el reuso, la destrucción o el enterramiento en el medio rural y la disposición en vertederos.

El reuso de los envases vacíos puede generar la contaminación de los productos reenvasados y generar efluentes contaminados durante el lavado.

La práctica más usada para destrucción de envases es la quema. El procedimiento varía desde quema a cielo abierto hasta el uso de hornos de quema de diseño más o menos simple. Esta práctica tiene dos aspectos ambientales negativos: la emisión de humos y la generación de residuos sólidos (cenizas y material parcialmente incinerado). La combustión a bajas temperaturas, en forma desigual y con defecto de oxígeno genera emisiones conteniendo compuestos tóxicos. En principio estas emisiones representan una vía de exposición a sustancias peligrosas del personal rural que realiza la quema. Sin embargo, debido a la persistencia y al transporte a grandes distancias de las sustancias generadas el impacto no está circunscripto al área de quema.

En predios donde se generan un número moderado de envases es común el enterramiento, generalmente en conjunto con otro tipo de residuos. El uso de esta práctica puede generar la liberación y migración del plaguicida hacia las aguas subterráneas. Si bien en la aplicación de plaguicidas también libera sustancias peligrosas en el suelo las condiciones son menos agresivas. La sustancia es liberada en menores concentraciones, ingresa al suelo a nivel superficial y actúan mecanismos de degradación microbiológica y fotodegradación.

En el caso de la disposición en vertederos donde no se controlan las emisiones líquidas existe la posibilidad de migración de plaguicidas o productos de su degradación a través del lixiviado. Cuando el vertedero cuenta con sistemas de colecta y tratamiento de lixiviados, la presencia de sustancias persistentes y tóxicas para los microorganismos puede afectar los sistemas de tratamiento biológicos.

7.3 Gestión de los Envases Vacíos

Desde el año 1991 la Federación Global para la Protección de Cultivos a través de su filial en Latinoamérica y las Cámara asociadas en cada país viene promocionando proyectos para el uso seguro de plaguicidas y la disposición final de los envases vacíos.

Los programas promueven el triple lavado de envases y la construcción de Centros de Acopio. Estos centros consisten en depósitos, ubicados dentro de la zona agrícola, donde se concentra la recolección de envases vacíos sometidos previamente al triple lavado y son acondicionados de acuerdo al destino final al que serán sometidos.

Los primeros países de América Latina en comenzar a implantar estos programas fueron Argentina y Guatemala. A fines del año 2002 existían un total de 11 países de la región que contaban con 79 centros y 417 minicentros de acopio, que llegaron a eliminar 4470 ton de envases vacíos, contando con programas de gestión con grados muy variados de avances.

Como destino final se promueve fundamentalmente el reciclado de los materiales y la utilización como combustible alternativo en hornos de cemento.

Los combustibles alternativos generalmente usados son el PEAD y el PP por la facilidad de su manejo y poder energético similar a los combustibles tradicionales. Por otro lado, se descarta el uso de PVC por el potencial de generación y emisión de dioxinas y furanos.

En aquellos lugares donde aún no se cuenta con centros de acopio se recomienda el triple lavado y el enterramiento en lugares de baja vulnerabilidad.

El éxito de los programas de gestión está muy condicionado a una serie de etapas previas donde es necesaria la participación activa de todos los actores involucrados donde se incluye al agricultor, los profesionales asesores, los fabricantes, los distribuidores, diferentes reparticiones del gobierno, cámaras de agroquímicos y organizaciones no gubernamentales. Entre otros aspectos es necesario considerar los siguientes puntos:

- *La industria del país, los distribuidores y cámaras de agroquímicos deben estar convencidos de que el programa de eliminación es necesario y realizable en el país.*
- *Las compañías afiliadas deben comprometerse a apoyar el programa, técnica y financieramente. Como un programa de eliminación requiere de fondos es importante definir las fuentes de financiamiento con anterioridad siendo las cooperaciones necesarias y de interés.*
- *Las autoridades nacionales deben participar del proceso y aprobar el proyecto antes que el mismo sea iniciado.*
- *Las formas de eliminación, acordes a las realidades locales, deben ser estudiadas, analizadas y elegidas con anterioridad a la recolección de envases. El destino final debe conocerse antes de iniciar cualquier trabajo.*
- *Los programas de difusión de la campaña deben ser amplios, incluyendo a todos los involucrados en el proceso: el hombre de campo y su familia, escuelas y universidades rurales, técnicos y peritos agropecuarios y por supuesto, a las autoridades locales.*
- *Los técnicos y personas encargadas del programa deben ser elegidos con anterioridad y deben tener tiempo disponible como para garantizar una completa dedicación a las actividades. El personal que trabajará en los centros de acopio debe ser entrenado para poder cumplir con las tareas encomendadas y tener disponibles los equipos de seguridad necesarios.*
- *El lugar para el centro de acopio de envases debe estar ubicado estratégicamente dentro de la zona agrícola, alejado de zonas urbanas. El tamaño y el equipo se definirá de acuerdo a las necesidades.*
- *Los centros de acopio deben tener infraestructura básica, como también conexión eléctrica para el funcionamiento de la maquinaria.*
- *Las disposiciones legales deben permitir las tareas elegidas para la eliminación.*

Existen productos particulares para los cuales se practica la recarga, generalmente cuando el envase es de grandes dimensiones (tarrinas o tambores), de material resistente y existe un vínculo estrecho entre proveedor y usuario por el uso periódico de una marca de plaguicida particular. Esta alternativa está limitada a productos y fabricantes particulares y no representa un peso importante en ninguna parte del mundo.

La estrategia general en países donde está autorizada la disposición de envases de plaguicidas junto a residuos urbanos es la minimización de los restos de plaguicida previo a su disposición mediante el

triple lavado realizado en el medio rural. También se recomienda la reducción de tamaño mediante compactación o molienda a efectos de mejorar la operativa del sitio de disposición.

7.4 Triple Lavado

A nivel internacional se ha generalizado la recomendación de la aplicación de dos tareas esenciales a ser realizadas en el medio rural, previo a cualquier alternativa utilizada para la disposición final de los envases vacíos. Las tareas consisten en la utilización del triple lavado y la posterior inutilización del envase. En países como Brasil y Guatemala existen normas y decretos que hacen obligatorio el uso de estos procedimientos.

El triple lavado consiste en:

- *Vaciar completamente el contenido del envase en el tanque del equipo pulverizador*
- *Agregar agua limpia hasta ¼ del volumen*
- *Tapar bien y agitar durante 30 segundos*
- *Volcar el agua en el tanque del equipo pulverizador*
- *Repetir esta operación dos veces mas*

La inutilización consiste en perforar el fondo de los envases.

Estos procedimientos son aplicables a aquellos envases que cumplen con la definición de lavables, es decir envases rígidos conteniendo productos líquidos que se disuelven en agua para su aplicación.

Una alternativa al triple lavado es el lavado a presión que se realiza cuando los equipos de pulverización cuentan con el accesorio correspondiente. En este caso el puntero de agua a presión es introducido dentro del envase y direccionado hacia todas las paredes durante 30 segundos. El agua es posteriormente transferida al tanque de la unidad de pulverización.

La utilización de este procedimiento constituye ventajas en tres campos:

- ***Económico**: por el aprovechamiento total del producto ya que se recupera más del 99 %.*
- ***Seguridad laboral**: una vez descontaminados los envases pueden ser considerados como seguros para el manipuleo.*
- ***Ambiental**: se disminuye el potencial impacto de contaminación de los diferentes medios al eliminar o minimizar los factores de riesgo.*

Resultados del triple lavado

A través de muchas pruebas y análisis realizados en diferentes países y por diferentes instituciones, se puede afirmar que el porcentaje de eliminación de los residuos es superior al 99.99 %. El término de "Triple Lavado" ha sido inclusive aceptado por algunas autoridades como sinónimo de limpieza de los envases.

En la siguiente tabla se presenta un ejemplo teórico de cálculo de la contaminación residual de un envase de PEAD de 10 litros de capacidad luego de someterlo a un triple lavado.

Peso del envase	**2.5 Kg**
Cantidad de producto inicial	**5000 g**
Cantidad de producto residual (Se asume un 3 % del contenido original)	**150 g**
Residuo luego del triple lavado (Se asume una eficiencia del 99.9 %)	**0.15 g**
Contaminación	**60 ppm**

7.5 Referencias

Container Management Strategy Guidelines, ECPA, 1997

Destinacao Final de Embalagens Vazias de Agrtoxicos, Associacao Nacional de Defensa Vegetal, Brasil, 2002

Eliminación de envases, CROP LIFE LATIN AMERICA, 2002

Envases vacíos de plaguicidas, una corriente particular de residuos. J. Martínez, P. Gristo. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe, OPS-OMS, Uruguay, 2002.

Reciclaje de Envases de Agroquímicos, Allevato, Pórfido. REPAMAR, 2002

8. Medicamentos Vencidos

En el pasado siglo los medicamentos fueron ganando terreno en el campo de la salud, llegando a tener un sitio muy importante sustentando, facilitando y permitiendo solucionar situaciones que en épocas anteriores no eran posibles. No obstante ello, una mala gestión de los mismos, en las distintas etapas de su ciclo de vida, puede causar graves daños a la salud humana y al medio ambiente, especialmente cuando se trata de algunos tipos específicos.

Los medicamentos son formulaciones farmacéuticas que están constituidas por un principio activo o conjunto de ellos, de origen natural o sintético. Están destinados para su utilización en las personas o animales y tienen propiedades para prevenir, tratar o aliviar enfermedades o dolencias o modificar funciones fisiológicas.

Pueden tener diferentes presentaciones de acuerdo no sólo a las propiedades físicas y químicas de los principios activos y excipientes, sino a la modalidad que se requiere para lograr una buena biodisponibilidad y el efecto buscado en el enfermo. Los comprimidos, cápsulas, polvos, jarabes e inyectables son algunas de las formas más frecuentes en las que la industria farmacéutica presenta los medicamentos.

El universo de medicamentos que se utilizan en la actualidad es muy grande y existen distintos criterios de clasificación. El más ampliamente usado es el que se basa en las propiedades farmacológicas y/o usos terapéuticos. Los antibióticos, citostáticos, analgésicos, vasodilatadores, tranquilizantes, desinfectantes, psicotrópicos, narcóticos son algunos ejemplos de cómo se agrupan o clasifican los medicamentos.

Los **citostáticos**, **antibióticos** y **psicotrópicos** constituyen categorías que deben ser especialmente controladas por la naturaleza del medicamento propiamente dicho y la magnitud de los riesgos que representan para quienes los manipulan y para el medio ambiente.

Los **citostáticos** son medicamentos capaces de inhibir el crecimiento desordenado de células tumorales, alterando la división celular y destruyendo las células que se multiplican rápidamente.

Los **antibióticos** son medicamentos que se utilizan para combatir infecciones provocadas por bacterias. Usando el criterio de grupo químico se pueden clasificar en penicilinas y cefalosporinas, cloranfenicol y derivados, tetraciclinas, polipeptídicos, poliénicos y macrólidos entre otros.

Los **psicotrópicos** son medicamentos que estimulan el sistema nervioso central.

8.1 Generación de Residuos

Los medicamentos vencidos o productos farmacéuticos caducados corresponden a un grupo de residuos que se generan luego de pasada su fecha de vencimiento o debido a que pierden sus propiedades por situaciones particulares, como por ejemplo condiciones de almacenamiento inapropiadas. Si los medicamentos vencidos contienen una o más sustancias tóxicas o de especial cuidado deberán ser considerados residuos peligrosos y gestionados como tales.

Causas de generación

Los medicamentos, una vez pasada su fecha de vencimiento, se convierten en residuos. La fecha de vencimiento, malas condiciones de almacenamiento, envases en mal estado, restos o sobras de preparaciones, donaciones y compras de medicamentos con fechas cercanas al vencimiento son situaciones que causan la generación de estos residuos.

Fecha de vencimiento - Un medicamento se vuelve residuo una vez que ha pasado el límite que establece la fecha de vencimiento impresa en el envase que el fabricante proporciona. En primera instancia dado que los medicamentos contienen sustancias químicas, la fecha de vencimiento es una aplicación e interpretación directa de los estudios de estabilidad de la sustancia química o principio activo contenido en el medicamento y su interacción con los excipientes que la acompañan. A este respecto un medicamento a la venta y durante su período de utilización debe mantenerse estable, lo que generalmente significa que se mantenga en un valor de potencia superior al 90 % y que conserva las propiedades químicas, físicas, microbiológicas y biofarmacéuticas requeridas. Esta causa de generación es la más conocida y respetada por el usuario al momento de determinar que el medicamento no es apto para su uso.

Condiciones de almacenamiento inapropiadas - La fecha de vencimiento, reflejo de la estabilidad de un medicamento, no es un dato que puede tomarse en forma aislada, dado que está directamente relacionado a las condiciones de almacenamiento, exposición a la luz, cambios importantes de temperatura y humedad. Las malas condiciones de almacenamiento traen además como consecuencia relativamente frecuente la modificación en la biodisponibilidad del medicamento, alterando propiedades de disgregación y disolución de los comprimidos por ejemplo.

Envases en mal estado - Aún durante el período en el que la fecha de vencimiento indicaría que un medicamento está apto para el uso que fue fabricado, si al momento de su compra el envase está abierto, roto o en mal estado se convierte en un residuo y no debe ser usado.

Restos de medicamentos / sobras de preparaciones - Se refiere a situaciones donde se inicia un tratamiento y no se termina de usar el medicamento. En este caso los sobrantes se convierten en residuos. Las situaciones de "sobra de preparaciones" se dan especialmente en centros de atención de salud donde se administran medicamentos y pueden sobrar soluciones preparadas que no fueron totalmente administradas. También se consideran sobras a los restos que quedan en viales y ampollas luego de la administración.

Donaciones y compras de medicamentos con fecha de vencimiento cercana - Existen muchos casos en donde la generación de residuos de medicamentos se da luego de una emergencia ambiental o sanitaria provocada por un desastre natural o por situaciones de conflictos. En estos casos, dada la situación de urgencia es muy difícil controlar las condiciones de los medicamentos al momento de su ingreso, pudiendo generar en el país receptor, durante o luego de la atención de la situación puntual, un problema por el volumen de residuos que se generan y la falta de infraestructura para asumir la eliminación ambientalmente adecuada de los mismos. Esta situación es objeto de alerta y preocupación en muchos países y se ha vinculado en más de una ocasión con posibles casos de tráficos ilícitos de residuos peligrosos. Como forma de orientar a los países que intervienen en el proceso de donaciones, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cooperación con otras instituciones internacionales elaboró directrices sobre donativos de medicamentos. Estas directrices constan de doce artículos que proporcionan criterios que pueden ser adaptados y aplicados por quienes participan en donaciones de medicamentos.

Otros - La falta de venta, incidentes durante la manipulación y el transporte, rupturas durante el almacenamiento, salida del mercado o entrada de nuevos principios activos, son otros motivos de generación.

Lugares de generación

Los residuos de medicamentos se generan en la industria farmacéutica, centros de atención de salud, lugares de venta y en mucho menor proporción en los hogares.

Es de especial interés mencionar a las zonas francas como un sitio de generación por vencimiento de medicamentos o de sus principios activos. Las zonas francas ofrecen un lugar de almacenamiento transitorio, exento de impuestos, muy buscado por los beneficios que brindan a sus usuarios. Por lo general los depósitos en zonas francas no son laboratorios de fabricación de medicamentos, simplemente ofrecen un lugar de depósito para distinto tipo de productos, incluidos los medicamentos. Además, como no todos los países tienen zonas francas, los medicamentos o sus principios activos suelen estar almacenados en países diferentes al de fabricación o al de consumo. Esto tiene varias implicancias al momento de gestionar los residuos que se generan en las mismas y en especial en la asignación de responsabilidades, dado que las legislaciones de los países con zonas francas no son completas en relación a este tema. Esta situación se hace más crítica aún en países donde no existe infraestructura apropiada para eliminar adecuadamente residuos de medicamentos.

Clasificación del residuo

La clasificación de los medicamentos vencidos se realiza en base a la gestión de los mismos como residuos. En este sentido se pueden clasificar como:

- ***residuos especiales*** - *son aquellos que no presentan características de peligrosidad, pero deben ser inutilizados para evitar su posterior uso*
- ***biológicos-infecciosos*** - *se trata de vacunas, sueros y antígenos*
- ***peligrosos*** - *son aquellos que pueden afectar al hombre o al medio ambiente por sus características de peligrosidad.*

8.2 Riesgos para la Salud y el Medio Ambiente

Los **citostáticos** tienen un gran peligro toxicológico que puede afectar a quien lo manipula, al enfermo y al ecosistema, debido a que fueron diseñados para originar muerte celular, sin diferenciar entre células sanas o afectadas por cáncer. De acuerdo a datos experimentales en animales, la mayoría de los citostáticos han demostrado propiedades mutagénicas, carcinogénicas, teratogénicas y embriotóxicas. Por lo tanto el riesgo que suponen para los seres vivos que están en contacto con ellos, hacen necesario tomar precauciones en la manipulación a lo largo de todo el ciclo de vida.

Los **antibióticos** además de los efectos deseados pueden causar alergias, disbateriosis (eliminación de bacterias de presencia deseable en el organismo), sobrecrecimientos (eliminar alguna bacteria pero permitir el crecimiento de otras o de hongos), resistencias (las bacterias pueden hacerse resistentes a los antibióticos, la administración continua o repetida de antibióticos a enfermedades menores favorece la aparición de estas resistencias), toxicidad (pueden provocar daños renales, hepáticos y del sistema nervioso).

Los **psicotrópicos** son controlados por las distintas autoridades nacionales competentes debido a que su uso indebido o abusivo puede provocar daños severos, muerte, farmacodependencia física y psíquica, somnolencia y disminución del estado de alerta.

En general los medicamentos vencidos no representan una grave amenaza para la salud y el medio ambiente si se manipulan correctamente, se almacenan en lugares apropiados y se eliminan usando métodos ambientalmente adecuados. En caso contrario pueden provocar diferentes efectos, entre los que se destacan:

- *Causar contaminación del agua potable*
- *Perjudicar la vida acuática*
- *Matar microorganismos claves para el ecosistema*
- *Bioacumularse en tejidos de los seres vivos y luego expresar sus propiedades tóxicas*
- *Provocar cambios en los seres vivos*
- *Generar resistencias a microorganismos patógenos*
- *Liberar contaminantes cuando son quemados en forma inapropiada*
- *Pasar a la cadena de distribución informal y ingresar nuevamente al mercado*

8.3 Gestión de Medicamentos Vencidos

Los medicamentos vencidos constituyen un grupo de residuos que no cuentan con una historia normativa propia o una que acompañe reglamentaciones ambientales o de salud, por lo que es difícil encontrar normas específicas que regulen su gestión. Sin embargo, al igual que cualquier residuo, la gestión de los medicamentos vencidos incluye la prevención de su generación, clasificación, segregación, tratamiento y disposición.

En la gestión de los medicamentos vencidos, al igual que para el resto de los residuos, intervienen varios actores. Especial atención merecen los hurgadores, ya que en este caso su participación resulta muy negativa y requiere de medidas preventivas que eviten que estos actores tomen contacto con los medicamentos vencidos. No existe duda que si la oportunidad existe los hurgadores podrían recolectar y clasificar los medicamentos vencidos provenientes de los hospitales, los vertederos o de los residuos domésticos. Es esencial por tanto contar con sistemas de manejo de estos residuos que brinden las garantías necesarias para que no ingresen nuevamente al sistema de comercialización por medio del sector informal.

Prevención

La prevención en la generación incluye a los fabricantes y en particular a quienes almacenan y/o venden los medicamentos. Un sistema de manejo del stock que incluye fechas de vencimiento, cantidades en stock, cantidades adquiridas, estadísticas de compra y venta, temporadas y frecuencias de enfermedades, es una herramienta que debe ser utilizada. Asimismo, las empresas deben contar con una política de devolución previa al vencimiento y normas de aceptación de los productos, en donde se establezcan por ejemplo las fechas mínimas previas al vencimiento en el momento de la compra.

En el pasado los medicamentos vencidos quedaban en los lugares de venta, centros de atención y hogares formando parte luego de los residuos comunes. Con el transcurso del tiempo y el desarrollo del concepto de distribución revertida, las farmacias y centros hospitalarios acceden a la alternativa de devolución de sus medicamentos vencidos. Mediante este mecanismo, las empresas vendedoras/ fabricantes de medicamentos aceptan los medicamentos vencidos como forma de pago de una nueva partida. En la actualidad esta práctica aún no se utiliza en forma generalizada.

Clasificación, segregación, tratamiento y disposición

La clasificación de los medicamentos vencidos, de acuerdo a los grupos mencionados, permitirá darle un mejor destino a los residuos en función de sus características particulares.

La segregación consiste en separar el medicamento propiamente dicho de los otros componentes que conforman el residuo, como son los envases secundarios (cartón, papel, plástico, vidrio). Esta segregación no sólo permite disminuir el volumen de residuos generados, sino que también posibilita el reciclado de los materiales de los envases secundarios o su disposición en rellenos sanitarios por tratarse de residuos asimilables a urbanos.

En líneas generales, las tecnologías a ser empleadas para el tratamiento de los medicamentos vencidos deben ser acordes a sus propiedades físicas y químicas, así como las características de peligrosidad y riesgo.

Como fuera mencionado, los medicamentos vencidos pueden ser clasificados como **residuos especiales, biológicos-infecciosos** y **peligrosos**.

Los **residuos especiales** pueden considerarse como asimilables a urbanos, por lo que pueden disponerse en rellenos sanitarios en celdas especiales o realizarse una co-disposición con los municipales, procediendo a su cobertura al final de la jornada. Previo a la disposición se requiere que sean compactados y destruidos de tal forma que sean irreconocibles e inutilizables.

Los **residuos biológicos-infecciosos** deben tratarse de manera física, química o térmica para inactivarlos y destruirlos. De acuerdo al método utilizado y a su efectividad, una vez tratados estos residuos pueden disponerse en rellenos sanitarios en celdas especiales o realizarse directamente la co-disposición con los residuos urbanos.

Los residuos de medicamentos vencidos clasificados como **peligrosos** deben ser tratados utilizando tecnologías similares a las requeridas para otros residuos peligrosos, siendo la incineración la alternativa que brinda mayores garantías.

Los citostáticos, los antibióticos y psicotrópicos generan residuos de medicamentos de especial atención que están sujetos a eliminación mediante tratamientos especiales.

Los psicotrópicos forman parte de los medicamentos en los cuales la incineración es la tecnología recomendable.

Los residuos de medicamentos citostáticos, constituidos por medicamentos vencidos y por los restos de los principios activos usados para su fabricación, se clasifican como residuos peligrosos. Deben colocarse en bolsas selladas y etiquetadas dentro de un recipiente estanco de poliestireno o polipropileno, con cierre hermético, a prueba de perforaciones y resistente a agentes químicos. Se debe indicar claramente que son residuos de citostáticos, deben ser manejados por empresas debidamente autorizadas y ser incinerados a temperaturas de mayores a 1200 °C. Si no es posible la incineración se debe realizar una rigurosa destrucción química.

A pesar de que los residuos de los antibióticos tienden a descomponerse en condiciones ambientales, deben ser cuidadosamente eliminados debido a que existen evidencias de su presencia en el medio ambiente, desconociéndose los efectos que los mismos causan en los ecosistemas donde fueron encontrados. Los antibióticos requieren tratamientos químicos o térmicos. Los métodos químicos se basan en hidrólisis alcalinas, ácidas o enzimáticas, de acuerdo a las propiedades del grupo. También pueden utilizarse agentes quelantes como forma de eliminar sus propiedades. En la siguiente tabla se presentan algunos ejemplos de tratamientos propuestos de acuerdo a la clasificación química de los antibióticos, siendo necesario ajustar el procedimiento en cada caso.

Tipo	Tratamiento propuesto
Penicilinas, Cefalosporinas	Hidrólisis en presencia de ácidos, bases o enzimática
Cloranfenicol	Hidrólisis básica con hidróxido de sodio
Tetraciclinas	Tratamiento con ácidos o bases fuertes
Polipeptídicos	Tratamiento térmico/hidrólisis ácida
Amebicidas	Quelación

8.4 Referencias

Directrices de seguridad para el desecho de preparaciones farmacéuticas no deseadas durante y después de una emergencia. Organización Panamericana de la Salud/OMS. ***www.paho.org***

Directrices sobre donativos de medicamentos. Organización Mundial de la Salud, 1999

Drugs past their expiration date. The Medical Letter on Drugs and Therapeutics, Vol 44, 2002. ***www.medicalletter.org***

Las bases farmacológicas de la terapéutica, Goodman, L., Gilman,A.G., v.II 9ª. Ed. Ed. Mc Graw Hill, 1996

Manual de recomendaciones para la manipulación de medicamentos citostáticos. Servicio de Farmacia Hospital Universitario de Son Dureta, 2002

RCRA. Manual de Orientación. ***www.epa.gov***

9. Chatarra Metálica

Los materiales metálicos que se desechan en su mayoría están disponibles para su recuperación, existiendo una demanda sostenida de este tipo de chatarra. Gran parte de la producción mundial de metales se realiza a través del reciclado de la chatarra metálica. Los metales pueden recuperarse y regenerarse una y otra vez sin que pierdan sus propiedades, no distinguiéndose de los metales vírgenes, por lo cual existe un mercado importante de compra y venta de chatarra.

Los metales son recursos naturales no renovables por lo que es conveniente su aprovechamiento a través de la fundición secundaria de chatarra. Existen ventajas económicas ya que la producción primaria de metales implica importantes costos de inversión y operación, tanto en lo que respecta a la extracción como al procesamiento de los minerales. La producción de aluminio a partir de chatarra es un claro ejemplo en el cual la fundición secundaria genera un ahorro del 95% de la energía si se compara con la producción a partir del mineral primario, la bauxita.

Adicionalmente, la recuperación de metales a partir de la chatarra evita los impactos ambientales ocasionados por la industria minera. Sin embargo hay que tener en cuenta que un procesamiento inadecuado de la chatarra puede generar otro tipo de impactos ambientales, así como afectación de la salud humana.

9.1 Tipo de Chatarra Metálica y Principales Fuentes

La chatarra metálica se puede clasificar en:

- *chatarra generada en las plantas de fundición de metal*
- *recortes o productos fuera de especificaciones provenientes de la fabricación de productos metálicos (se trata de chatarra limpia que generalmente se reutiliza en las fundiciones)*
- *maquinaria, materiales obsoletos y envases (chatarra sucia, no clasificada)*

La chatarra sucia o no clasificada, comúnmente contiene restos de aquellos materiales que componían o contenían los artículos originales como etiquetas, plásticos, pinturas, lacas, barnices, adhesivos o sustancias que entraron en contacto durante su uso como es el caso de aceites, solventes, soluciones ácidas o restos de productos en caso de tratarse de envases.

Los metales ferrosos (hierro y acero) representan el mayor volumen de chatarra recuperada. Dentro del grupo de los metales no ferrosos los más comúnmente recuperados son: aluminio, cobre, plomo, cinc y sus aleaciones.

Las principales fuentes de chatarra son la industria metal mecánica, el desguace de automóviles, maquinaria, herramientas y electrodomésticos obsoletos, cables de tendido, baterías usadas, mantenimiento y desmantelamiento de plantas industriales, demolición de edificios y talleres mecánicos entre otros.

En la siguiente tabla se presentan las fuentes más comunes de chatarra discriminadas por tipo de metal.

Metal	Fuentes más comunes
Plomo	Baterías de plomo (88% del uso de Plomo), recubrimiento de cables, cañerías antiguas.
Cobre	Cables eléctricos, circuitos electrónicos, bobinados de transformadores, aleaciones de bronce y latón.
Aluminio	Residuos de demoliciones, recortes o productos fuera de especificaciones de fábricas de materiales de aluminio, perfiles, envases.
Cinc	Polvos de producción de aleaciones de cobre y de acero por arco eléctrico, residuos del proceso de galvanizado.
Hierro/ acero	Industria metal mecánica, desguace de automóviles, maquinaria industrial, repuestos y electrodomésticos obsoletos, estructuras edilicias, envases.

9.2 Impactos sobre la Salud y el Medio Ambiente

La mayoría de los metales que conforman la chatarra se encuentran en forma de láminas, trozos o partes y no constituyen un residuo peligroso, salvo que se encuentren en forma de partículas finamente divididas. Sin embargo, la presencia en la chatarra de otros componentes no metálicos sumado a las condiciones precarias en las que en la mayoría de los casos se realiza la recolección, clasificación y fundición, hacen que existan riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente.

Las principales prácticas de procesamiento de chatarra metálica que generan impactos sobre la salud y el medio ambiente son:

1. *Las condiciones precarias de los actores que recogen y recuperan chatarra. En la mayoría de los casos se trata de una actividad informal, realizada por personas de bajos recursos económicos. Estas personas almacenan la chatarra en el mismo predio de su vivienda y con el propósito de clasificar o limpiar el metal, previo a la venta a las plantas de fundición, realizan las siguientes prácticas no adecuadas:*
   - ➔ *Queman y funden los materiales a cielo abierto. Estas prácticas generan emisiones gaseosas conteniendo sustancias tóxicas como metales pesados y dioxinas y furanos, en niveles de concentración que son perjudiciales para la salud humana, tanto para el operador como para sus*

vecinos, los cuales se encuentran altamente expuestos a las mismas. Además de la contaminación del aire se produce contaminación del suelo por el depósito del material particulado emitido y por el manejo inadecuado de las escorias.

- ➔ *Realizan vertidos intencionales, en el mismo predio, de líquidos que pueden contener los equipos obsoletos o vertidos no intencionales por derrames o pérdidas. Muchos de estos líquidos pueden contener sustancias peligrosas como por ejemplo el electrolito ácido de las baterías de plomo o el aceite dieléctrico con bifenilos policlorados de transformadores y condensadores.*

2. *La fundición de chatarra en plantas industriales que no cuentan con la tecnología apropiada, fundamentalmente en lo referente al tipo y operación del horno y al tratamiento de las emisiones gaseosas. En estas condiciones se producen emisiones gaseosas con presencia de los siguientes contaminantes:*

   - ➔ ***dioxinas y furanos**, debido a que los metales principalmente el aluminio, cobre y cinc son catalizadores de la reacción de formación de estas sustancias tóxicas, las cuales se producen a partir de compuestos orgánicos en presencia de oxígeno y cloro a temperaturas superiores a 150ºC. La materia orgánica y el cloro son aportados por los restos de aceites, pinturas y plásticos (entre ellos el PVC).*
   - ➔ ***metales pesados**.*

3. *La disposición inadecuada de las escorias generadas en la fundición. Estas escorias pueden contener diferentes tipos de contaminantes en función de la chatarra procesada y de las condiciones en las que se realizó la fundición. En muchos casos se han utilizado las escorias como material de relleno de terrenos generando sitios contaminados.*

En la siguiente tabla se presenta un resumen de la problemática asociada al manejo de los distintos tipos de chatarra.

Metal	Problemática asociada
Plomo	• En el caso de baterías, el derrame o vertimiento de electrolito ácido provoca contaminación de suelo y agua. • La fundición de plomo por recolectores informales en su propia vivienda genera contaminación por plomo en el aire y el suelo, afectando fundamentalmente la salud de operador, la su familia y vecinos. • La fundición de plomo en hornos industriales sin sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas genera contaminación por plomo.
Cobre	• La quema a cielo abierto de cables de tendido eléctrico para la separación del plástico que recubre el cobre, es una práctica común tanto en viviendas de recolectores de chatarra como en empresas informales de acopio de chatarra. Esta práctica se generan emisiones gaseosas con altos contenidos de dioxinas y furanos. • La fundición secundaria de cobre, puede producir dioxinas y furanos si ingresa al horno chatarra sucia, con restos de aceite y plásticos, o si no se regulan adecuadamente los parámetros operativos. El problema se incrementa si no existe tratamiento de emisiones. • Las bobinas de transformadores pueden estar contaminadas con bifenilos policlorados, en esta situación el proceso de desembobinado y limpieza del dieléctrico puede afectar la salud del operador y contaminar el medio ambiente. • La fundición de chatarra de circuitos electrónicos genera emisiones que pueden contener berilio, compuesto tóxico para la salud humana.

Aluminio	• Muchas fundiciones secundarias de aluminio, que se realizan a temperaturas entre 250 a 500 ºC, emplean cloro, cloruro de aluminio o compuestos orgánicos clorados para la remoción de magnesio. Estas son condiciones muy favorables para la formación de dioxinas y furanos.
Cinc	• En las fundiciones secundarias de cinc se pueden formar dioxinas y furanos por las temperaturas de fundición entre 250-500ºC y la presencia de chatarra sucia.
Hierro / acero	• En el proceso de sinterización de hierro se producen emisiones de dioxinas y furanos por la presencia de fuentes de carbono y cloro, provenientes del combustible y la chatarra sucia. • El uso de carcaza de transformadores contaminada con PCB (transformadores obsoletos que no fueron descontaminados) aumenta el riesgo de formación de dioxinas y furanos.

9.3 Gestión de la Chatarra Metálica

La gestión de la chatarra metálica con el fin de recuperar los metales comprende: la recolección, la recuperación, el transporte y la regeneración de los metales en plantas de fundición secundaria. Se presentan a continuación recomendaciones para realizar una adecuada gestión de estos residuos, minimizando los riesgos de impacto al medio ambiente y a la salud, en particular la salud del personal encargado de estas tareas.

Recolección

Si bien existe un importante comercio de chatarra metálica debido al valor que representan estos materiales, generalmente la recolección es realizada por actores informales difíciles de regular. Los mismos actores que recolectan realizan parte de la clasificación en su vivienda, por medio de prácticas inadecuadas que deben evitarse. Para lograr este objetivo se pueden instrumentar las siguientes medidas:

➔ *Educar directamente a los recolectores, alertando sobre los riesgos asociados a las malas prácticas que realizan. Este trabajo se puede realizar en conjunto con las organizaciones no gubernamentales, las cuales suelen contar con experiencia de acercamiento a este sector de la sociedad.*

- *Fomentar la venta de la chatarra a los depósitos de recuperación habilitados, con la mínima manipulación de la misma. En caso contrario evitar que se realice la clasificación en la vivienda del recolector, creando puntos controlados para la realización de esta tarea, donde además se pueda proceder directamente a la venta de a chatarra.*
- *Realizar campañas de educación dirigidas a la sociedad en su conjunto, alertando sobre los riesgos de contaminación, para que sean propagadores de buenas prácticas y a su vez brinden información a los organismos competentes sobre la ubicación de sitios donde se están realizando prácticas inadecuadas, con el objetivo de eliminarlas.*
- *Promover que los depósitos de recuperación paguen igual precio por la chatarra sucia que limpia.*

Paralelamente se deben implementar políticas que trasladen la responsabilidad de gestión del residuo a las empresas que ponen el producto en el mercado: fabricantes e importadores, como por ejemplo envases metálicos y otros artículos con componentes metálicos de consumo masivo (como las baterías, pilas, chatarra electrónica, vehículos en su fin de vida útil). Esta medida contribuye a la formalización y control de la gestión de una parte de la chatarra generada. Las empresas serán las responsables de:

- *implementar sistemas voluntarios de devolución en centros de recolección, los cuales pueden ser los mismos centros de venta donde se compra el artículo nuevo.*
- *hacerse cargo del transporte de los mismos a la planta de fundición o centro de acopio intermedio.*
- *comunicar claramente a los consumidores sobre qué metales son reciclables y de la ubicación de centros de recolección. El éxito de los sistemas estará sujeto a las campañas de difusión que se realicen. Los centros deben estar habilitados y tener espacio para almacenamiento temporal, con medidas de protección del medio ambiente, evitando la lixiviación de la chatarra o derrames no intencionales de líquidos contenidos.*

Recuperación

La recuperación de la chatarra consiste en un proceso de selección, clasificación, corte y limpieza a efectos de ser acondicionada para el ingreso a la fundición. Los actores responsables de esta etapa son directamente las fundiciones o intermediarios dentro de la comercialización de la chatarra entre el recolector y las fundiciones secundarias.

Los depósitos de recuperación de chatarra deben estar habilitados y contar con los requerimientos para evitar la contaminación del medio ambiente y la afectación de la salud del trabajador. Los requisitos con que deben contar éstos depósitos según el área son:

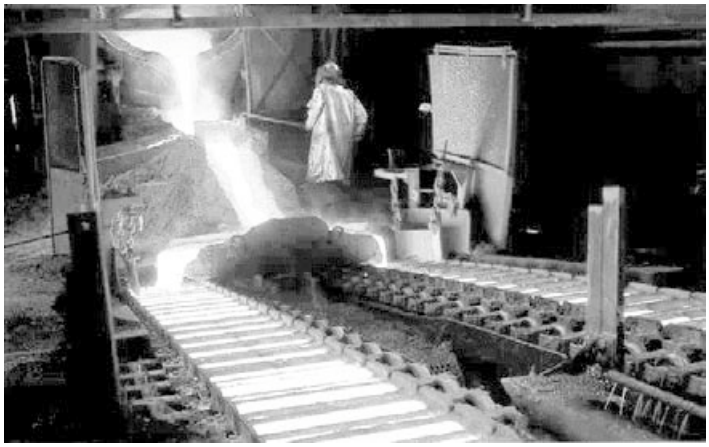
- ***Recepción*** *con balanza para pesada de la chatarra*
- ***Clasificación*** *en zona con piso pavimentado y equipado con herramientas de corte. Se requiere personal capacitado que sepa distinguir los diferentes grados de aleaciones. El personal debe usar implementos de protección personal como guantes, máscaras y gafas para disminuir el riesgo de exposición a emisiones sobre todo durante el corte con soplete.*
- ***Limpieza*** *mediante extracción de etiquetas, separación de plástico, entre estos el pelado de cables, en forma mecánica. En todos los casos se deberá prohibir la quema para separación y limpieza de la chatarra en estos depósitos.*
- ***Almacenamiento*** *en espacios o contenedores de la chatarra clasificada, por tipo de metal, en el caso de metales no ferrosos.*

Los residuos generados de las etapas de clasificación y limpieza generalmente pueden ser dispuestos en rellenos municipales. La descarga de aceite u otros líquidos que puedan contener los equipos obsoletos, se debe segregar según sus características de fisicoquímicas y de peligrosidad y disponerlos de acuerdo a la normativa vigente.

Transporte

El transporte de la chatarra debe asegurar que materiales o equipos obsoletos que puedan contener líquidos no se derramen o presenten pérdidas.

Muchas veces la chatarra no ferrosa es exportada a plantas de fundiciones del exterior, por lo cual el transporte transfronterizo debe realizase en el marco del Convenio de Basilea. La chatarra se debe embalar en tambores o cajas de cartón, las que se colocan en contenedores.



Regeneración

Para minimizar los impactos que se pueden producir en la etapa de regeneración se debe tener las siguientes precauciones:

- ***Alimentación al horno**: la chatarra que ingrese al horno debe haber sido sometida a un proceso de clasificación y limpieza, estar libre de objetos extraños como plásticos, aceites u otros líquidos que puedan contener.*

- *Se deben usar hornos de fundición que alcancen temperaturas superiores a los 850ºC, seguidos preferentemente de una cámara de combustión secundaria con temperaturas superiores a 950ºC, la cual servirá para completar la incineración de compuestos orgánicos que no fueron incinerados completamente. Adicionalmente se requiere un sistema de enfriamiento brusco de los gases de combustión, para evitar la reformación de dioxinas y furanos durante la etapa de descenso de la temperatura. La incorporación de un filtro de carbón activado en el sistema de tratamiento de emisiones gaseosas contribuye a disminuir la emisión al medio ambiente de las dioxinas y furanos, en el caso que se hayan formado.*

- *Los hornos de fundición deben contar con un sistema de **tratamiento de emisiones** gaseosas para recolectar polvos (por ejemplo filtros mangas y/o filtros electrostáticos) y lavador de gases alcalino. Este sistema cumple la finalidad de remover el material particulado y junto con este gran parte de los metales emitidos que se encuentran absorbidos al polvo. El lavador de gases absorberá los ácidos como es el caso del SO_2.*

- *En las fundiciones secundarias de aluminio se debe evitar en lo posible el empleo de compuestos con cloro para remoción de magnesio o en caso contrario minimizar el uso de cloro.*
- *En las fundiciones de acero, las carcazas de transformadores que estuvieron contaminados con bifenilos policlorados (PCB) deben ser previamente descontaminadas por tecnologías adecuadas de tratamiento de PCB.*

- ***Las escorias y los polvos del sistema de tratamiento de emisiones gaseosas*** *se deben recuperar en el horno de fundición, si esto no resulta técnicamente viable se deben disponer en rellenos de seguridad (debido al alto contenido de metales pesados) o en rellenos sanitarios, si no se superan los límites máximos admisibles de metales pesados de acuerdo al test de lixiviación. Estos residuos deben ser manejados de forma de evitar la contaminación del suelo y la generación de lixiviado conteniendo metales.*

9.4 Referencias

Concepto del Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro de la Fundición. Comisión Metropolitana Ambiental, México, 1996.

Proyecto de directrices técnicas para el reciclado/regeneración ambientalmente racional de metales y compuestos metálicos (R4), Convenio de Basilea, Agosto 2004. ***www.basel.int***

Proyecto de directrices sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales en relación con el artículo 5 y el anexo C (del Convenio de Estocolmo), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, enero 2005. ***www.basel.int***

10. Solventes de Desecho

Los solventes orgánicos comprenden el conjunto de compuestos orgánicos líquidos que tienen la capacidad de disolver, suspender o extraer otra sustancia, sin reaccionar químicamente con la misma, manteniéndose inertes. Constituyen un amplio grupo de sustancias de diversa polaridad, permitiendo la disolución de sustancias orgánicas con polaridades similares.

Los solventes orgánicos comúnmente tienen bajo punto de ebullición, se evaporan fácilmente y pueden ser recuperados por destilación luego de su uso. La mayoría de los solventes tienen menor densidad que el agua, excepto algunos halogenados como el cloruro de metileno o cloroformo que son más densos que el agua.

En forma general se pueden agrupar como solventes halogenados y solventes no halogenados. Los solventes halogenados son menos inflamables, tienen mayor densidad, viscosidad y mayor persistencia en el ambiente que los no halogenados. Contienen en sus moléculas elementos del grupo de los halógenos: fluoruro, cloruro, bromuro o yoduro. Dentro de este grupo, los clorinados son los que se utilizan mayoritariamente, como es el caso de tricloroetileno, percloroetileno, diclorometano y cloroformo. Debido a su más baja inflamabilidad se han utilizado ampliamente en la limpieza de metales en la industria electrónica y como agente de limpieza en seco.

Los solventes no halogenados comprenden:

- *los destilados del petróleo: hidrocarburos alifáticos (como por ejemplo hexano, cicloalcanos y octano) y aromáticos (los aromáticos más comunes son el tolueno, xyleno, benceno y alquil bencenos)*
- *los oxigenados: alcoholes, cetonas, éteres y ésteres (como por ejemplo etanol, metanol, acetona, metil iso butil cetona y butil-eter).*

Comercialmente existen aproximadamente 60 sustancias que caen bajo esta denominación. Los solventes son utilizados con varios fines: como agentes de limpieza, como materias primas, disolventes, vehículos de otras sustancias, dispersantes, diluyentes, plastificantes, tensoactivos y preservantes. Se trata de sustancias cuyo uso está ampliamente difundido en la mayor parte de los sectores

industriales y comerciales, además de ser utilizados a nivel domiciliario. En la siguiente tabla se presentan alguno de los ejemplos más ampliamente utilizados en los diferentes sectores industriales.

Industria	Aplicación	Solventes comúnmente utilizados
Pinturas (uno de los usos principales)	Materia prima, diluyentes.	Tolueno, acetatos y cetonas.
Textil	Diluyentes y limpieza de máquinas	Acetona, Ciclohexano, pentaclorofenol, percloroetileno
Alimenticia	Extracción de aceites y grasas	Ciclo-hexano, sulfuro de carbono
Siderúrgica	Limpieza y desengrasado de piezas	Tricloetano, cloruro de metileno, benceno
Calzados	Disolventes de colas y pegamentos	Mezcla de hexanos
Plástica y caucho	Disolventes de materias primas y de transformación	Dimetil-formamida, Cloroformo y acetona, dicloroetano
Madera	Preservantes, disolventes de lacas y barnices	Pentaclorofenol, Tolueno
Cosmética	Como dispersante	Isopropanol, etanol, cloroformo
Limpieza en seco	Como agente de limpieza	Percloroetileno, Tetracloretileno, clorobenceno
Imprentas	Limpieza de prensa, rodillos y diluyentes de tintas que requieren rápido secado	Acetato de butilo, etanol, xileno, tolueno, benceno
Farmacéutica y agroquímicos	Como vehículo del principio activo	Butanol, cloruro de metileno, cloroformo, metanol, etanol
Industria fotográfica	Como diluyente	Acetona, etanol
Laboratorios	Como disolventes de estándares, en solventes de extracción y concentración	Acetona, hexano, isopropanol, etanol, metilisobutilcetona, acetonitrilo, etc.

10.1 Generación de Residuos

Dada la amplia gama de solventes utilizados en los diferentes procesos, los residuos generados por el uso de estas sustancias tienen composiciones muy variadas. Sin embargo, en forma genérica se pueden diferenciar cuatro categorías.

- ***Solventes relativamente limpios:*** *derivados de procesos de enjuagues y limpieza.*
- ***Mezcla de solventes y otros productos:*** *generados en la síntesis o fabricación de otras sustancias*
- ***Residuos altamente acuosos:*** *mezclas de solventes con agua, generadas en procesos químicos, enjuagues y extracciones.*
- ***Lodos contaminados con solventes:*** *subproductos de manufactura, residuos del reciclado y residuos de procesos de limpieza.*

Si bien se trata de residuos líquidos, tienen propiedades muy diferentes al resto de los efluentes líquidos que generan las industrias, en la mayoría de los casos se trata de sustancias insolubles o muy poco solubles en agua, razón por lo cual estos residuos se gestionan en forma independiente.

10.2 Impactos sobre la Salud y el Medio Ambiente

Los solventes orgánicos y sus residuos son considerados peligrosos por sus características de inflamabilidad, liposolubilidad y volatilidad, con liberación de vapores inflamables, tóxicos y explosivos.

Una de las principales características de los solventes es su volatilidad, razón por lo cual existe generación de emisiones difusas, no intencionales, de vapores de estas sustancias durante las distintas aplicaciones. Al evaporarse rápidamente se concentran en espacios confinados y son absorbidos por el ser humano a través de la piel y por inhalación. Debido a sus propiedades liposolubles, luego de ingresar al organismo se concentran en tejidos grasos, acumulándose hasta alcanzar concentraciones que producen diversos efectos negativos para la salud, inmediatos o de largo plazo, tales como:

- *irritación de piel, nariz, garganta, pulmones y ojos, dermatitis, dificultad al respirar.*
- *dolor de cabeza, mareos, nauseas, vómitos, fatigas.*
- *exposición prolongada a algunos solventes producen enfermedades de la sangre, anemia, disfunción de la médula, cáncer, cambios en el ciclo de reproducción de las mujeres, daños al sistema nervioso, aumento del riesgo de abortos espontáneos, daños hepáticos y renales.*
- *inhalación de vapores de altas concentraciones de algunos solventes pueden causar la muerte, por ejemplo el tricloroetileno.*

La emisión al ambiente de vapores de algunos solventes orgánicos volátiles contribuye a la degradación de la capa de ozono como es el caso del tetracloruro de carbono y el tricloretano. Por otro lado en presencia de NOx y luz solar actúan como precursores de la formación de ozono ambiental, el cual produce efectos nocivos sobre la salud de la población y sobre el crecimiento de los vegetales, interfiriendo en la actividad fotosintética y en el metabolismo general de la planta.

Los solventes usados pueden contener elementos como cloruro, bromuro, fluoruro, sulfuro, nitrógeno, metales volátiles y metales pesados, por lo que la quema en condiciones inapropiadas puede generar emisiones tóxicas para la salud y el medio ambiente.

Los riesgos para la salud y el medio ambiente se acrecientan debido al mal manejo que se realiza con los solventes. Sin embargo, tomando las precauciones debidas, en las diferentes etapas del ciclo de vida de los solventes, los riesgos pueden ser minimizados.

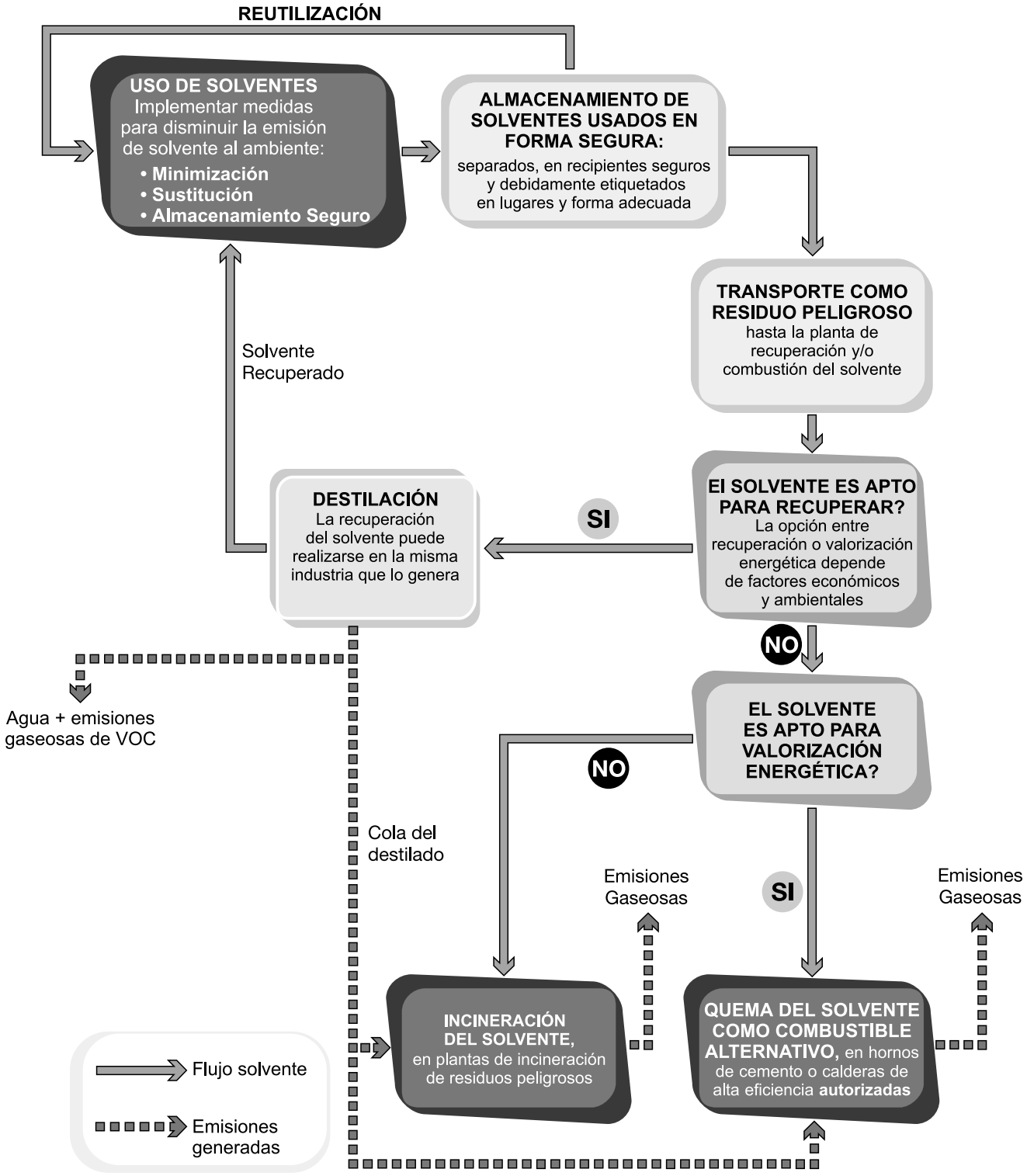
10.3 Alternativas de Gestión de los Solventes

Para minimizar los riesgos a la salud por exposición a los solventes y prevenir la contaminación del ambiente se debe implementar un sistema de gestión que integre todas las fases del manejo del solvente, desde su uso hasta la gestión como residuo, fomentando las buenas prácticas, minimizando el uso, maximizando la reutilización de los solventes usados, disminuyendo las emisiones fugitivas y derrames de solventes durante el manejo.

Luego de haberse realizado los máximos esfuerzos de minimización y reutilización se debe proceder al tratamiento de los residuos de solventes. En la búsqueda de alternativas se debe priorizar la recuperación mediante destilación, siendo esta opción la de menor generación de emisiones al medio ambiente. Si

no es posible la recuperación, debido a inviabilidad económica, se debe considerar la posibilidad de valorización energética.

A continuación se presenta un sistema integral de gestión para los solventes y las sugerencias de buenas prácticas de manejo.



Aspectos de Gestión	Recomendaciones y sugerencias
BUENAS PRÁCTICAS	**Minimización:** por ejemplo, en limpiezas con solventes, aumentar la presión de descarga disminuye el volumen de solvente empleado. **Sustitución:** se deben realizar esfuerzos para utilizar solventes menos peligrosos, por ejemplo procurar la sustitución de los solventes halogenados. También se pueden utilizar detergentes biodegradables como sustitutos de solventes usados para limpiar. Otra medida es utilizar el menor número posible de tipos de solventes, esto puede hacer rentable la recuperación del solvente, al tener más volumen y menos variedad. **Almacenamiento:** utilizar condiciones seguras de almacenamiento tanto para los solventes nuevos como para los usados, de forma de evitar derrames, escapes de vapores, incendios y explosiones. **Reutilización:** una buena medida es fomentar la reutilización de solventes internamente, para lo cual los solventes usados se deben almacenar separados y claramente identificados.
TRANSPORTE	Los vehículos utilizados para el transporte de solventes usados deben cumplir con los requisitos de transporte de sustancias inflamables.
RECUPERACIÓN	**Destilación:** previo a la destilación los solventes sucios recibidos deben ser tratados mediante separación mecánica para remover sólidos suspendidos y agua. Los métodos de separación mecánica incluyen filtración y decantación. Para separar el agua del solvente se utiliza la técnica de decantación. Durante la destilación se genera agua, que debe ser tratada como efluente líquido de proceso (datos de la EPA indican concentraciones de aceites y grasas en el rango de 280 - 97.000 mg/L, DBO y DQO superiores a las 20.000 mg/L y trazas de metales tóxicos). Adicionalmente se generan emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOC). La cola de destilación está compuesta por aceites, grasas, solventes orgánicos y emulsiones, representando en el entorno de 25% del solvente a recuperar. Este residuo puede ser incinerado debido a su alto poder calorífico. Dependiendo del origen del solvente usado, la cola puede contener metales pesados, los cuales deben ser analizados para determinar si cumplen con las especificaciones de ingreso al horno donde se incinera.
VALORIZACIÓN ENERGÉTICA	**Valorización energética:** debido al riesgo potencial de formación de compuestos tóxicos como los bifenilospoliclorados, dioxinas o furanos (sobre todo si es un solvente o mezcla de solventes halogenados), la combustión se debe realizar en instalaciones autorizadas. Se deben establecer especificaciones del solvente a ser quemado según las condiciones del horno o la caldera, los cuales deberán contar con sistemas de control de quema y tratamiento de emisiones. Generalmente los hornos de clinker de la industria cementera tienen instalaciones adecuadas para la quema de solventes halogenados, también pueden ser quemados en calderas de producción de vapor de alta eficiencia, como las centrales térmicas.
INCINERACIÓN	Si se superan las especificaciones establecidas o no se cuenta con instalaciones adecuadas para utilizar el solvente como sustituto de combustible, deben ser incinerados en un incinerador autorizado para la quema de residuos peligrosos.

Cabe destacar que el **generador del residuo** es el responsable de su gestión y de los daños ocasionados por su manejo. Debe asegurarse que el destino del solvente sea una planta de reciclado o de valorización energética que se encuentre habilitada por el organismo ambiental competente y que el transporte se realice en condiciones seguras.

La recuperación de solventes también puede ser realizada en el lugar de generación, lo que tiene como ventaja que se elimina la etapa de transporte. Esta alternativa está condicionada al volumen generado, ya que para pequeñas cantidades puede no ser una opción viable. En el mercado existen sistemas por tachadas que pueden ser instalados en las industrias, con capacidades de destilación de solventes en el rango 10 hasta 500 L en 8 horas.

Los **recicladores** deben contar con la habilitación ambiental correspondiente para operar, el cual también debe comprender la autorización de destino final de las colas del destilado (valorización energética o incineración), así como el tratamiento del agua generada.

La planta recicladora debe establecer las especificaciones de calidad de los solventes a recuperar, debido a que las impurezas de los mismos pueden afectar el proceso, así como las especificaciones del solvente recuperado, para que el cliente conozca claramente si el producto cumple con los requisitos para el uso. Las especificaciones de calidad de los solventes recuperados dependen del tipo de solventes. En general para solventes no halogenados se especifica únicamente la pureza del solvente (% de agua y pureza), mientras que para los halogenados se debe indicar además la presencia de inhibidores para neutralizar ácidos que se forman y estabilizadores metálicos que se agregan para prevenir la corrosión de metales cuando entran en contacto con el solvente.

El costo de reciclado depende, entre otros factores, de la calidad del solvente usado a reciclar (mezcla, impurezas, contenido de agua), de la calidad necesaria del solvente reciclado, de la cantidad y del tipo, siendo más costoso el reciclado de los solventes halogenados. La separación en el punto de generación de los distintos tipos de solventes favorece la destilación.

10.4 Referencias

Disolventes orgánicos. Programa salud ambiente y trabajo. Daphnia, Boletín informativo sobre la prevención y la producción más limpia, 1998. ***www.ccoo.es/daphnia.htm***

Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Industria gráfica. CONAMA, Chile, 1999. ***www.conama.cl***

Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Recuperación de solventes. CONAMA, Chile, 1999. ***www.conama.cl***

Recycling and reuse of material found on superfund sites, Handbook. Centre for Environmental Research Information, Office of Research and Development, U.S. EPA. 1994. ***www.epa.gov***

Solvent cleaning, emission inventory improvement program, Area Sources Committee, U.S. EPA, 1997. ***www.epa.gov***

Technical guidelines on hazardous waste from the production and use of organic solvents. Secretariat of the Basel Convention, 1997. ***www.basel.int***

11. Pilas y Baterías Domésticas

Todas las pilas operan de acuerdo al mismo principio de desarrollar energía química a partir de una reacción de oxidación-reducción y transformarla directamente en energía eléctrica. Las reacciones implican transferencia de electrones del elemento que se oxida al elemento que se reduce.

Una pila se diseña de tal forma que la oxidación y la reducción transcurran en "compartimentos" independientes llamados electrodos. El medio que posibilita el transporte interno de carga eléctrica entre ambos es una sustancia conductora llamada electrolito. Los electrodos se denominan:

- ***Ánodo:*** *Metal o aleación metálica que se oxida en el electrolito*
- ***Cátodo:*** *Óxido metálico donde se produce la reducción.*

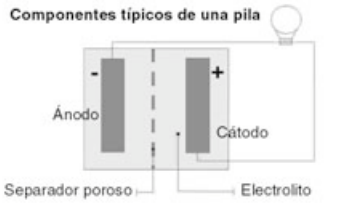
Una pila primaria está basada en una reacción química irreversible y por lo tanto no es recargable. La pila secundaria es recargable: sus componentes activos se pueden regenerar pasando una corriente eléctrica en sentido contrario al de descarga.

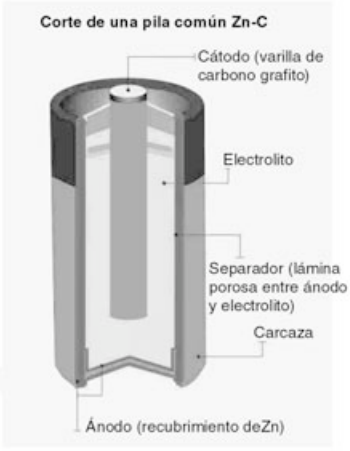
Se denomina batería a una unidad productora de energía eléctrica constituida por varias pilas, mientras que acumulador es una pila o batería secundaria.

Existe una gran variedad de pilas en el mercado, que varían en la naturaleza de sus componentes activos, en su geometría y tamaño. Cada sistema tiene su propia combinación de materiales que determinan la capacidad, voltaje de salida y vida útil.

En cuanto al diseño, la más conocida es la forma cilíndrica, que se comercializa en varios tamaños (ej: AAA, AA, A). Las denominadas pilas botón, cilíndricas pero de forma achatada y tamaño más reducido, son usadas en audífonos, marcapasos, relojes, calculadoras y aparatos médicos de precisión. La configuración prismática es un modelo universal para baterías de mayor voltaje (9 volts), mientras que algunos equipos electrónicos utilizan diseños especiales, como es el caso de algunas pilas de litio.

En la figura pueden apreciarse esquemas típicos de pilas cilíndricas y tipo botón.





En el cuadro se listan los tipos de pilas, indicando sus componentes y principales características.

Tipo de Pila	Componentes	Características
Zinc/Carbono (Zn/C) o tipo Leclanché	Carbono grafito cubierto de Dióxido de Manganeso (cátodo), Zinc chapa metálica (ánodo), Cloruro de Amonio (electrolito)	Uso: todo tipo de equipamiento eléctrico y electrónico sencillo y de bajo consumo. Denominadas "pilas comunes".
Alcalinas o de Zinc/Dióxido de Manganeso (Zn/MnO_2)	Dióxido de Manganeso (cátodo), Zinc en polvo (ánodo), Hidróxido de Potasio (electrolito)	Uso: ídem Zn/C. Vida útil hasta 10 veces mayor a las comunes
Níquel/Cadmio (Ni/Cd)	Hidróxido de Níquel (cátodo), Cadmio (ánodo), Hidróxido de Potasio (electrolito)	Uso: ídem Zn/C, teléfonos celulares, computadoras portátiles. Pilas secundarias (hasta 1000 recargas), aunque no alcanzan altas tensiones
Óxido Mercúrico	Óxido Mercúrico (cátodo), Zinc (ánodo)	Uso: Audífonos y equipamiento médico. Usualmente de tipo botón. Contienen alrededor de 30 % de mercurio.
Zinc/Aire	Oxígeno (cátodo), Zinc (ánodo)	Uso: ídem. Óxido Mercúrico. Gran cantidad de agujeros diminutos en su superficie. Alta capacidad. Contienen más del 1 % de mercurio.
Níquel/Hidruro metálico (Ni/MH):	Óxido de Níquel (cátodo), Hidruro metálico (ánodo), Hidróxido de Potasio (electrolito)	Uso: ídem. Ni/Cd. Sistema similar al Ni/Cd, donde Cd ha sido reemplazado por una aleación metálica capaz de almacenar hidrógeno. Densidad de energía producida es el doble de la producida por Ni/Cd, a voltajes operativos similares.
Óxido de Plata	Óxido de Plata (cátodo), amalgama de Zinc (ánodo), Hidróxido de Potasio (electrolito)	Uso: calculadoras, relojes y cámaras fotográficas. Usualmente de tipo botón, pequeñas, contienen de alrededor de 1 % mercurio.
Litio	Varios elementos son usados como cátodo (Mg, Fe, C, etc.), Litio (ánodo)	Uso: relojes, calculadoras, flashes de cámaras fotográficas, memorias de computadoras, aplicaciones militares e industriales. Comercializadas en tipo botón, cilíndricas o geometrías especiales. De varios tipos (Li-Mg. Li-C, Li-Fe, etc). Producen 3 veces más energía que las alcalinas, considerando tamaños equivalentes, y poseen también mayor voltaje inicial (3 voltios).

Casi todas las pilas contienen mercurio, en algunos casos es adicionado como elemento activo (cátodo en pilas de óxido mercúrico) o como inhibidor de corrosión y en otros, está presente como contaminante de los componentes activos metálicos. El cadmio es un componente que puede variar entre 11 a 15% en baterías de Ni-Cd.

11.1 Riesgos para la Salud y el Medio Ambiente

Los metales pesados presentes en mayor o menor medida en las pilas y baterías, confieren características de peligrosidad a estos residuos, particularmente el mercurio y el cadmio. Aunque las pilas contribuyen en bajo porcentaje al volumen total de residuos municipales, son una de las corrientes con mayor aporte de metales pesados al total de residuos.

Durante la vida útil de una pila, los riesgos de liberación de sus componentes están convenientemente limitados por sistemas de blindaje exterior. Algunos peligros que se identifican durante el uso de las pilas son la rotura accidental del blindaje, con el correspondiente derrame de los componentes o la ingesta accidental de pilas pequeñas por niños.

Cuando las pilas son sometidas a condiciones ambientales más extremas que las que experimentan en el interior de un equipo, el blindaje está expuesto a procesos de corrosión que terminan destruyéndolo, liberando sus componentes.

Las pilas que no entran a un circuito especial de recolección y tratamiento siguen la misma ruta que otros residuos domésticos: son recolectados y enviados a un vertedero local (u otro sistema de disposición final, como los incineradores municipales) o ingresan a circuitos informales de recolección y clasificación de residuos, que finalmente terminan en quemas a cielo abierto, enterramiento o vertidos en cursos de agua.

En un vertedero, la descomposición de residuos domésticos genera lixiviados que promueven la corrosión de las pilas y permiten la liberación de los metales pesados. Estos pueden continuar su ruta con los lixiviados (hacia agua subterránea y superficial en caso de vertederos sin control de lixiviados) o liberarse a la atmósfera como compuestos volátiles o como polvo fugitivo (en caso de vertederos con nula o deficiente cobertura de residuos y tratamiento de gases). Aún en el caso de rellenos sanitarios que disponen de tecnología para el tratamiento de lixiviados y gases, los metales pesados aportados por las pilas no son eficientemente retenidos o entorpecen los tratamientos biológicos.

En el caso del circuito informal, es posible que esta liberación al ambiente ocurra más directamente, acortando los tiempos en que los metales pesados llegan al suelo, a cursos de agua y acuíferos.

Basado en datos de Estados Unidos, se ha indicado que el mayor problema ambiental de los residuos de pilas es el importante aporte de mercurio y cadmio a los residuos municipales, de importancia por la toxicidad de ambos elementos.

Se han observado efectos en varios mamíferos y pájaros luego de la exposición crónica oral a bajos niveles de cadmio. Puede bioacumularse en varias especies de plantas e invertebrados terrestres. En

el hombre, la mayoría del cadmio que ingresa al cuerpo se deposita en hígado y riñones, con una permanencia muy prolongada en estos órganos.

El mercurio ocasiona una amplia gama de efectos sistémicos en humanos (riñones, hígado, estómago, intestinos, pulmones y una especial sensibilidad del sistema nervioso), aunque varían con la forma química. Los microorganismos convierten el mercurio inorgánico en metilmercurio, una forma química muy tóxica, persistente y bioacumulable y que además se absorbe fácilmente en el tracto gastrointestinal humano.

11.2 Alternativas de Gestión

El consumo medio anual de pilas domésticas está en el entorno de 10 unidades por habitante, aunque esta cifra puede ser ligeramente menor en países en desarrollo.

En los últimos años se ha venido observando un incremento del consumo de pilas Ni-Cd y pilas alcalinas, en detrimento de las pilas comunes. En países desarrollados también ha habido un retroceso en el uso de pilas de óxido mercúrico, fundamentalmente como consecuencia de regulaciones dirigidas a controlar la liberación de mercurio en el ambiente. Con este objetivo se limita también el contenido de mercurio en pilas alcalinas, tendiendo a las pilas "libre de mercurio".

Básicamente las estrategias de gestión que se vienen practicando en el mundo son:

1. *Normativas que regulan los contenidos máximos o prohiben el uso como componente o aditivo de sustancias peligrosas (por ejemplo, concentración máxima de mercurio).*
2. *Concientización de los consumidores, para reducir el uso de las pilas más peligrosas y fomentar el uso de pilas recargables, de bajo contenido en mercurio (catalogadas como "libre de mercurio") y la reducción del consumo de pilas y baterías mediante el uso de equipamiento eléctrico conectado a red.*
3. *Programas de manejo de pilas y baterías usadas (recolección, tratamiento, disposición final) separando las pilas del resto de los residuos domésticos.*

La primera es una estrategia generalmente aplicada a nivel nacional, mientras que a nivel local se instrumentan programas específicos de manejo de pilas y baterías de acuerdo a las características de mercado y la gestión local de residuos.

Los programas de manejo de pilas y baterías generalmente representan un costo significativo para la comunidad, pues el reciclaje de materiales raramente solventa los costos de todo el programa.

A modo de ejemplo se menciona que la revisión en el 2003, de políticas específicas para pilas y baterías en Europa, indica que las plantas de reciclaje cobran la recepción como residuo de la mayoría de las pilas en el entorno de los 400 a 900 Euros/ton (con excepción de unas pocas, como las de óxido de plata). A ello deben sumarse los costos de recolección y logísticos (300 a 700 Euros/ton), de clasificación (150 a 250 Euros/ton), y otros costos administrativos y de comunicación de los programas (175 a 2600 Euros).

A continuación se describen los aspectos más relevantes de un programa de manejo de pilas y baterías usadas.

Alcance (tipos de pilas y baterías)

Si el objetivo es reducir la liberación de contaminantes, el programa podría apuntar al sector de mercado que presenta mayores riesgos (por ejemplo, las de alto contenido en mercurio y cadmio o las de mayor

consumo). Otro criterio es seleccionar las pilas que tienen componentes valiosos cuya recuperación solvente parte de los costos del programa (ej.: pilas de óxido mercúrico) o buscar la cooperación del sector privado (por ejemplo el sector telecomunicaciones para la recolección de baterías de teléfonos celulares).

Recolección

El programa requiere establecer un sistema de recolección selectiva ya que las pilas representan un pequeño porcentaje de los residuos domésticos. A veces es necesario un paso posterior de clasificación y separación, pues los consumidores no pueden distinguir entre algunos tipos de pilas (entre pilas alcalinas, comunes y algunas Ni-Cd, por ejemplo).

Pautas para diseñar la recolección:

- *Incorporar el manejo de pilas y baterías en cadenas de consumo particulares o para poblaciones particulares (por ejemplo mercado de la telefonía móvil, usuarios de audífonos y marcapasos)*
- *Dirigir la recolección a la población en general, estableciendo una logística con puntos estratégicos de recolección donde converjan gran cantidad de usuarios (puntos de venta de equipos electrónicos, supermercados, puntos de recolección de residuos particulares)*

La recolección de estos residuos tiene peculiaridades, por ejemplo los contenedores utilizados para la recolección y transporte deben estar diseñados para eliminar la posibilidad de descargas eléctricas y de corrosión.

Una vez colectadas las pilas, puede ser necesaria una etapa de clasificación y separación en caso que el programa establezca diferentes destinos de acuerdo al tipo de pila (tratamiento, disposición final). Estos procesos pueden variar desde simples clasificaciones manuales, hasta sistemas automatizados de separación mecánica y magnética.

Tratamiento y disposición final

Ningún programa es admisible si no está definido como van a ser manejadas las pilas y baterías posteriormente a su recolección. Pueden construirse sistemas propios o usar las instalaciones de una localidad próxima, en cuyo caso se deberá tener en cuenta el costo adicional del transporte.

Con respecto al destino final del material recolectado, las alternativas tecnológicas disponibles actualmente son:

- *Disposición final en relleno de seguridad. Está limitada por la escasa cantidad disponible de rellenos de seguridad en países en desarrollo.*
- *Reciclado de componentes. Aunque existen a nivel mundial tecnologías para todo tipo de pilas y baterías, no se encuentran muy difundidas.*
- *Tecnologías para la inmovilización de los constituyentes peligrosos: vitrificación, cementación y ceramización.*
- *Exportación para su tratamiento y/o reciclado en países que dispongan de tecnologías no existentes en el país de origen.*

Para la recuperación de metales a partir de pilas y baterías usadas existen básicamente dos tecnologías: métodos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos (o combinaciones de ambos). Los procesos utilizados hoy en día requieren una etapa previa de separación, dado que no existe un método universal para todo tipo de pilas (son específicos para pilas Ni-Cd, Ni-MH, de mercurio o de litio).

Los métodos hidrometalúrgicos consisten en la disolución parcial o total de metales en agua con ácidos o bases fuertes y extracción selectiva de metales para su uso como materia prima en la industria metalúrgica. Los procesos cuentan con sistemas de colecta, tratamiento o recuperación del mercurio que se volatiliza durante las distintas etapas. Las etapas son: Molienda (trituración de la masa de pilas previa selección y limpieza), Separación (tamizado que separa el polvo fino, separación magnética de materiales ferromagnéticos como la carcaza de hierro y de no ferromagnéticos como las piezas de zinc y separación neumática del papel y plástico), Lixiviación (separación de los metales en la fracción de polvos finos, mediante tratamiento ácido y posterior neutralización para separar sales metálicas), Cementación (formación de amalgama de Cd y Hg con Zn).

Bajo la denominación de métodos pirometalúrgicos están aquellos que involucran la transformación y separación de componentes a partir de tratamiento térmico del residuo en medio reductor (combustión con coque) y separación de los metales volátiles.

Cuando la tecnología para el reciclado de componentes no está disponible o involucra costos muy elevados, se utilizan procesos físico-químicos para disminuir significativamente la movilidad de los metales pesados. Estas técnicas incluyen: estabilización por agregado de agentes químicos que forman compuestos insolubles con los metales, confinamiento en envases herméticos, encapsulamiento con cemento, vitrificación a altas temperaturas, entre otras. Una vez tratado el residuo, generalmente se dispone en vertedero. Cuando se utiliza encapsulamiento con cemento, es recomendable colocar las pilas en un envase hermético con agregado de un reactivo básico para neutralizar los productos de alteración ácidos, de forma de preservar la estructura frente a ataques químicos.

11.3 Referencias

Disposal of portable batteries. Dr. J. L. Fricke, N. Knudsen. Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien. Germany, 2002.

Impact assessment on selected policy options for revision of the battery directive. EUROPEAN COMMISSION, Directorate General Environment, 2003.

Pilas y contaminación ambiental: una solución adecuada al Uruguay. Bozoglián, F., González, M., Missirdjieff, F., Kremer, E., Sienra, B. Revista de Ingeniería Química, Nº 20, 2001.

¿Qué hacer con las pilas y baterías? Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Argentina. www.medioambiente.gov.ar

Reciclaje de pilas domésticas. Arriola, M., Peña, G., Rippe, N., González, M., Ibáñez, C., Revista de Ingeniería Química, Nº 21, 2002.

Toxicological profile for Cadmium, ATSDR, 1999.

Toxicological profile for Mercury, ATSDR , 1999.

Used dry cell batteries. Is a collection program right for your community?, US EPA, 1992.

12. Lámparas de Descarga

El impulso a la adopción de programas municipales hacia un alumbrado público más eficiente, así como la búsqueda de eficientes sistemas de iluminación a nivel industrial, comercial y doméstico, han llevado a un aumento significativo en el uso de lámparas de descarga y tubos fluorescentes. Entre las opciones disponibles en el mercado se encuentran las lámparas de descarga de alta presión de vapor de sodio, de alta presión de vapor de mercurio y las de halogenuros metálicos, además de los tubos fluorescentes.

En estas lámparas la luz se produce por el paso de una corriente eléctrica a través de un vapor (mercurio o sodio). El arco de descarga que se forma excita energéticamente los átomos de vapor, los cuales liberan esa energía en forma de luz. La radiación emitida por el mercurio corresponde al espectro visible y ultravioleta. Para transformar la radiación ultravioleta en luz visible las lámparas se recubren interiormente con fósforo fluorescente.

El uso de este tipo de lámparas y tubos tiene como ventaja una alta calidad de iluminación en ambientes laborales, hogares y espacios públicos, permitiendo ahorrar energía debido a su alta eficiencia con respecto a las lámparas incandescentes. En atención a esto es que existen programas de eficiencia energética a nivel mundial que fomentan la sustitución masiva por este tipo de lámparas.

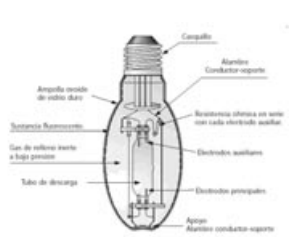
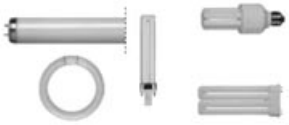
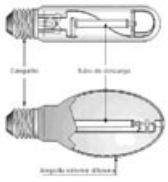
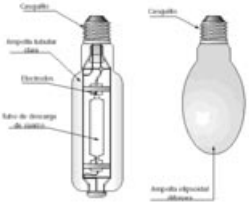
La dificultad se presenta a la hora del descarte, dado que deben ser gestionadas como residuos peligrosos debido a su contenido en mercurio y otros metales pesados. A pesar de ello, esta forma de iluminación sigue siendo la opción elegida a nivel mundial, debido a la menor utilización de energía, poniendo el énfasis en la utilización de lámparas con bajo contenido de mercurio y con especial atención en el almacenamiento, transporte y disposición final.

Las lámparas de descarga presentan las siguientes características:

- *pequeño contenido de sustancias tóxicas por lámpara*
- *consumo cada vez mayor, principalmente a nivel industrial, que provoca un volumen de residuo considerable*
- *fragilidad, lo que dificulta toda maniobra de transporte o almacenamiento*
- *gran dispersión en el consumo dificultando la eficacia de la recolección de las lámparas que quedan fuera de servicio*
- *la mayor parte de los residuos generados corresponden a operaciones de mantenimiento y sustitución de unidades fuera de servicio*
- *las posibilidades de reutilización de los residuos son prácticamente nulas*
- *existen posibilidades importantes de reciclaje de los materiales*

Tipos de lámparas de descarga

Los materiales que componen las lámparas de descarga varían entre los diferentes fabricantes, en la siguiente tabla se presenta un resumen de los distintos tipos de lámparas, sus características y las concentraciones de los elementos que contienen.

Tipo de lámpara	Diseño	Material	Gramos/unidad
Lámparas de vapor de mercurio de alta presión (peso medio 300g)		Mercurio	0.06
		Plomo	1.5
		Itrio	0.36
		Tierras raras	0.039
		Antimonio	
		Bario	0.006
		Estroncio	0.15
Lámparas fluorescentes (peso medio 200g)		Mercurio	0.035
		Plomo	0.0104
		Itrio	0.126
		Tierras raras	0.08
		Antimonio	0.03
		Bario	0.06
		Estroncio	0.28
Lámparas de sodio de alta presión (peso medio 300g)		Mercurio	0.06
		Plomo	0.6
		Itrio	0.012
		Tierras raras	0.003
		Antimonio	
		Bario	0.126
		Estroncio	0.09
Lámparas de halogenuros metálicos (peso medio 150g)		Mercurio	0.045
		Plomo	0.45
		Itrio	0.105
		Tierras raras	0.0045
		Antimonio	
		Bario	0.003
		Estroncio	0.0015

12.1 Riesgos para la Salud y el Medio Ambiente

Los materiales de las lámparas se encuentran dentro de un sistema cerrado, por lo cual su uso adecuado no representa riesgos o impactos sobre el medio ambiente o la salud. Dichos materiales entran en contacto con el medio ambiente solamente en caso de rotura o destrucción. El principal riesgo corresponde a la liberación del mercurio.

El mercurio es una sustancia natural y un contaminante proveniente de diversas actividades industriales. Las concentraciones naturales en el agua, suelo y en los peces (bioacumuladores) varían de una región a otra y son función de la composición de la roca madre a partir de la cual se genera el suelo y de las fuentes de contaminación existentes en el área.

Una vez liberado por actividades antrópicas al medio ambiente, el mercurio puede permanecer por mucho tiempo en la atmósfera antes de depositarse (mayoritariamente como mercurio elemental en fase vapor), lo que permite que este se transporte lejos de la fuente de emisión.

El mercurio ocasiona una amplia gama de efectos sistémicos en humanos (riñones, hígado, estómago, intestinos, pulmones y una especial sensibilidad del sistema nervioso), aunque varían con la forma química. Los microorganismos convierten el mercurio inorgánico en metilmercurio, una forma química muy tóxica, persistente y bioacumulable y que además se absorbe fácilmente en el tracto gastrointestinal humano.

12.2 Gestión de las Lámparas de Descarga

Posibilidades de minimización

En el caso de las lámparas, el concepto de minimización y reducción significa tener en cuenta factores tales como el correcto diseño de la iluminación (optimización de la potencia instalada, adecuada elección del tipo de lámpara), el uso racional de la iluminación existente y la planificación de las operaciones de mantenimiento.

Otra oportunidad de minimización corresponde a la fabricación de lámparas con menor contenido de mercurio y mayor vida útil.

Condiciones de recolección, transporte y almacenamiento

La constitución propia de las lámparas hace que el transporte, la recolección y el almacenamiento sean procesos delicados. Entre los aspectos físicos a tener en cuenta están:

Fragilidad: están constituidas en su mayoría por vidrio de pocos milímetros de espesor, por lo tanto se trata de un producto frágil, lo que afecta considerablemente las condiciones de transporte y almacenamiento.

Contenido: los constituyentes son de carácter nocivo, por lo tanto es necesario tomar precauciones durante su manipulación. Una rotura del recipiente provoca la fuga de los materiales truncando cualquier acción posterior sobre la lámpara.

Relación peso/volumen: son elementos de poco peso en comparación con su volumen, lo que dificulta su transporte y almacenamiento.

Forma: tienen múltiples formas y tamaños lo que no facilita su apilamiento.

Por otro lado hay que tener en cuenta que se trata de un producto de **consumo disperso**, lo que dificulta su recolección.

En resumen, se trata de residuos muy voluminosos que no se pueden compactar, de difícil recolección, clasificación, transporte y almacenaje.

Existen tres tipos de consumidores de lámparas bien diferenciados, consumidor industrial, sector servicios y pequeño consumidor. En el primer y segundo caso, por tratarse de grandes consumidores, resulta más fácil realizar la recolección.

En contrapartida, para el pequeño consumidor, cuando la lámpara llega al final de su vida útil representa un objeto de manejo engorroso si se pretende participar en un sistema de recolección selectiva.

Una estrategia es establecer puntos de recolección de los residuos, ya sea en los centros municipales, en comercios y otros establecimientos, de forma de facilitar la inclusión de los pequeños consumidores, en el circuito de reciclaje.

Reciclaje

En relación a las emisiones antropogénicas de mercurio al medio ambiente, la disposición final de lámparas de mercurio representa solamente el 1% del total. Sin embargo, se ha despertado un especial interés en el manejo de esta corriente de residuos dado que representa una de las principales fuentes de ingreso de mercurio a los vertederos municipales. Esta condición ha incentivado el desarrollo de tecnologías que permitan la recuperación del mercurio contenido en las lámparas antes de desecharlas. Las tecnologías utilizadas van desde máquinas modulares, que trituran las ampollas y empacan los residuos en contenedores especiales para su posterior procesamiento o reciclado, hasta instalaciones de mayor escala.

Si tomamos como referencia Estados Unidos, actualmente el número de unidades (lámparas y tubos) generadas como residuo es de 514 millones/año, siendo 142 millones de origen residencial y 372 millones de origen comercial, gubernamental e institucional, siendo los porcentajes de reciclaje del 2% y del 29.2% respectivamente. Si bien el porcentaje reciclado es bajo, el aumento de esta práctica es importante si se considera que a principios de los años 90 sólo se reciclaba el 10% del total. Esto responde no solo a una toma de conciencia sobre las características peligrosas del residuo, sino también a las exigencias establecidas por el gobierno principalmente a los grandes consumidores.

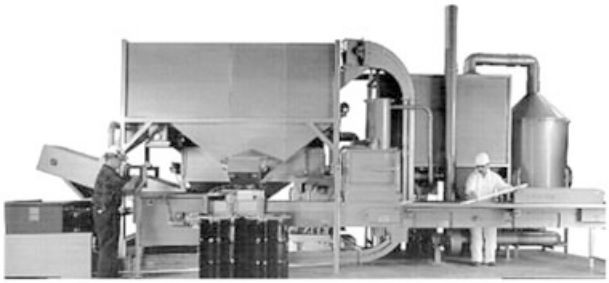
La OSRAM (fabricante de lámparas, Munich) desarrolló un proceso cuya tasa de reciclaje es de aproximadamente el 90% en peso, el cual le permitió establecer un gran sistema de recolección y reciclaje.

Por tratarse de sistemas de gestión muy complejos será necesario evaluar la viabilidad del plan de reciclaje, material por material, se deben considerar las condiciones locales como salud humana, riesgos ambientales, costos de gestión, disponibilidad tecnológica, condiciones de mercado para materiales secundarios y aceptación pública.

Reciclaje de tubos fluorescentes

El equipo para el reciclaje incluye la separación de los componentes del tubo: vidrio, cabezales de aluminio, fósforo y mercurio. Consiste en un triturador, un separador, sistemas de filtración de partículas y vapor, así como cintas para el flujo de los materiales. Los diferentes materiales generados son derivados a un tratamiento posterior, reciclaje o disposición final.

Un soplador industrial mantiene la presión negativa a lo largo de todo el proceso. El polvo se hace pasar a través de un sistema de filtros (que son automáticamente limpiados para evitar acumulación) y por último a través de un filtro de carbón activado antes de ser liberado a la atmósfera.



Trituración y separación: Los tubos ingresan enteros al proceso, siendo la primera etapa la trituración del vidrio. Los componentes de la lámpara son separados y depositados en diferentes contenedores. Los cabezales de aluminio y el vidrio son analizados en cuanto a su contenido de mercurio y enviados a su reciclaje fuera del sitio. El polvo de fósforo es separado y enviado a un contenedor para su posterior tratamiento. Los filamentos son removidos por un separador magnético y enviados a reciclaje.

Unidad de recuperación térmica: El polvo separado es volcado al horno, donde por la aplicación de calor el mercurio es vaporizado y posteriormente condensado y enviado a un proceso de destilación.

Destilación: El mercurio recuperado es sometido a una triple destilación para su venta como Mercurio Técnicamente Puro (99.99% puro).

Reciclaje de lámparas de descarga

Separación de componentes: Bajo una circulación de aire que mantiene la presión negativa, el globo externo del cristal se separa del vástago de la base y del metal de la lámpara que contiene el tubo interno del arco (que contiene el mercurio). Las partes que no contienen mercurio son separadas, clasificadas por tipo de material, testeadas en cuanto a su contenido de mercurio y enviadas a reciclaje.

Unidad térmica: El tubo interior se coloca en un horno donde es llevado a altas temperaturas, lo que ocasiona la vaporización del mercurio adherido al vidrio. El mercurio es enfriado y recogido para su procesamiento. El vidrio del tubo interior es enfriado, analizado y enviado a reciclaje.

Destilación: El mercurio crudo que se ha recuperado del proceso térmico es sometido a una destilación triple para quitarle impurezas, lo cual permite calificar al mercurio obtenido luego del proceso, como técnicamente puro.

El tratamiento de las lámparas está diseñado, para la captación y control de los contaminantes y para la máxima valorización de los materiales que las componen. En estas condiciones, el porcentaje de valorización de materiales es del 94% en peso de la cantidad total de lámparas tratada, llegando este porcentaje al 97,5% en el caso de las lámparas fluorescentes de tubo recto.

A través del reciclaje de lámparas de descarga y tubos fluorescentes, se obtienen los siguientes productos: mercurio puro, polvo luminiscente exento de mercurio ya destilado, vidrio, metal y material de embalaje utilizado durante el transporte. Estos materiales son entregados a gestores autorizados quienes los reintegran a los circuitos de valorización, excepto el mercurio que es comercializado como Mercurio Técnicamente Puro.

El residuo obtenido de la destilación es considerado residuo peligroso si se superan los límites de concentración de mercurio o plomo en el test de lixiviación. En ese caso se debe disponer en relleno de seguridad.

12.3 Referencias

Hazardous waste management system; Modification of the hazardous waste program; Hazardous waste lamps; Final Rule. US EPA, 1999.

Lámparas de descarga como residuo industrial y urbano. Legislación. Procedimientos posibles de actuación. García Ruiz, Juan Antonio (U.P.C), Moreno, Jordi Coves (U.P.C), Certain, Frederic (MOSECA), 1993.

Lighting waste, hazardous waste, Compliance Bulletin. Colorado Department and Public Health and Environment, 2002.

National Mercury- Lamp recycling rate and availability of lamp recycling services in the U.S. Association of lightning and mercury recyclers, 2004.

Tecnologías de tratamiento de sólidos. Los residuos en el contexto de la luminotecnia. Ing. Quím. R. Iribarne. 2002 ***www.dsostenible.com.ar***

13. Residuos Radiactivos...

Residuos Radiactivos

13.1 Tipos y Clasificación de Residuos Radiactivos

Existe un amplio rango de actividades que utilizan elementos radioactivos de distinto tipo. La generación de residuos radioactivos se puede agrupar de la siguiente forma:

Aplicaciones energéticas. Se trata del grupo más importante. El mayor volumen de estos residuos se produce en las distintas etapas por las que pasa el combustible nuclear (desde la minería del uranio hasta su posterior gestión una vez gastado), así como en el desmantelamiento de las centrales nucleares.

Aplicaciones no energéticas. Este grupo es denominado el de los pequeños productores e incluye la producción de radioisótopos y de actividades de investigación, medicina e industria, donde se utilizan directa o indirectamente isótopos radioactivos.

Los residuos radioactivos se pueden clasificar según los siguientes criterios:

- *Por su estado físico: sólidos, líquidos y gaseosos.*
- *Por el tipo de radiación que emiten: alfa, beta y gamma.*
- *Por su período de semidesintegración: vida corta o vida larga.*
- *Por su actividad específica: alta, media o baja.*

A efectos de unificar criterios la Comunidad Europea estableció la siguiente clasificación:

Residuos radioactivos de transición: residuos principalmente de origen médico, que se desintegran durante el período de almacenamiento temporal, pudiendo a continuación ser gestionados como residuos no radiactivos, siempre que se respeten valores de desclasificación establecidos.

Residuos de media y baja actividad: su concentración de radionucleidos es tal que la generación de energía térmica durante su disposición es suficientemente baja.

- ***Residuos de vida corta:*** *residuos radiactivos que contienen nucleidos cuya vida media es inferior o igual a la del Cs-137 y el Sr-90 (30 años aproximadamente), con una concentración limitada de radionucleidos alfa de vida larga (4.000 Bq/g en lotes individuales de residuos y a una media general de 400 Bq/g en el volumen total de residuos).*
- ***Residuos de vida larga:*** *radionucleidos y emisores alfa de vida larga cuya concentración es superior a los límites aplicables a los residuos de vida corta.*

En resumen son los residuos que emiten pequeñas cantidades de radiación. Este grupo lo integran: herramientas, ropas, piezas de repuesto, lodos, etc. de las centrales nucleares, universidades, hospitales, organismos de investigación e industrias.

Residuos de alta actividad: Residuos con una concentración tal de radionucleidos que debe tenerse en cuenta la generación de energía térmica durante su almacenamiento y disposición.

Son los que emiten altas dosis de radiación. Están formados, fundamentalmente por el combustible nuclear gastado, si éste no se reprocesa, o por los residuos del reprocesamiento. También se incluyen algunas sustancias que quedan en el proceso minero de purificación del uranio. Tienen una elevada actividad específica de vida corta, contienen radionucleidos emisores alfa de vida larga en concentraciones apreciables.

13.2 Riesgos Asociados a los Residuos Radiactivos

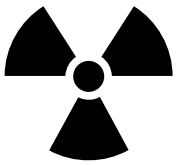
Los residuos radiactivos se caracterizan por su **gran peligrosidad** y **duración**. Esto es que algunos de estos isótopos permanecerán emitiendo radiaciones miles y decenas de miles de años y que cantidades muy pequeñas pueden originar dosis de radiación peligrosas para la salud humana.

Es por esta razón que si bien la cantidad de residuos radiactivos que se producen en un país es comparativamente mucho menor que la de los otros tipos de residuos, los riesgos asociados a la gestión de los mismos es mayor. Adicionalmente las tecnologías para el tratamiento y la disposición final son mucho más sofisticadas.

13.3 Gestión de los Residuos Radiactivos

En todos los países los residuos radiactivos tienen una línea de gestión completamente separada del resto de los residuos. El ciclo de vida de los elementos radiactivos está regulado por oficinas estatales especializadas, fuera de la órbita de los Ministerios de Medio Ambiente. Son estas oficinas, siguiendo los lineamientos dictados por el **Organismo Internacional de Energía Atómica**, las que establecen procedimientos especiales para el manejo de los elementos durante toda su vida útil incluyendo su manejo como residuos.

Basado en una amplia experiencia del Organismo Internacional de Energía Atómica elabora principios, normas, guías prácticas y recomendaciones que difunde entre los países miembros a fin de lograr una gestión segura de los residuos radioactivos.



Gestionar correctamente estos residuos implica contar con todas las acciones técnicas, económicas y administrativas necesarias para la manipulación, tratamiento, acondicionamiento, transporte, almacenamiento y disposición final de forma de minimizar los riesgos de exposición, tanto actual como futura.

Los residuos **radioactivos de transición** pierden esta característica en períodos de tiempo muy cortos, transformándose en elementos químicos estables y por lo tanto pueden ser tratados como residuos comunes.

Algunos residuos líquidos de baja actividad se eliminan vertiéndolos en forma muy diluida, en concentraciones tan pequeñas que no son dañinas. Los índices de radiación que dan estos vertidos son menores que los que suelen dar muchas sustancias naturales o algunos electrodomésticos de uso cotidiano.

El último eslabón de la cadena de gestión es asegurar el confinamiento y aislamiento de los residuos del entorno humano, por un período de tiempo y en condiciones tales que cualquier liberación de radionucleidos contenidos en los mismos no suponga un riesgo radiológico inaceptable para las personas o el medio ambiente hasta que los mismos hayan perdido su peligrosidad.

En el caso de los **residuos de baja actividad** el período en el que pueden representar riesgo radiológico es del orden de 50 años, mientras que para los de **media actividad** es de 300 años. Generalmente en el confinamiento y aislamiento de estos residuos se utilizan cuatro barreras:

- ***Química*** *- inmoviliza los radionucleidos.*
- ***Física*** *- contiene y confina, facilitando el manejo y transporte.*
- ***Ingenieril*** *- limita el escape y retrasa la lixiviación*
- ***Geológica*** *- limita y retrasa el acceso de los radionucleidos al medio ambiente y al hombre en caso de fallas en las otras barreras.*

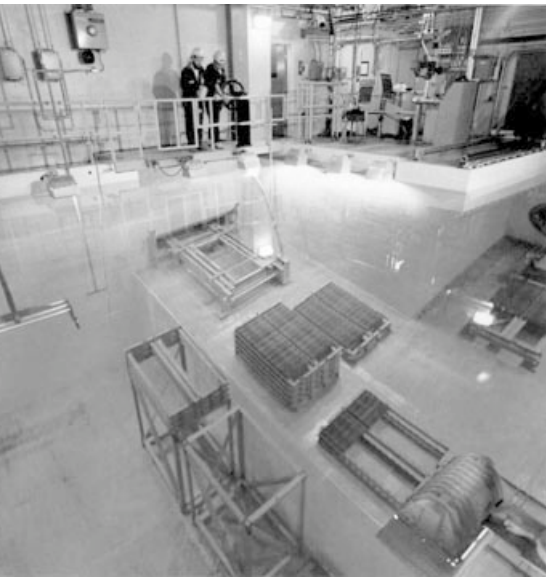
Para el tratamiento de estos residuos se emplean tecnologías como la compactación, la incineración, la precipitación o el intercambio iónico. La inmovilización se realiza en matrices de cemento, bituminosas o poliméricas y colocándolas en contenedores de acero u hormigón.

La disposición de los residuos de baja actividad se realiza en trincheras mejoradas, mientras que los de media actividad se disponen en celdas de enterramiento especialmente diseñadas. El diseño de estas unidades deben contemplar una vida útil que incluye tres etapas: operación, clausura vigilada y abandono (cuando ya no existe riesgo y se levantan las restricciones para cualquier uso.

Los países que no cuentan con este tipo de instalaciones suelen almacenar los residuos en condiciones seguras a la espera de un acondicionamiento y disposición final.

Los residuos de **alta actividad** son los más difíciles de tratar. Actualmente los combustibles gastados se pueden gestionar de dos formas: "ciclo abierto" o "ciclo cerrado".

El "ciclo abierto" considera a los combustibles gastados como residuos de alta actividad que deben ser dispuestos en formaciones geológicas profundas. Inicialmente el combustible gastado se almacena en piscinas especiales en la propia central, con el objeto de que decaiga su radiactividad y de liberar calor residual. De aquí se puede pasar a otro almacenamiento que también pueden ser piscinas o almacenamiento en seco en contenedores especiales.



Por último los residuos deben ser encapsulados y dispuestos en formaciones geológicas estables (depósitos de arcilla, sales o macizos graníticos), profundas (500 a 1000 m) y bien refrigeradas puesto que los isótopos radiactivos continúan emitiendo calor. De momento los residuos continúan siendo almacenados, ya que se están estudiando varios emplazamientos pero en el mundo todavía no existe ninguno (salvo uno en EEUU utilizado para los residuos del programa de defensa).

En el caso de "ciclo cerrado" el combustible gastado es reprocesado con el fin de recuperar Uranio y Plutonio para ser utilizados como materiales energéticos. En este caso se generan residuos de baja, media y alta actividad que deben ser gestionados como tales.

Dadas las preocupaciones sociales en relación al almacenamiento profundo, desde los años 90 se ha comenzado a estudiar la separación y transmutación de determinados radionucleidos de vida larga, con el objetivo de disminuir el inventario de residuos de alta actividad. Esta nueva alternativa, que de momento esta e etapa de investigación se la denomina "ciclo cerrado avanzado"

13.4 Referencias

Foro de la industria nuclear. ***www.foronuclear.org***

US Nuclear Regulatory Commisision. ***www.ncr.gov***

Servicio de Protección Radiológica - España. ***www.urg.es***

Consejo de Seguridad Nuclear - España. ***www.csn.es***

2. Tecnologías de Tratamiento y Disposición Final

I. Autoclavado de Residuos Hospitalarios

A nivel internacional se reconoce a la **esterilización por autoclavado** como una de las **mejores tecnologías disponibles** para el procesamiento de **residuos sólidos hospitalarios infecciosos**, siendo preferida frente a la incineración por no existir riesgo de generación de dioxinas y furanos.

Se trata de un tratamiento adecuado para residuos infecciosos, no así para residuos farmacológicos, químicos, citostáticos y radiactivos, por lo que se requiere de una correcta segregación en la fuente.

En el tratamiento se elimina la peligrosidad de estos residuos por lo que se transforman en residuos asimilables a residuos urbanos y pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios. Sin embargo los sólidos tratados permanecen reconocibles después del tratamiento, por lo que en algunos casos se requiere de una etapa posterior, en la que los residuos son triturados antes de su disposición final en rellenos sanitarios.

I.1 Fundamentos de la Esterilización

La esterilización consiste en la destrucción total de todas las formas de vida, incluyendo los virus. A nivel comercial existen distintas formas de esterilizar, siendo la más frecuente la utilización de calor húmedo y en particular vapor saturado bajo presión.

La presencia del agua juega un papel muy importante en la destrucción de los microorganismos y hace reducir la temperatura y tiempos de exposición en comparación con la utilización de calor seco. Es bien conocido el efecto letal del calor húmedo debido a la coagulación de las proteínas.

La mayor eficiencia del calor húmedo con relación al calor seco se basa en dos aspectos fundamentales: la reactividad del agua en esas condiciones con numerosos componentes celulares como proteínas, RNA, DNA y otros; y en el incremento en las constantes de transferencia de calor. En resumen tenemos un medio altamente reactivo y una elevada capacidad de transferencia de calor.

Asimismo, la presencia de aire hace que el proceso de esterilización sea menos eficiente. La pérdida de eficiencia es consecuencia de dos factores, por un lado la constante de transferencia de calor del aire es mucho menor que la del vapor y por otro la densidad del vapor es mayor que la del aire, lo que hará que el vapor ocupe el espacio inferior. Esto puede hacer que se alcance la presión de trabajo pero no la temperatura. Por esta razón los procesos de esterilización incluyen una etapa previa de vacío.

La muerte de los microorganismos en estas condiciones sigue una cinética de primer orden. El planteo de esta cinética permite obtener la siguiente expresión, con la que es posible determinar el número de microorganismos viables en función del tiempo de tratamiento:

$$N = N_o * e^{-Kt}$$

Donde No es el número de microorganismos viables al inicio del tratamiento, N es el número de microorganismos viables luego de un tiempo t de tratamiento y K es la constante de muerte que depende del tipo de microorganismo y de las condiciones ambientales. De acuerdo a los valores de K reportados en la bibliografía, aún para los microorganismos más resistentes, es posible obtener muy bajos valores de N para tiempos relativamente cortos.

I.2 Tipos de Autoclave

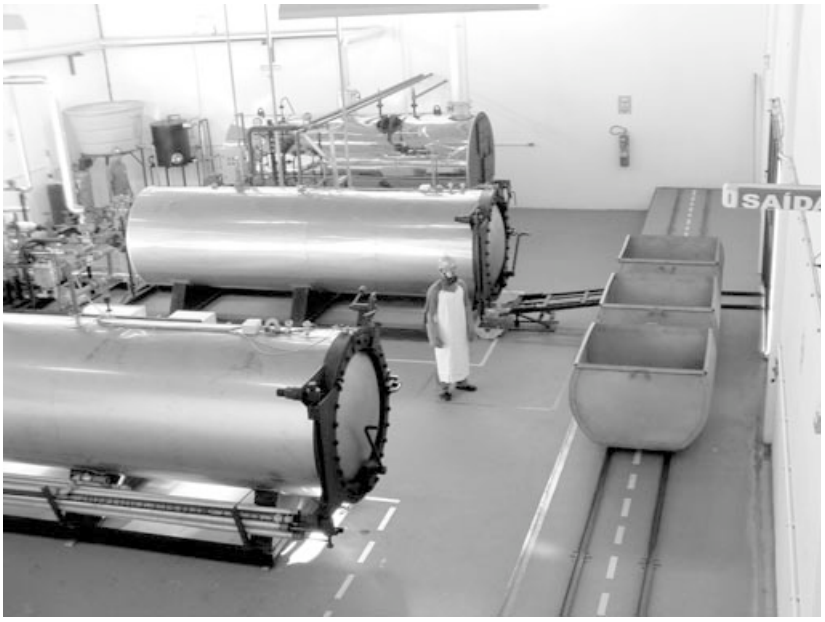
Básicamente existen dos tipos de autoclaves:

- *Desplazamiento por gravedad: el vapor ingresa y desplaza al aire por gravedad.*
- *Pre-vacío: el aire es retirado por medio de vacío previo a la entrada de vapor.*

En el caso de desplazamiento por gravedad se trabaja a 121 ºC y presiones de 1.1 kg/cm^2 con tiempo mínimo de 90 minutos.

Los equipos de pre-vacío operan en el rango de 130 a 160 ºC, presiones de 2 a 6 kg/cm^2 y tiempos de 15 a 45 minutos.

Los autoclaves son cámaras metálicas diseñadas para soportar los ciclos de presión temperatura requeridos para destrucción total de todas las formas de vida, incluyendo los virus. A nivel comercial existe una amplia gama de equipos, con capacidades para tratar cantidades que van desde los 20 kg. a más de 1 ton por ciclo, por lo que se pueden atender las necesidades de un pequeño centro de salud hasta ser utilizadas en plantas centralizadas de tratamiento de residuos hospitalarios.



Las plantas de tratamiento constan básicamente de una o más unidades de autoclavado, una caldera para el suministro de vapor y una bomba de vacío (en el caso de utilizar pre-vacío). El autoclave es diseñado de forma de permitir una fácil carga y descarga de los residuos, los cuales se colocan dentro de contenedores. En caso de grandes unidades los contenedores son carros de forma de permitir un fácil traslado.

En los procesos en los que se emplean los rangos superiores de temperatura se produce la fusión parcial de muchos de los materiales plásticos, lo que hace que la masa de residuos forme una especie de bloque, en el que se pierde la individualidad de los residuos. En estos casos se relativiza la necesidad de trituración.

I.3 Operación del Sistema

Se trata de un proceso del tipo discontinuo, que comprende las siguientes etapas:

- *carga de los residuos*
- *pre-vacío o desplazamiento del aire por gravedad*
- *esterilizado con vapor (mantenimiento de temperatura y presión de diseño durante el tiempo establecido).*
- *purga*
- *post-vacío (solo en autoclaves de tipo pre-vacío)*
- *descarga de los residuos*

El aire desplazado tanto en los equipos de desplazamiento por gravedad como en los de pre-vacío debe ser esterilizado, ya que existe riesgo de arrastre de patógenos. Para esto se utiliza la inyección directa de vapor o intercambiadores de calor.

Como fuera mencionado podría ser necesaria un etapa posterior de trituración de los residuos con la finalidad de dejarlos irreconocibles.

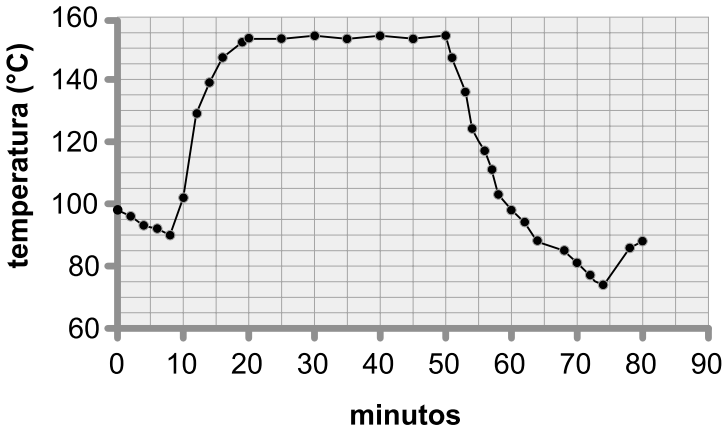
I.4 Control del Proceso

La verificación de la correcta operación del sistema de tratamiento de residuos hospitalarios mediante autoclavado se realiza a través de dos tipos de controles independientes:

- *control de las variables operativas*
- *control de eficiencia de la esterilización (indicadores químicos y biológicos)*

Para una correcta operación del sistema se requiere un estricto control de la presión y la temperatura en las distintas etapas. Generalmente los equipos cuentan con sistemas automáticos para el control de estas variables y sistemas de registro continuo de las mismas.

En la siguiente figura se puede apreciar un ejemplo típico de la variación de temperatura en función del tiempo durante el ciclo de esterilización.



El seguimiento de las variables operativas es complementado con controles de eficiencia de la esterilización, para lo cual se utilizan dos tipos de indicadores: químicos y biológicos, los cuales se introducen en el autoclave junto con los residuos que van a ser tratados.

Los indicadores químicos consisten en tiras de papel impresas con tinta de indicador químico que cambia de color en función de la temperatura alcanzada, indicando el grado de esterilización logrado.

Como indicador biológico se utilizan viales de esporas del *Bacillus Stearothermophilus*, cuya resistencia al calor es mayor que la de los organismos patógenos. Los viales son colocados en la masa de residuos, en las zonas más comprometidas en relación a alcanzar las condiciones de esterilización. Luego del ciclo se incuban en condiciones especiales y se verifica la ausencia de crecimiento del microorganismo.

En el campo de la medicina, en el cual es de vasta aplicación la esterilización, se establece un valor de probabilidad de muerte del 99.9999 % (probabilidad de supervivencia de 1 en un millón) como condición de esterilización efectiva.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos adoptó como estándar para el caso de la esterilización efectiva de los residuos hospitalarios, un valor de probabilidad de muerte de 99.99 % lo que significa una falla en la esterilización de 1 en 10.000. Estos valores son ampliamente superados por los equipos disponibles en el mercado.

I.5 Referencias

Bondtech autoclave validation test results, Koogler & Associates Environmental Services of Gainesville, Florida. 1994.

Directrices técnicas sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos biomédicos y sanitarios. Secretaria del Convenio de Basilea, 2003.

Evaluation of potential biological emissions from alternative medical waste treatment Technologies. Solid Waste Office, US EPA, 1993.

Manejo de residuos en centros de atención de salud. G. Monge, CEPIS, 1997.

Manual para técnicos e inspectores de saneamiento, Programa Regional de Desechos Sólidos Hospitalarios ALA 91/33, 1998.

II. Incineración de Residuos Peligrosos

Se entiende por incineración al procesamiento de residuos en cualquier unidad técnica, equipo fijo o móvil que involucre un proceso de combustión a altas temperaturas.

La incineración de residuos peligrosos tiene por objeto la reducción del volumen y la peligrosidad de los residuos, destruyendo los compuestos orgánicos mediante la combustión a altas temperaturas.

En el proceso de incineración la materia orgánica es oxidada con el oxígeno del aire, generando emisiones gaseosas que contienen mayoritariamente dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno y oxígeno. Dependiendo de la composición de los residuos y de las condiciones de operación, las emisiones gaseosas pueden contener además cantidades menores de monóxido de carbono, ácidos clorhídrico, yodhídrico y bromhídrico, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, PCBs, dioxinas y furanos, y metales, entre otros. En el proceso se generan residuos sólidos (cenizas y escorias constituidas por el material no combustible).

La incineración es un proceso complejo que debe ser cuidadosamente diseñado y operado, requiere de altos costos de inversión, operación y mantenimiento, así como mano de obra calificada. Sin embargo, se trata de una tecnología demostrada y disponible comercialmente para el tratamiento de residuos peligrosos. De hecho es claramente aceptada como la mejor alternativa disponible para la destrucción de la mayoría de los residuos orgánicos peligrosos.

Existen diferentes tipos de incineradores y cada uno de ellos tendrá sus limitaciones en cuanto al tipo y cantidad de residuos a procesar.

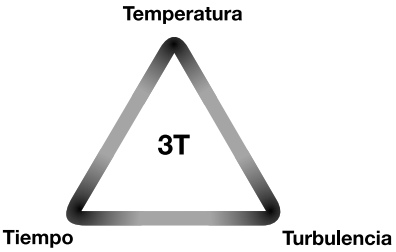
II.1 Tipos de Incineradores

A efectos de lograr una combustión eficiente la disponibilidad de oxígeno es esencial, utilizándose cantidades superiores a los requerimientos teóricos. Los requerimientos de aire (oxígeno) dependerán del tipo de combustible y del horno.

Adicionalmente las variables operativas más importantes para un incinerador son: la **temperatura**, el **tiempo de residencia de los gases** y la **turbulencia**, frecuentemente referidas como las 3T. Estas variables repercutirán directamente en la eficiencia de la destrucción del sistema y por ende en la generación de productos de combustión incompleta que formarán parte de las emisiones gaseosas del incinerador.

Dentro de la amplia gama de compuestos que pueden estar presentes en los residuos peligrosos, algunos son compuestos orgánicos que se destruyen eficientemente a bajas temperaturas (por ejemplo madera, papel, aceites), sin embargo otros constituyentes requieren de altas temperaturas para una combustión completa. Es así que los **incineradores para residuos peligrosos** son diseñados para que los gases de combustión alcancen **temperaturas en el rango de 850 a 1600 ºC**, con un **tiempo de estadía de al menos 2 segundos**.

La Unión Europea obliga a que las instalaciones sean diseñadas y operadas de tal modo que mantengan los gases resultantes de la incineración a una temperatura mínima de 850 ºC durante al menos 2 segundos. En caso que los residuos peligrosos contengan más del 1 % de sustancias organohalogenadas (expresadas en cloro), la temperatura deberá elevarse hasta 1100 ºC durante 2 segundos como mínimo.

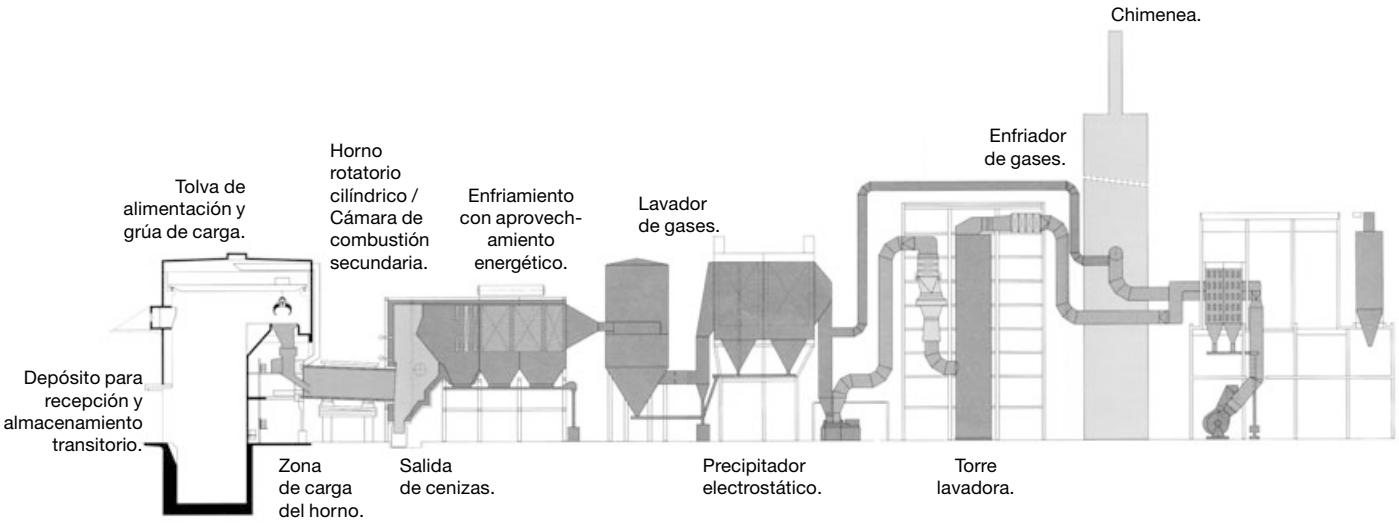


Existen varios tipos y diseños de incineradores desarrollados para el tratamiento de los diferentes residuos, contemplando en particular el estado físico de los mismos. Actualmente existe una considerable experiencia a nivel de los fabricantes y muchos de estos diseños han sido ampliamente utilizados desde hace varios años. Dentro de los tipos más comunes tenemos:

- ➔ *de inyección líquida*
- ➔ *de hornos rotatorios*

Mas allá de las diferencias entre los distintos tipos de incineradores, existen una serie de subsistemas comunes a todos.

1. *Preparación y alimentación de los residuos*
2. *Cámara(s) de combustión*
3. *Tratamiento de emisiones gaseosas*
4. *Manejo de residuos sólidos y efluentes*



II.2 Preparación y Almacenamiento de los Residuos

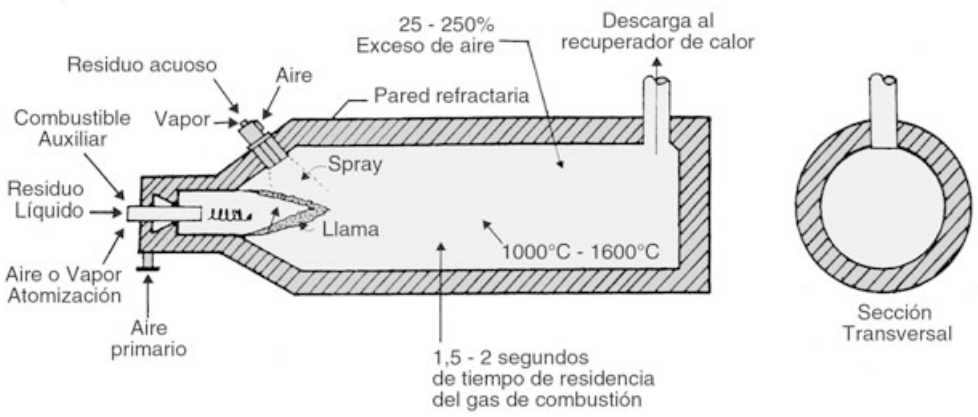
Es la forma física del residuo la que determina el método de alimentación. Los líquidos son mezclados y bombeados a la cámara de combustión previa atomización mediante toberas. En caso de contener sólidos en suspensión se deben filtrar previamente o ajustar los atomizadores.

Los diferentes residuos líquidos se suelen mezclar previamente (blending) de forma de obtener un poder calorífico del orden de los 8000 Btu/lb, viscosidad adecuada, así como para no superar niveles de concentración de contaminantes como cloro y sulfuro entre otros.

Los lodos son generalmente alimentados usando bombas y lanzas. Los sólidos pueden requerir algún tipo de fraccionamiento para controlar el tamaño. La forma de ingreso es por gravedad, alimentadores neumáticos, vibradores, cintas transportadoras o tornillos sin fin.

II.3 Cámara(s) de Combustión

La forma física del residuo y su contenido de cenizas determina el tipo de cámara de combustión a ser utilizado.



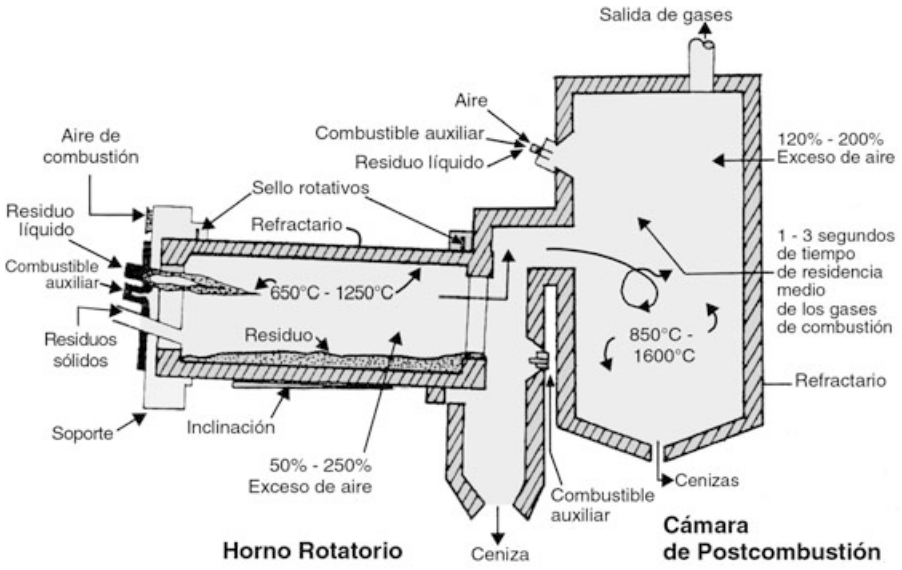
Los **incineradores de inyección líquida** se utilizan exclusivamente para líquidos bombeables. Se trata de cámaras de combustión consistes en cilindros revestidos con ladrillos refractarios, que pueden ser verticales u horizontales y contar con uno o mas quemadores. El diseño de los quemadores resulta ser uno de los factores más críticos para lograr elevadas eficiencias de destrucción. Las temperaturas de operación están en el rango de 1000 a 1600 ºC y los tiempos de residencia entre 1,5 y 2 segundos. En la figura se presenta un esquema de este tipo de cámara.

Los incineradores de **horno rotatorio** cuentan con cámaras cilíndricas recubiertas de refractarios, que cuentan con una leve inclinación horizontal y rotan a una velocidad de entre 0,5 a 1,0 rpm. Este diseño permite que los residuos que ingresan por un extremo se desplacen mezclándose a través del horno, hasta ser descargados en el otro extremo. Cuentan con un quemador, ubicado del lado de la alimentación, que utiliza combustibles o residuos líquidos de alto poder calorífico.

El tiempo de retención de los sólidos es de alrededor de una hora y el mismo está determinado por la inclinación, la velocidad de rotación y el largo de la cámara.

En esta cámara se produce la gasificación de los residuos por medio de la volatilización y la combustión parcial de los componentes, por lo que es necesaria una segunda cámara de post-combustión. Esta segunda cámara es similar a la de los incineradores de inyección líquida y cuenta con quemadores

que utilizan combustibles auxiliares o residuos líquidos de alto poder calorífico, de forma de elevar y mantener la temperatura durante el tiempo necesario. Las temperaturas de operación típicas están en los rangos de 650 a 1250 °C y 850 a 1600 °C en la primera y segunda cámara respectivamente. El tiempo de estadía de los gases es de 1 a 3 segundos en la cámara secundaria. La capacidad de procesamiento de estas unidades está en el rango de las 10 a 350 ton/d. En la figura se presenta un esquema de este tipo de incinerador.



Dentro de las ventajas de este sistema se destaca la posibilidad de tratar una amplia gama de residuos sólidos, residuos líquidos previamente atomizados, lodos con alto contenido de humedad y residuos que forman escorias fundidas.

Generalmente las cámaras cuentan con controladores automáticos de temperatura, los cuales comandan quemadores auxiliares que se encienden automáticamente cuando la temperatura desciende por debajo de los valores establecidos. Estos quemadores se utilizan fundamentalmente en el arranque y parada del equipo.

II.4 Tratamiento de las Emisiones Gaseosas

A efectos de cumplir con los estándares de emisión que se manejan a nivel internacional, los incineradores deben contar con sofisticados sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas y el correspondiente sistema de control. El sistema de tratamiento y control de emisiones constituye uno de los elementos clave en las plantas de incineración, siendo uno de los componentes mayoritarios del costo total (aproximadamente entre la mitad y un tercio del costo, dependiendo de la escala).

Los constituyentes de los residuos, las condiciones de operación y el sistema de tratamiento de emisiones utilizado son los que determinan el tipo de sustancias y la concentración en los gases que se emiten a la atmósfera. Por ejemplo, los niveles de ácido clorhídrico y dióxido de azufre emitidos están directamente relacionados con el contenido de cloruros y sulfuros de los residuos. Adicionalmente el contenido de cloro en los residuos contribuye a la formación de dioxinas y furanos.

Los sistemas de tratamiento deben garantizar la remoción de contaminantes tales como el ácido clorhídrico originado por la presencia de cloro en los residuos, cenizas volantes de muy pequeño diámetro (menores de 1 micra) y óxidos de azufre entre otros.

Los sistemas de tratamiento de emisiones más comunes cuentan con:

- *un enfriador (quench) para el acondicionamiento térmico de los gases*
- *un lavador Venturi para la remoción de partículas*
- *una torre de absorción para la remoción de ácidos*
- *un eliminador de nieblas*

El rápido enfriamiento, a temperaturas por debajo de los 100 ºC, reduce el tiempo de residencia de los gases de combustión en zonas de temperatura que pueden dar lugar a la síntesis de dioxinas y furanos.

Los lavadores Venturi inyectan en forma atomizada agua o una solución de soda la que arrastra las partículas y parte de los gases absorbibles. Simultáneamente en estas unidades se produce otra caída de la temperatura de los gases. Las torres de adsorción funcionan con la recirculación de una solución en contracorriente con el flujo de gas.

Las unidades cuentan generalmente con otros elementos de control como son los precipitadores electrostáticos húmedos, lavadores húmedos ionizantes, filtros de manga y ciclones. La remoción de dioxinas y furanos, así como posibles restos de mercurio residual, se realiza mediante filtros conteniendo mezclas adsorbentes.

Las emisiones gaseosas son emitidas a la atmósfera por medio de chimeneas, las cuales se diseñan de modo que no exista contaminación atmosférica significativa a nivel de suelo, protegiendo así la salud humana y el medio ambiente.

Las instalaciones deben contar con medidores que permitan el monitoreo continuo de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, compuestos orgánicos volátiles y material particulado. Adicionalmente se deben realizar monitoreos periódicos de metales pesados, dioxinas y furanos.

II.5 Manejo de Residuos Sólidos y Efluentes

En el proceso de incineración se generan residuos, básicamente compuestos inorgánicos, que salen del sistema como cenizas de fondo de la cámara de combustión, sólidos separados en el sistema de tratamiento de gases y pequeñas cantidades que pueden permanecer en la corriente gaseosa dependiendo de la eficiencia del tratamiento utilizado.

Las cenizas de fondo son enfriadas y almacenadas para disposición en rellenos de seguridad, siendo en algunas ocasiones sometidas a algún tipo de tratamiento previo como la estabilización - solidificación.

Los líquidos generados en el sistema de tratamiento de emisiones gaseosas son sometidos a un tratamiento fisicoquímico, eventualmente recirculados, y evacuados. Los lodos separados son pre-tratados y dispuestos en rellenos de seguridad.

II.6 Desempeño de los Incineradores

A efectos de verificar el desempeño de los incineradores se realizan ensayos de quema. En estos ensayos se emplea una alimentación de residuos conteniendo compuestos orgánicos peligrosos preestablecidos. Según la EPA se debe alcanzar como mínimo una destrucción del 99,99 % para los compuestos ensayados, es decir que no más del 0,01 % de la sustancia utilizada puede ser emitida a la atmósfera. En caso de incinerar PCBs o dioxinas el porcentaje de destrucción debe alcanzar el 99,9999 %.

Adicionalmente se controla el grado de incineración midiendo el contenido de carbono en las escorias y cenizas. Según la Comunidad Europea este contenido no puede superar el 3 %.

II.7 Estándares de Emisiones a la Atmósfera para Incineradores

Los parámetros utilizados para el control de emisiones a la atmósfera de instalaciones de incineración de residuos peligrosos son: metales pesados, dioxinas y furanos, monóxido de carbono, cenizas, carbono orgánico total, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno.

En la siguiente tabla se presentan a modo de guía los valores límite de emisión para incineradores de residuos peligrosos establecidos por la Unión Europea.

Parámetro	Concentración	Observación
Partículas totales	10 mg/m³	Valor medio diario
Sustancias orgánicas en estado gaseoso y vapor expresada en carbono orgánico total	10 mg/m³	Valor medio diario
CO	50 mg/m³	Valor medio diario
HCl	10 mg/m³	Valor medio diario
HF	1 mg/m³	Valor medio diario
SO_2	50 mg/m³	Valor medio diario
NOx (para instalaciones nuevas o existentes con capacidad superior a 6 ton/h)	200 mg/m³	Valor medio diario
NOx (para instalaciones existentes con capacidad menor a 6 ton/h)	400 mg/m³	Valor medio diario
Cadmio + Talio	0,05 mg/m³	Todos los valores medidos en un período de muestreo de entre 30 minutos y 8 horas.
Mercurio	0,05 mg/m³	Todos los valores medidos en un período de muestreo de entre 30 minutos y 8 horas.
Antimonio + Arsénico + Plomo + Cromo + Cobalto + Cobre + Manganeso + Níquel + Vanadio	0,05 mg/m³	Todos los valores medidos en un período de muestreo de entre 30 minutos y 8 horas.
Dioxinas y furanos	0,1 mg/m³	Todos los valores medidos en un período de muestreo de entre 6 y 8 horas.

Los resultados de las mediciones se deben referir a las siguientes condiciones: temperatura 273 K, presión 101.3 kpa, 11 % de oxígeno y gas seco.

II.8 Riesgos Asociados a los Incineradores

Deficiencias en la planta de incineración puede ocasionar una combustión incompleta o una escasa eficiencia en los sistemas de tratamiento, produciendo emisiones perjudiciales directamente para la salud de los pobladores de las cercanías o indirectamente por consumo de plantas o animales provenientes de áreas donde ocurre la deposición de las emisiones. Adicionalmente la incorrecta operación de la planta de incineración, incluido el manejo de los residuos generados en el proceso, puede poner en riesgo la salud de los operarios.

Se debe tener en cuenta que en las emisiones pueden aparecer compuestos más tóxicos que el producto originalmente incinerado, tal es el caso de las dibenzodioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados **(dioxinas y furanos)**. Estos contaminantes se han transformado en el elemento más controversial para la instalación de incineradores, sin embargo es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- *Las dioxinas y furanos son formadas en cualquier proceso de combustión, siendo más crítico si el proceso de combustión no es controlado.*
- *El desarrollo de la incineración y por ende la incorporación de tecnología más moderna ha incluido un sistema de enfriamiento rápido de los gases de combustión a efectos de prevenir la generación de estos contaminantes.*
- *La emisión de dioxinas y furanos estará condicionada básicamente por el tipo de residuos a incinerar, el diseño del incinerador, los parámetros operativos del proceso y el sistema de tratamiento de emisiones atmosféricas con que cuente la instalación.*

La disposición incorrecta de cenizas y lodos generados en el tratamiento de las emisiones gaseosas también puede ser otra fuente de contaminación.

A efectos de reducir los riesgos, además de hacer eficiente diseño del sistema y establecer estrictos procedimientos operativos y de control, se debe prestar especial atención a la localización. Se requiere la realización de un estudio de impacto ambiental que evalúe minuciosamente el impacto de las emisiones gaseosas, por medio del empleo de modelos que permitan predecir la dispersión de los gases en la atmósfera.

II.9 Viabilidad de Incineración

La alternativa de incineración como sistema de tratamiento de residuos dependerá de las características del residuo y de la instalación de incineración. En particular se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- *Que el residuo sea apto para ingresar a un proceso de incineración (mayoritariamente orgánico y contener cantidades mínimas de metales que puedan volatilizarse en el proceso). Además de estos aspectos generales se deberían verificar las condiciones específicas de incineración para los contaminantes presentes.*
- *Que el incinerador esté diseñado para el tratamiento de residuos peligrosos, en particular que se cumplan los parámetros de temperatura, turbulencia y tiempo de residencia necesarios. En caso de ser así se debe verificar si tiene restricciones específicas para algunos grupos de compuestos.*

- *Que la operación del incinerador sea la adecuada. A efectos de controlar el desempeño de los incineradores se realizan ensayos de quema.*
- *Que cuente con sistema de tratamiento y control de emisiones atmosféricas acorde con los residuos que procesa.*
- *Que cumpla con los estándares de emisiones atmosféricas que rigen en el país o en caso de no existir normas nacionales se sugiere comparar sus emisiones con estándares internacionales.*

Algunos ejemplos de los residuos que pueden ser incinerados son:

- *Medicamentos y productos farmacéuticos*
- *Solventes orgánicos*
- *Aceites minerales*
- *Resinas y pinturas*
- *PCBs*
- *Alquitranes*
- *Residuos orgánicos tóxicos*
- *Residuos sólidos hospitalarios*

Existen otros residuos que por sus características no deberían ser incinerados. Dentro de estos residuos tenemos aquellos con altas concentraciones de arsénico, mercurio, flúor, bromo, yodo, plomo y compuestos orgánicos siliconados. Las plantas de incineración fijan los límites máximos de concentración de este tipo de sustancias en los residuos que ingresan al sistema.

Para que la instalación y operación de una planta de incineración de residuos peligrosos sea viable, se requiere contar con una cantidad mínima de residuos. Esa cantidad surgirá de un estudio económico donde intervendrán, por un lado los costos de inversión y operación y por otro el costo de la incineración de residuo, que deberá ser un valor razonablemente competitivo. Este último puede estar en el rango de los 400 a 1000 U$S/ton.

II.10 Referencias

Technical guidelines on incineration on land. Basel Convention, 1995.

Public health overview of incineration as a means to destroy hazardous waste. Guidance to ATSDR Health Assessors, 1992

Incineración de residuos peligrosos, C. Dempsey, E. Oppelt, CETESB, 1996.

Integrated pollution prevention and control. Reference document on the best available techniques for waste incineration. European Commission, 2005.

Dangerous substances in waste. European Environment Agency, 2000.

Hazardous waste incineration: Advanced technology to protect the environment. Hazardous Waste Resource Center, USA, 2004.

Hazardous waste management. M. LaGrega, P. Duckinham, J. Evans. Mac Graw-Hill, Inc, 1994.

Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 4/12/2000, relativa a la incineración de residuos.

Manual de formación en gestión de residuos peligrosos para países en vías de desarrollo. ISWA, UNEP, Secretaría del Convenio de Basilea, 2002.

III. Rellenos de Seguridad

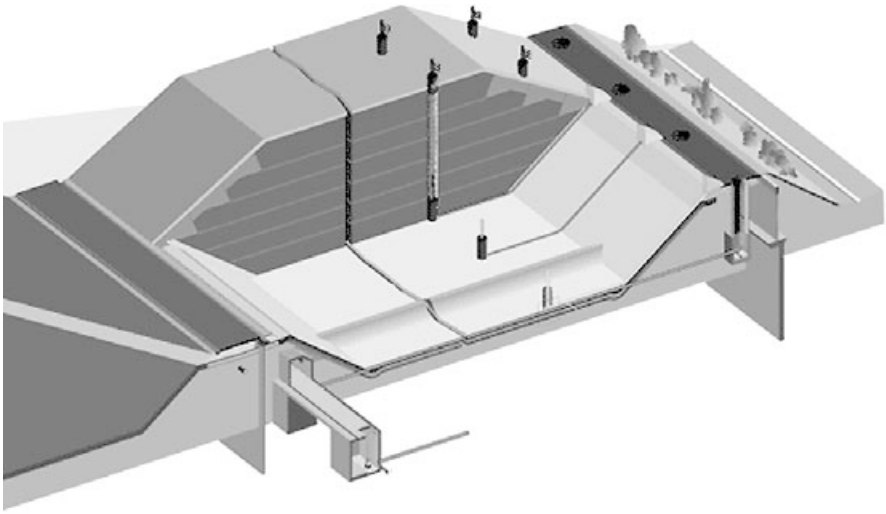
Si bien los sistemas de gestión de residuos peligrosos deben priorizar la minimización de la generación, el reciclaje y los tratamientos, siempre se generarán residuos que deben ser dispuestos en rellenos de seguridad. Este es un elemento clave que garantiza que los residuos se dispongan en forma segura. La no existencia de estas unidades hace que en muchos casos se practique la co-disposición de residuos peligrosos junto con residuos urbanos, con los correspondientes riesgos de liberación de contaminantes.

III.1 Definición de Relleno de Seguridad

Un relleno de seguridad es una obra de ingeniería diseñada, construida y operada para confinar en el terreno residuos peligrosos. Consiste básicamente en una o varias celdas de disposición final y un conjunto de elementos de infraestructura para la recepción y acondicionamiento de residuos, así como para el control de ingreso y evaluación de su funcionamiento.

Para ser considerado como un relleno de seguridad el mismo debe contar como mínimo con los siguientes elementos:

- *Sistema de impermeabilización de base y taludes de doble barrera.*
- *Sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados.*
- *Sistema de detección de pérdidas.*
- *Sistema de captación y conducción de gases.*
- *Elementos de control de ingreso de agua de lluvia por escurrimiento.*
- *Sistemas de impermeabilización para la clausura.*



La evaluación de esta opción como sistema de destino final deberá tener en cuenta que el relleno cumpla con las condiciones mínimas de seguridad para manejar residuos peligrosos y que los residuos a disponer cumplan con las condiciones de aceptación. En caso de que no se cumplieran las mismas se deberá evaluar si existe la viabilidad de acondicionar los residuos, mediante un pre-tratamiento, a efectos de su cumplimiento.

A diferencia de un relleno sanitario (que constituye una unidad de tratamiento y disposición simultánea), conceptualmente un relleno de seguridad representa un confinamiento a largo plazo.

III.2 Posibles Riesgos Ambientales y a la Salud

Los riesgos sobre la salud y el medio ambiente dependerán de la peligrosidad de los residuos que se manejen, de las posibilidades de liberación de los contaminantes y de su transporte en el medio, así como de la vulnerabilidad del entorno y la exposición humana.

El principal riesgo lo constituye la liberación de contaminantes por lixiviación. Los lixiviados pueden infiltrar y ocasionar contaminación de suelos y aguas subterráneas. Es por esta razón que los estudios hidrogeológicos son claves a la hora de seleccionar el sitio de emplazamiento, mientras que los usos del agua subterránea representarán exclusiones de localización.

Los lixiviados también pueden escurrir y alcanzar los cuerpos de agua superficiales, por lo que la cercanía a estos cuerpos hídricos y los usos del agua (aguas debajo de este tipo de instalaciones) también representarán criterios de exclusión.

Otra forma de liberar contaminantes es por vía de la volatilización de sustancias tóxicas o emisiones de polvo. En ambos casos se produce el arrastre por acción del viento.

Finalmente, otro riesgo es el contacto directo de las personas o animales con los residuos, por lo que se deberán establecer condiciones seguras para los operadores y limitar el acceso a personas ajenas al emprendimiento, así como también impedir el ingreso de animales.

III.3 Medidas de Protección Ambiental

Las medidas de protección ambiental tienen por objetivo minimizar los riesgos de afectación ambiental derivados de potenciales fugas de contaminantes. A continuación se listan dichas medidas.

Medida de protección	Comentarios
Localización	Consiste en establecer las zonas con mejor aptitud para la construcción de un relleno de seguridad. La aptitud incluye criterios ambientales, sociales y económicos. Dentro de los ambientales, la geología e hidrogeología suelen ser los aspectos más importantes. Dentro de los criterios sociales, los más importantes son los relacionados con las actividades humanas que se desarrollan en el entorno.
Proyecto de ingeniería	Aspectos claves: • Drenaje de pluviales • Sistema de impermeabilización • Sistema de drenaje de lixiviado • Planta de tratamiento de lixiviado • Cobertura final • Pozos de monitoreo • Clausura

Infraestructura	• Cercado • Señalizado • Cortina de árboles • Caminería interna • Garita de entrada • Galpón • Energía eléctrica y agua • Servicios higiénicos
Operación	Tan importante como la localización y el proyecto de ingeniería, es la correcta operación del relleno. Los aspectos clave son: • Entrenamiento de personal • Control de ingreso de residuos • Controles del sistema de impermeabilización, evacuación de lixiviados y funcionamiento de la planta de tratamiento • Planes de contingencia

III.4 Proyecto de Ingeniería

Como punto de partida para el diseño se requiere conocer la cantidad de residuos que tendrán como destino la disposición final en el relleno de seguridad. Con este dato es posible determinar el volumen de confinamiento necesario, asumiendo que para este tipo de obras la vida útil es de 10 años como mínimo.

Generalmente se maneja la posibilidad de diseñar **celdas contiguas**, cuya construcción se puede diferir en el tiempo.

El relleno podrá ser **abierto** o **techado**. Esto va a depender de un tema económico donde intervienen básicamente dos términos: el costo del techado y el costo del tratamiento de lixiviados. Dentro de este último, el régimen de lluvias es uno de los aspectos clave ya que determina el volumen de lixiviados, mientras que la composición del lixiviado fijará los requerimientos de tratamiento. La composición del lixiviado dependerá del tipo de residuo y de la forma en la que ingresa al relleno. En el caso de tratarse de mono-rellenos (para un solo tipo de residuos) el tratamiento suele ser más simple. La concentración del lixiviado dependerá de la facilidad de liberación de los contaminantes, lo que se puede regular con tratamientos previos a los que sean sometidos los residuos.

Otro aspecto a considerar es la **optimización de la relación entre el volumen de confinamiento, el área impermeabilizada y el movimiento de suelo**. Dado que el costo de la impermeabilización tiene un peso importante dentro del costo total de la obra, se trata de lograr el mayor volumen de confinamiento

impermeabilizando la menor cantidad de área posible. Trabajar con área mínima tiene la ventaja adicional de reducir la captación de agua de lluvia (generando menor cantidad de lixiviado) o implica menor superficie a techar si se opta por esta alternativa. En este punto la geología, hidrogeología, la topografía y el costo de los movimientos de tierra serán aspectos clave. La geología y la hidrogeología pueden limitar la profundidad de la celda, mientras que la topografía incidirá en los volúmenes de los movimientos de tierra.

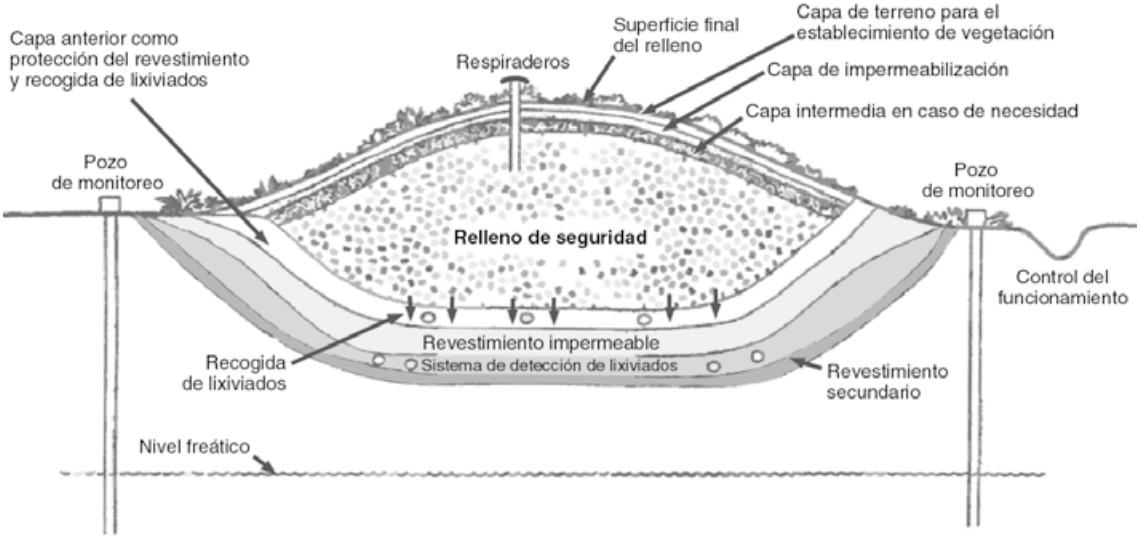
La obra tendrá las siguientes **características**:

- *estabilidad estructural*
- *impermeabilidad*
- *durabilidad*
- *resistencia mecánica*
- *resistencia a la intemperie*
- *compatibilidad con los residuos*

Los **elementos de diseño** con los que debe contar la obra son:

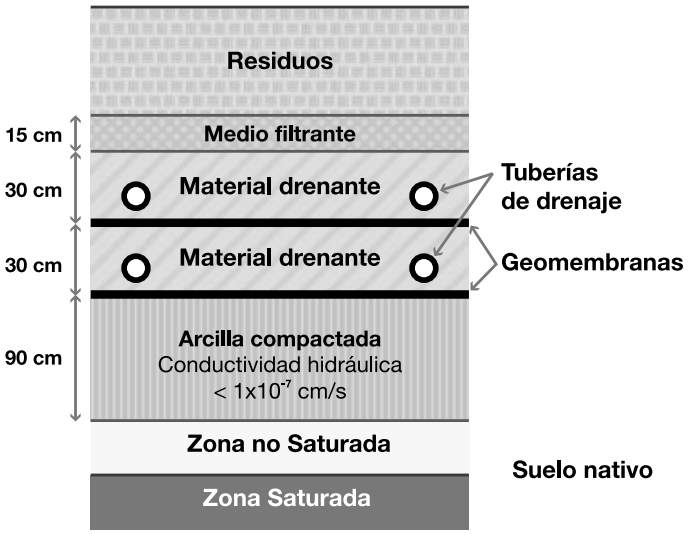
- *sistema de impermeabilización de base y taludes de doble barrera*
- *sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados*
- *sistema de detección de pérdidas*
- *sistema de captación y conducción de gases*
- *elementos de control de ingreso de agua de lluvia por escurrimiento*
- *pozos de monitoreo*
- *sistema de impermeabilización superior para la clausura.*

La impermeabilización inferior tiene la finalidad de confinar los residuos e impedir la infiltración del lixiviado, mientras que la superior impedirá la percolación del agua de lluvia a través de los residuos luego de la clausura.

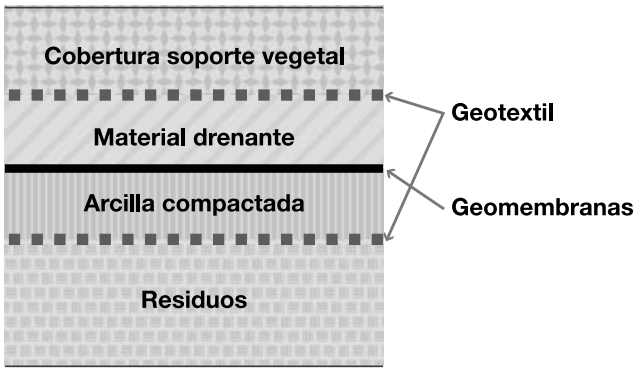


A continuación se presentan en forma esquemática el diseño de la impermeabilización de la base y la cobertura de una celda de un relleno de seguridad, de acuerdo a las recomendaciones de la US EPA.

Esquema de impermeabilización de la base



Esquema de impermeabilización de la cobertura



Para la impermeabilización de la base y los taludes se emplea un sistema de doble barrera de protección. La barrera suele estar compuesta por una capa arcillosa, dos geomembranas de material plástico, sistema de detección de pérdidas, sistema de drenaje y protección.

De acuerdo a lo recomendado por US EPA, la capa arcillosa debe tener un espesor de 90 cm y conductividad hidráulica máxima $1x10^{-7}$ cm/s. Alternativamente se puede emplear una capa equivalente de materiales sintéticos, no pudiendo ser de espesor menor a 60 cm.

La geomembrana será de material plástico de características adecuadas en cuanto a su composición, espesor y propiedades físicas para actuar como membrana impermeabilizante.

El sistema de detección de pérdidas se ubicará entre las dos geomembranas y estará compuesto por una capa de material drenante (de conductividad hidráulica mayor a $1x10^{-2}$ cm/s) y una red de tuberías que conduzcan el líquido hacia un reservorio de captación.

Para la captación y conducción de lixiviados se utilizará un sistema ubicado sobre la geomembrana superior compuesto por una capa de material drenante (de conductividad hidráulica mayor a $1x10^{-2}$ cm/s) y una red de tuberías que conduzcan el lixiviado hacia un reservorio de captación. La sección de las tuberías se calculará de forma de garantizar una altura máxima de lixiviado dentro del relleno de 30 cm.

Como material de construcción de los drenes se puede emplear arena limpia o grava, así como mallas de materiales sintéticos.

El relleno deberá contar con una serie de drenes verticales y horizontales, de material granular que permitan la captación y conducción del gas que se pueda formar en el relleno. En cada caso se deberá

analizar la potencial generación de gases en cantidad y calidad. De ser necesario se diseñarán sistemas el tratamiento y liberación de forma que reduzcan al mínimo el daño o el deterioro del medio ambiente y el riesgo a la salud humana.

La obra deberá contar con elementos de control de ingreso de agua de lluvia por escurrimiento, agua que deberá ser interceptada y canalizada de forma tal que no ingresen a las celdas de disposición final.

Una vez finalizada la vida útil del relleno, el mismo deberá ser clausurado utilizando una cobertura impermeable. La misma estará compuesta por una capa de material arcilloso de 60 cm de espesor y conductividad hidráulica máxima de $1x10^{-7}$ cm/s, o su equivalente en material sintético, no pudiendo ser de espesor menor a 30 cm. Sobre ésta se colocará una geomembrana de material plástico, similar a la utilizada para la base. Sobre la geomembrana se colocará un sistema de drenaje de material granular o sintético, cubierto por geotextil y una capa de suelo de 60 cm con cobertura vegetal.

El proyecto incluirá la construcción de al menos 4 pozos para el monitoreo de agua subterránea, tres ubicados aguas abajo (en relación al flujo subterráneo) y uno aguas arriba.

Se recomienda además que se implemente un sistema de contención de aguas pluviales de todo el predio que permita realizar un monitoreo de la calidad de las mismas en todas las condiciones de operación.

III.5 Requisitos de las Geomembranas

Los requisitos que deben cumplir estas barreras sintéticas son:

- *resistencia a químicos, clima y microorganismos*
- *flexibilidad, dureza y elasticidad.*
- *fácil de reparar*

Los materiales más comunes empleados en la construcción de geomembranas son el polietileno de alta densidad (HDPE) y el cloruro de polivinilo (PVC), en ambos casos con el agregado de una serie de aditivos que permiten mejorar su desempeño. En la siguiente tabla se presentan las principales características.

Material	Aditivos	Ventajas	Desventajas
HDPE	Antioxidantes y protección UV	Dureza, resistencia a los aceites y productos químicos, baja permeabilidad, resistencia a intemperie y altas temperaturas.	Poca resistencia a la punción.
PVC	Plastificantes	Resistencia a la punción, abrasión y elongación, buena flexibilidad, resistencia a los inorgánicos, fácil de soldar y reparar.	Poca resistencia a orgánicos.

III.6 Prácticas Seguras de Manejo

La operación del relleno es un aspecto clave, ya que incluso con muy buenos proyectos de ingeniería puede ser la causa de problemas de fuga de contaminantes.

Es necesario controlar el tipo de residuos que ingresan, asegurando que cumplen con los parámetros establecidos. Es fundamental controlar que los residuos no reaccionarán en forma espontánea. En muchos casos puede ser necesario algún tipo de pretratamiento.

También se requiere verificar la compatibilidad entre los residuos que ingresan y la de éstos con la geomembrana u otros materiales empleados en la construcción.

Además de la liberación de contaminantes por medio de los lixiviados, se corre el riesgo de incendio o de liberación de gases tóxicos.

La operación del relleno requiere de entrenamiento ya que se corre el riesgo de roturas del sistema de impermeabilización

Se deberá contar además con planes para la atención de derrames de residuos.

Los controles del sistema de impermeabilización (control del sistema de dren secundario), de los sistemas de evacuación de lixiviados, así como del funcionamiento de la planta de tratamiento, deberán ser parte de un estricto programa de vigilancia.

III.7 Criterios para la Admisión de Residuos

Se establecerán criterios de admisión para el ingreso de los residuos a ser dispuestos. Estos criterios son variados e incluyen entre otros:

- *La ausencia de líquidos libres*
- *Máximo contenido de humedad*
- *Máximo contenido de materia orgánica biodegradable*
- *Ausencia de aceites y solventes orgánicos*
- *Ausencia de sustancias que puedan afectar la integridad los materiales de impermeabilización*
- *Ausencia de materiales que puedan afectar el normal funcionamiento de los sistemas de drenaje de lixiviados*
- *Límites de concentración de contaminantes en el ensayo de lixiviación*
- *Residuos que generen lixiviados que contengan contaminantes que no puedan ser removidos eficientemente en la planta de tratamiento*
- *Residuos explosivos, inflamables, corrosivos o reactivos*
- *Polvos finos sin previo acondicionamiento*

III.8 Plan de Monitoreo Ambiental

Finalmente se deberá contar con un plan de monitoreo ambiental, que por lo menos deberá incluir los siguientes puntos:

- *Pozos de agua subterránea*
- *Pluviales del predio*
- *Vertido de efluentes*
- *Cuerpo receptor*

Dependiendo del tipo de residuos que se manejen se establecerán los parámetros a monitorear.

III.9 Referencias

Code of Federal Regulations, Title 40 Protection of Environment, Part 264, Subpart N - Landfills, USA, ***www.epa.gov***

Guía para el diseño de rellenos de seguridad en América Latina. Livia Benavides, CEPIS - GTZ, 1997

Hazardous waste management. M. LaGrega, P. Duckinham, J. Evans. Mac Graw-Hill, Inc, 1994.

Manual de formación en gestión de residuos peligrosos para países en vías de desarrollo. ISWA, UNEP, Secretaría del Convenio de Basilea, 2002.

Landfill covers, Engineering Bulleting, US EPA, 1993.

Requirements for hazardous waste landfill - Design, construction and closure. US EPA, 1989.

Technical guidelines on specially engineered landfill. Basel Convention, 1995.

Vertedero de residuos industriales peligrosos. Manual de formación. Informe técnicos Nº17, PNUMA IE/PAC, PNUMA EETU, ISWA, 1998.

IV. Deshidratación de Lodos

Los lodos son producidos básicamente en los tratamientos de efluentes tanto industriales como domésticos. En estos tratamientos el objetivo perseguido es lograr la separación de los contaminantes presentes en el agua, concentrándolos en lodos que son posteriormente separados.

Los lodos son líquidos con concentraciones de sólidos que van desde 0,5 a 10 %, es decir están constituidos mayoritariamente por agua. Se pueden generar en distintas etapas del tratamiento de efluentes: tratamientos físicos, tratamientos fisicoquímicos y tratamientos biológicos.

En función del tipo de efluente y del tipo de tratamiento tendremos entonces diferentes tipos de lodos, los que en forma primaria pueden clasificarse como orgánicos e inorgánicos.

Independientemente del tratamiento o disposición final de los lodos, en la amplia mayoría de los casos será necesaria una etapa de deshidratación a efectos de reducir el volumen y transformarlos en sólidos.

En esta sección se abordarán diferentes alternativas de deshidratación de los lodos, las que por razones de costos suelen realizarse en el lugar donde se generan, ya que de lo contrario el costo del transporte puede ser elevado.

Las características físicas de un lodo dependerán del contenido de agua, pudiendo ir desde un líquido bombeable hasta un sólido polvoriento. En la siguiente tabla se presentan las características físicas del lodo en función del contenido de agua.

% de agua	Característica
> 85	Líquido bombeable
75 - 65	Pastoso y viscoso
65 - 60	Desmenuzable, no viscoso
40 - 35	Bastante sólido
< 15 - 10	Polvoriento

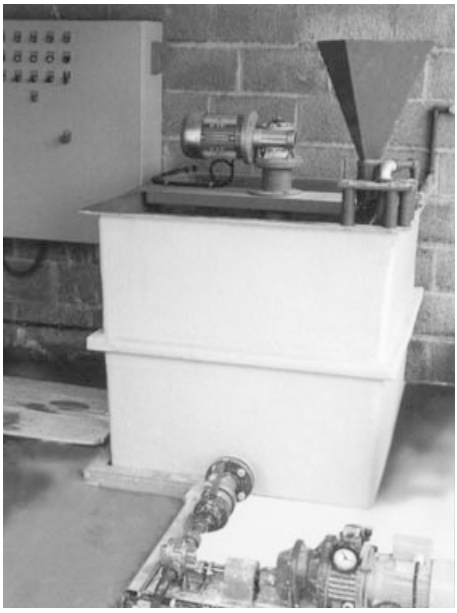
IV.1 Tecnologías de Deshidratación

La pérdida de agua de un lodo puede ocurrir en forma natural por acción de la gravedad o en forma artificial por aumento de la gravedad o presión externa. Estos mecanismos de deshidratación se pueden implementar en distintos tipos de unidades, las cuales cuentan con diseños ampliamente probados y equipamientos disponibles a nivel comercial. A continuación se presenta un resumen de las diferentes tecnologías, las que serán descritas posteriormente.

	Mecanismo	Tecnología
Deshidratación	Natural (por gravedad y evaporación)	Espesadores
		Lechos de secado
	Artificial (por aumento de gravedad o presión externa)	Centrífugas
		Filtros de banda
		Filtros prensa
		Filtros de vacío

Acondicionamiento químico previo

La capacidad de perder agua de un lodo puede mejorarse sensiblemente por medio del agregado de aditivos químicos. Estas sustancias cambian las características fisicoquímicas, favoreciendo la eliminación de coloides y del material más disperso.



Los productos químicos más comúnmente utilizados son el cloruro férrico, sulfato de hierro o aluminio y cal, utilizándose además floculantes orgánicos (polielectrolitos). Las sales de hierro o aluminio actúan como agentes precipitantes (en combinación con cal), floculando los coloides. Los polielectrolitos están siendo cada vez más utilizados debido a su bajo consumo, facilidad de dosificación y elevada eficiencia. Otra ventaja de los polielectrolitos es que no aumentan la cantidad de sólidos secos presentes en el lodo, mientras que las sales inorgánicas pueden aumentarlos en 20 a 30 %.

Los requerimientos de productos químicos varían ampliamente de un lodo a otro y deben ser determinados por medio de ensayos específicos. A modo de guía se pueden manejar los siguientes consumos por metro cúbico de lodo:

10 kg de sulfato ferroso (ó 2-3 kg de cloruro férrico) + 10 kg de cal
100 - 200 g de polielectrolito.

El equipamiento requerido es sumamente sencillo, consiste en tanques de almacenamiento y bombas dosificadoras.

IV.2 Espesadores

Estáticos

Tanques circulares con fondo en forma de tolva y uno o más reboces a distintas alturas para la descarga del líquido sobrenadante.

Continuos

Similares a los sedimentadores, cuentan con raspadores de fondo y varillas verticales que se mueven lentamente a través del lodo formando canales, que permiten el ascenso del agua. El lodo espesado es retirado por la parte mas baja del tanque (en forma de tolva) y el líquido fluye a través de la cresta del vertedero.

El dimensionamiento se realiza a partir de la carga superficial de sólidos, que puede oscilar entre 40 y 100 kg ST/m^2.d, con carga hidráulica inferior a 0.75 m^3/m^2.h.

El espesor de la capa de lodo determina el período de retención de los sólidos en el espesador. Cuando puede haber digestión anaerobia se deben evitar tiempos de retención mayores a 1 o 2 días.

La utilización de espesadores permite obtener lodos con concentraciones de sólidos que van de 3 a 15 %.

Espesamiento por flotación

Consiste en la separación por adhesión de las partículas presentes en el lodo a pequeñas partículas de aire que ascienden a la superficie. En este caso se logra un lodo espesado con 1 o 2 % más de sólidos que con los espesadores comunes. Por otro lado este método de separación es mucho más rápido por lo que los volúmenes requeridos son sensiblemente menores.

IV.3 Lechos de Secado

Los lechos de secado funcionan en forma similar a un filtro por gravedad. Son estanques de muy poca profundidad. El fondo es construido de hormigón con pendiente que permite el drenaje de los líquidos filtrados. Sobre el fondo existe una estructura de caños perforados que recogen el filtrado. Sobre éstos se coloca el medio filtrante constituido por materiales granulados de tamaño decreciente hacia la superficie. Se utiliza grava, piedra partida o cantos rodados recubiertos por una capa de arena de 20 a 30 cm. Sobre la arena se colocan tejuelas con arena en las juntas para permitir la fácil remoción del lodo seco. En general se utilizan varias celdas para lograr mayor eficiencia.

La forma de operación consiste en el llenado de los lodos en capas no superiores a los 30 cm. Además de la filtración por gravedad existe una pérdida importante de líquido por evaporación.

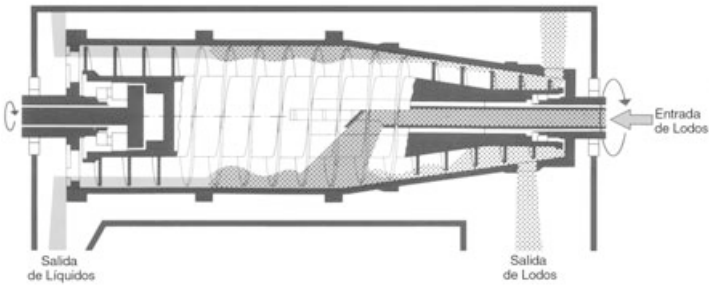
El dimensionamiento depende de las condiciones climáticas, características del lodo, ubicación del terreno y valor de la tierra. En lugares con balances de agua desfavorables se pueden utilizar coberturas de tipo invernadero e incluso la ventilación forzada.

Como resultado se obtienen lodos con 60 a 80 % de humedad con tiempos de 10 a 15 días.

Las ventajas de los lechos de secado son su fácil construcción, bajo costo de inversión, necesidad de mano de obra no especializada, poco y fácil mantenimiento. Presentan como desventajas la necesidad de terreno y mano de obra para el retiro del lodo seco, así como también puede haber problema de olores.

IV.4 Centrifugación

La separación sólido - líquido en las centrífugas se da por acción de fuerzas centrífugas, de magnitud normalmente del orden de 10.000 veces mayor a la gravedad. La centrífuga consiste en un rotor cilíndrico cónico dentro del cual existe un tornillo helicoidal, ambos girando a gran velocidad en el mismo sentido. Debido a que la velocidad del tornillo es ligeramente inferior a la del rotor, se simula el efecto de un sinfín lento.



El lodo se introduce en el rotor por medio de un tubo de alimentación central, siendo impulsado hacia la periferia del rotor por acción de la fuerza centrífuga. Las partículas sólidas, al ser más pesadas que el agua, se depositan en la pared del rotor dejando circular el agua, la cual rebosa por las salidas ubicadas del lado de mayor diámetro del rotor. Los lodos que se van acumulando en la pared del rotor, son continuamente arrastrados a lo largo de la zona cónica y dejan la centrífuga por las salidas ubicadas del lado de menor diámetro.

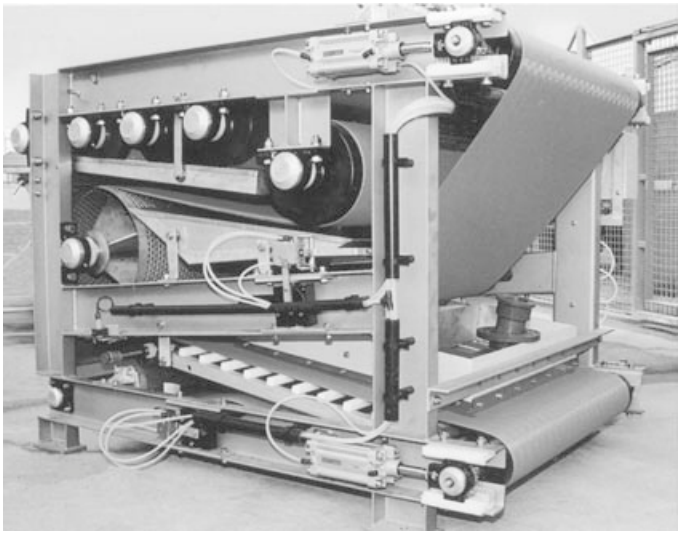
La eficiencia suele ser alta pero generalmente el líquido arrastra sólidos no sedimentables. La torta contiene de 60 y 90 % de humedad dependiendo del tipo de sólidos y de la carga utilizada. El acondicionamiento químico del lodo suele mejorar sensiblemente la separación. Las capacidades disponibles están en el rango de 2 a 180 m^3/h.

Debido a la alta velocidad de giro es importante tener cuidados especiales tanto en la instalación como en el mantenimiento, de forma de evitar ruido y vibración.

Dentro de las ventajas de esta tecnología se destacan la alta eficiencia, la necesidad de espacio reducido y el bajo costo. Como desventajas se señalan el desgaste mecánico, la potencia consumida y la presencia de los sólidos finos en el efluente.

IV.5 Filtros de Banda

El principio consiste en escurrir el lodo entre dos bandas sin fin bajo presión. Inicialmente el lodo debe ser acondicionado químicamente en un tanque de mezcla.



El lodo acondicionado es colocado sobre la banda inferior donde ocurre drenaje por gravedad. A partir del punto donde las bandas se encuentran el lodo es transportado entre ellas. Las bandas se desplazan entre rodillos que provocan compresión sobre el material. La utilización de rodillos de distinto diámetro permite aumentar la presión y cambiar la dirección de la banda ejerciendo un efecto de cizalladura.

Al final del circuito el lodo deshidratado se separa por gravedad con ayuda de un raspador. La parte de la banda que regresa es limpiada en forma continua por medio de chorros de agua.

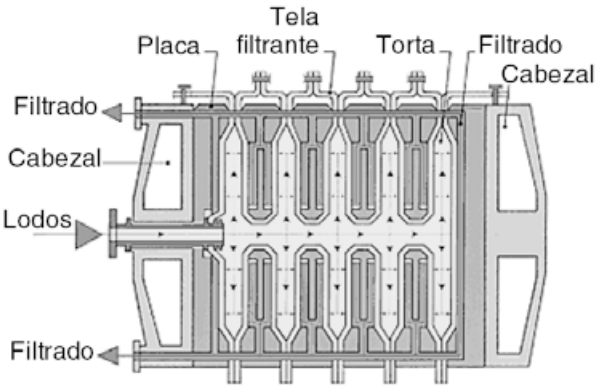
El ancho de la banda varía entre 0,5 y 3,5 m, las cargas volumétricas oscilan entre 2 a 5 m^3/m.h y las másicas entre 90 a 680 kg/m.h.

Dependiendo del tipo de lodos se pueden obtener tortas con 10 a 35 % de sólidos.

Como ventajas se pueden señalar el bajo costo (similar a centrífuga), el bajo consumo de energía y reducida necesidad de mano de obra. Dentro de las desventajas tenemos la alta sensibilidad al tipo de lodo y la corta vida útil de la tela filtrante.

IV.6 Filtros Prensa

Consisten en una serie de placas que se soportan sobre una estructura de tipo bastidor. Las placas, cuyas superficies son ranuradas, están recubiertas por una tela filtrante. Cuando se juntan y presionan las placas se forma una cavidad entre ellas que será progresivamente ocupada por el lodo.

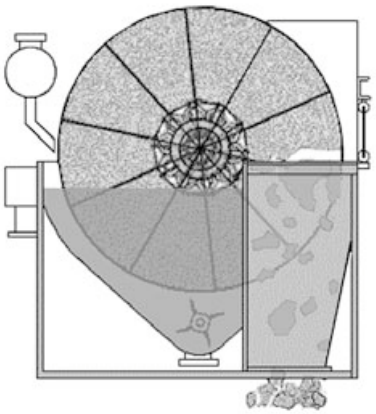


Se utilizan presiones elevadas de 40 a 150 N/cm^2 durante períodos de hasta tres horas. La capacidad de filtración oscila entre 5 a 15 kg/m^2h, logrando tortas de 2 a 3 cm de espesor. Se obtienen tortas con 40 a 60 % de sólidos y una separación prácticamente completa del material en suspensión.

Finalmente las placas se separan y la torta cae por gravedad, luego se lavan los filtros, se inspeccionan y se vuelve a repetir el ciclo. El ciclo completo puede durar hasta 5 horas. El lodo puede requerir acondicionamiento químico previo o se puede utilizar una capa de pre-revestimiento como ayuda filtrante.

Las ventajas son la alta eficiencia de la separación de sólidos, el alto porcentaje de sólidos en la torta, la gran variedad de tamaño de placa (hasta 2x2m) y la posibilidad de usar hasta 150 placas o más. Como desventajas tenemos costos de inversión mayores que para las centrífugas y los filtros de bandas, el mantenimiento de los filtros y la mano de obra requerida.

IV.7 Filtros de Vacío



Consiste en un tambor perforado, dividido en varias celdas independientes en las cuales puede aplicarse, en forma programada, ciclos de vacío por medio de una bomba exterior, un cabezal de control y las tuberías correspondientes.

El tambor gira parcialmente sumergido (aproximadamente 1/3) en una cuba, en la cual por medio de un agitador se mantiene en suspensión la solución de lodo, que es alimentada en forma continua.

Sobre el tambor se coloca una tela que constituye el medio filtrante. La velocidad de giro depende de las características del lodo.

El cabezal de control permite dividir el cilindro en tres secciones por las cuales las celdas pasan sucesivamente por los siguientes pasos: filtración, lavado y desecado, descarga.

La carga másica oscila entre 10 a 30 kg/m^{2}h y se logran tortas con contenidos de sólidos entre 20 y 30 %.

Esta tecnología, que generalmente se utiliza para grandes instalaciones, tiene como ventajas la alta capacidad de carga, el alto contenido de sólidos en la torta y la posibilidad de acoplar lavado. Como desventajas se citan el costo de inversión y mantenimiento y el consumo de energía.

IV.8 Referencias

Manual de disposición de aguas residuales, CEPIS, 1991.

Manual de formación en gestión de residuos peligrosos para países en vías de desarrollo. ISWA, UNEP, Secretaría del Convenio de Basilea, 2002.

Metcalf & Eddy, Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill, 1998.

V. Caracterización y Rehabilitación de Sitios Contaminados

Las investigaciones detalladas que es necesario realizar en los sitios contaminados o potencialmente contaminados, requieren un alto nivel de experticia e involucran el uso de considerables recursos técnicos y de infraestructura específica.

Luego de estas investigaciones y habiendo obtenido un panorama completo del sitio y en caso de haberse detectado riesgos significativos para la salud y el ambiente, es necesario implementar acciones de prevención, minimización o mitigación. Entonces, es posible que sean necesarias acciones correctivas en suelo o aguas subterráneas, obras de ingeniería para eliminar algunos contaminantes o limitar su movilidad, que pueden llegar a ser por lejos la parte más costosa y de mayor empleo de recursos para la gestión de un sitio contaminado.

V.1 Caracterización Ambiental

El principal objetivo de una investigación de sitios potencialmente contaminados es la caracterización y evaluación de los riesgos que supone para la salud humana y el medio ambiente. A partir de esta evaluación, se establecerán las medidas para prevenir, minimizar y mitigar estos riesgos. Previamente, será necesario definir la condición ambiental del sitio, a través del proceso que se denomina caracterización ambiental. Posteriormente a la remediación, será necesario redefinir la condición del sitio, a efectos de rehabilitarlo en forma segura.

La caracterización ambiental del sitio procura obtener información sobre la naturaleza y distribución de la contaminación en el sitio (suelo, agua superficial y subterránea, sedimentos, residuos y otros materiales y compartimentos ambientales), así como los mecanismos probables de transformación y migración de los contaminantes. En síntesis, es la manera de conocer la peligrosidad del sitio.

Su grado de complejidad varía desde un simple método de screening (análisis semi-cuantitativo, generalmente más rápido o económico que los métodos analíticos convencionales, pero con menor precisión o mayores límites de detección) para confirmar la naturaleza de un residuo, hasta intensivas campañas de muestreo para varios compartimentos ambientales cuando se necesitan definir acciones de remediación. Generalmente es una tarea onerosa y técnicamente compleja, porque requiere de equipos de trabajo especializados, instrumental sofisticado y considerable infraestructura analítica.

Una caracterización insuficiente provoca un pobre conocimiento del sitio. Con frecuencia los gobiernos locales no tienen la capacidad para abordarla adecuadamente y debe recurrirse a una acción coordinada con otros organismos gubernamentales, empresas especializadas y el sector académico.

Al igual que otras etapas de gestión de sitios contaminados, es necesario establecer objetivos claros e instancias de planificación antes de tomar la primera muestra. Un esquema típico comienza con la definición de objetivos de la caracterización y prosigue con el diseño de esta investigación. Esta instancia sirve para seleccionar los compartimentos ambientales y materiales que van a ser investigados, los parámetros y contaminantes a analizar, recopilar y definir las necesidades de información sobre el sitio (hidrografía, geología, hidrogeología, edafología). En definitiva, se obtiene un diseño espacial de los muestreos y un plan de calidad de muestras y análisis. Posteriormente, se realiza una instancia de planificación, quedando establecido el equipo de trabajo, los recursos materiales y un cronograma de trabajo, en función del diseño fijado y los factores operativos propios del sitio (ej: accesibilidad, posibilidad de maniobra para maquinaria pesada, energía eléctrica y agua, entre otros). La ejecución de la caracterización requiere en algunas circunstancias una preparación previa del terreno, particularmente en operaciones de gran envergadura. Una estrategia útil es realizar un screening en campo para definir áreas, para posteriormente ejecutar el muestreo (un punto importante es la conservación de muestras previo a su análisis). Finalmente, las muestras son analizadas y se compone toda la información obtenida, determinando si son necesarias investigaciones más profundas o detalladas.

La toma de muestras es una componente importante de la caracterización, pero requiere de un diseño previo que defina la localización de los puntos de muestreo, el número de puntos de muestreo y el número de muestras en cada punto, elementos que dependen de los objetivos de la caracterización.

El estudio del suelo ocupa un lugar principal en la caracterización del sitio: es generalmente el compartimiento de ingreso de los contaminantes desde la fuente, el medio de transporte hacia otros compartimentos y el punto de exposición de receptores humanos y ecológicos. Del conjunto de las técnicas utilizadas en la caracterización ambiental se presentan los principales criterios de un muestreo de suelos en sitios contaminados. Además se presenta una síntesis con respecto al resto de los compartimentos ambientales y materiales que pueden ser analizados en una caracterización ambiental.

Estudio de suelos

El estudio del suelo permite conocer: (1) los parámetros fisicoquímicos más representativos (textura, materia orgánica, pH, capacidad de intercambio iónico y permeabilidad); (2) la distribución espacial de los contaminantes en el compartimento. Para ambas tareas existen técnicas de determinación en campo, aunque generalmente será necesaria la toma de muestras para su análisis en laboratorio.

Se espera que la concentración de un contaminante en un punto del suelo no varíe significativamente en el tiempo. Sin embargo, cuando el suelo está continuamente expuesto a la liberación de sustancias desde una fuente o existe una rápida migración del contaminante, el suelo tendrá una dinámica de cambio importante. En cuanto a la variación espacial, la composición puede cambiar gradualmente o abruptamente, en dirección horizontal y vertical, dependiendo fundamentalmente de la naturaleza de los horizontes del suelo, ubicación de fuentes y residuos.

El diseño del muestreo es indispensable para asegurar que las muestras representan todos los estratos presentes en el sitio y para definir todos los parámetros y contaminantes a analizar en cada muestra. El equipamiento utilizado para la toma de muestra depende de los objetivos, considerando las

condiciones particulares del sitio y de los recursos disponibles y serán establecidos en las etapas de diseño y planificación de muestreo. En el siguiente cuadro se presenta una reseña de algunos equipamientos más comunes.

Equipamiento para la toma de muestras de suelo.

Muestra	Ejemplo gráfico	Equipamiento	Comentario
Calicata		Equipamiento pesado (retroexcavadoras)	Excavación (zanjas o pozos) que permite examinar detalladamente el perfil del suelo e identificar residuos enterrados y horizontes probablemente no perturbados. Usado en grandes áreas de relleno como técnica de observación.
Sondeos Manuales		Herramientas de mano (cuchara, pala, sondas manuales, tornillos)	Perforaciones en un punto para la toma de muestras poco profundas. No aplicables a suelos rocosos, excesivamente pedregosos o rellenos con escombros.
Sondeos Semi-mecánicos		Sonda Helicoidal o Acanalada	Fuerza motriz y extremo de material reforzado que permiten la perforación en suelos muy cohesivos o con residuos duros. Cuando se traspasa este material, se coloca una sonda para la toma de muestras.
Sondeos Mecánicos		Equipos de Perforación (percusión, rotación)	Equipamiento de gran porte y potencia, que permite el trabajo en una amplia variedad de suelos y profundidades. Posee un mecanismo de perforación a través de la percusión o la rotación de un extremo resistente (también usados para la construcción de pozos de monitoreo de agua subterránea).

Otros estudios

Habitualmente el estudio de suelos no es suficiente para caracterizar un sitio: los contaminantes han migrado hacia otros compartimentos, se encuentran residuos o materiales posiblemente peligrosos o simplemente la fuente ha liberado los contaminantes directamente en otros medios diferentes al suelo.

El equipamiento y técnicas de muestreo usados para la caracterización de estos compartimentos ambientales, residuos y materiales, es específico para cada uno. En el siguiente cuadro se presentan algunos de los estudios más comunes en sitios contaminados.

Caracterización de otros materiales y compartimientos ambientales distintos al suelo		
Tipo de Estudio	**Técnica**	**Detalle**
Agua Subterránea	Perforación de pozos de monitoreo para la toma de muestras de fluido (en ocasiones se usan pozos existentes)	Contaminantes de alta movilidad en suelo o pérdidas en tanques y tuberías subterráneas. Pueden desarrollarse fases no acuosas más pesadas o más livianas que el agua (por encima o por debajo de la columna, por ej.: algún combustible). Ubicación y diseño de pozos: de acuerdo a modelos de transporte de los fluidos. Técnicas generalmente de mayor complejidad y costo que otras caracterizaciones.
Materiales Constructivos	Segregación (separación de materiales similares) y clasificación previa al muestreo	Material peligroso: está contaminado por contacto con sustancias usadas en operaciones y procesos productivos o por las propia naturaleza (ej: amianto, chatarra).
Residuos	Identificación visual (etiquetas, envases o propiedades observables: color, olor, etc), y segregación previa al muestreo	Materias primas y productos abandonados, materiales de descarte. Pueden encontrarse como residuos líquidos o de lodo o en forma sólida. Manejo especial durante el muestreo, transporte y análisis de la muestra, por su peligrosidad (contenido en contaminantes muy alto).
Sedimentos	Pueden usarse sondas (sedimentos poco profundos y poco consolidados) o dragas (común en ríos, lagos y embalses).	Materia orgánica y/o mineral situada por debajo de una masa líquida, en medios relativamente estáticos (lagos, estanques, embalses), o de alta dinámica (ríos, arroyos, canales).
Aire intersticial del suelo	Mediante sondas o pozos de monitoreo (toman fase gaseosa directamente), o equipamiento pasivo (materiales o medios absorbentes, se entierran y exponen a contaminantes en aire intersticial)	Detección de contaminantes volátiles en el suelo (no aplicable a la mayoría de metales pesados, ni a compuestos con gran afinidad por matriz suelo, como algunos plaguicidas)

V.2 Remediación y Rehabilitación de Sitios Contaminados

La remediación de un sitio contaminado sólo se justifica si la presencia de los contaminantes representa un riesgo para la salud de la población o el medio ambiente.

La reducción de la exposición a niveles aceptables, puede requerir de operaciones extraordinarias y de alto costo, por tanto antes de iniciar cualquier tarea es necesario definir el proceso a seguir y estimar la relación costo/beneficio de la remediación.

A comienzos de los años 80 hasta los años 90, las alternativas de remediación consistían en el traslado del suelo contaminado hasta un relleno de seguridad o hacia incineradores. En los últimos años se ha prestado especial atención a las técnicas de recuperación del suelo (descontaminación) que posibilitan su reutilización.

El desarrollo tecnológico se ha orientado hacia el diseño de procesos físicos, químicos, biológicos o combinaciones de ellos con las siguientes características:

- *Transformación de los contaminantes en sustancias menos peligrosas ya sea por:*
  - *destruirlos completamente*
  - *disminuir su toxicidad*
  - *disminuir su concentración en los medios que entran en contacto con las poblaciones*
  - *modificarlos químicamente de forma de disminuir la probabilidad de que se produzcan exposiciones*
- *Riesgos tolerables para la salud durante el proceso de remediación/ rehabilitación*
- *Riesgos remanentes, después de terminada la restauración, iguales o menores a los establecidos como metas*
- *Tratamiento en el sitio, de ser posible sin tener que desplazar el medio contaminado*
- *Disminución o eliminación del peligro para la salud en tiempos y costos razonables*

La preferencia de una u otra alternativa está basada en un análisis costo/beneficio y por tanto es importante que las etapas de caracterización ambiental y la evaluación de riesgo se realicen de forma ajustada, para que permitan definir si es necesario realizar acciones y en ese caso la extensión de las áreas a remediar.

El término **remediación** implica la realización de acciones para la corrección, minimización o mitigación de los riesgos para la salud y el medio ambiente, causados por la exposición a un sitio contaminado. Con un criterio más amplio, se habla de **rehabilitación** de sitios contaminados, que comprende la remediación y el establecimiento de un plan de acondicionamiento y ordenamiento para un determinado uso.

Se han desarrollado diferentes tecnologías para la remediación de sitios contaminados, ninguna de ellas es universal y la aptitud de cada una de ellas dependerá de las características específicas del sitio y de las sustancias presentes.

Las tecnologías pueden dividirse en tres grandes grupos: tecnologías de tratamiento **in situ**, **on site** y **ex situ**. El procedimiento **in situ**, es el que requiere menos manejo del suelo contaminado, pero su aplicación resulta frecuentemente difícil de llevar a la práctica, dada la dificultad que representa el poner en contacto íntimo a los agentes "limpiadores" con la masa del suelo. En el tratamiento **on site**, el suelo se excava y se trata en el propio terreno. El método **ex situ**, requiere las etapas de: excavación, transporte, tratamiento en las plantas depuradoras, devolución al sitio y enterramiento. Este proceso exige mayores inversiones pero es más rápido y con él se consiguen recuperaciones más completas.

Las tecnologías de remediación/ rehabilitación de sitios, más empleadas están basadas en el confinamiento o en el tratamiento de los suelos y materiales contaminados.

V.3 Técnicas de Confinamiento

En la siguiente tabla se resumen las alternativas de confinamiento de suelos y materiales contaminados, aplicadas en actividades de remediación.

Alternativa de tratamiento	Características
Confinamiento en el sitio contaminado	Esta opción puede considerarse cuando las sustancias tóxicas o los residuos peligrosos, no se encuentran fácilmente disponibles y poseen baja movilidad. Debe tratarse de un sitio ubicado en una zona de nula o baja vulnerabilidad. Se utiliza cuando no se dispone de los recursos económicos necesarios para la limpieza del sitio.
Confinamiento de materiales excavados en otra área dentro del mismo sitio	Puede considerarse cuando se dispone, dentro del mismo sitio, de grandes áreas que presentan las condiciones requeridas para instalar un confinamiento y el traslado está debidamente justificado. Por ej construcción de un relleno de seguridad dentro del sitio.
Confinamiento fuera del sitio de los materiales contaminados	Se utiliza cuando la cercanía de poblaciones o ecosistemas vulnerables, sumado al tipo y volumen de sustancias tóxicas presentes, y/o los usos que se planifican para el sitio remediado, no hacen conveniente su confinamiento en el lugar, entonces se suele optar por confinarlos en otro sitio, asumiendo los costos que implican los requerimientos de seguridad asociados al transporte.

Si bien se trata de una de las opciones más económicas, no constituye un método definitivo que resuelva el problema de contaminación por sustancias tóxicas y/o residuos peligrosos. Adicionalmente, no previene la migración fuera del sitio a largo plazo (con excepción del confinamiento en rellenos de seguridad).

Estas técnicas pueden ser complementadas con tratamientos que neutralicen y/o estabilicen las sustancias tóxicas.

V.4 Técnicas de Tratamiento y Descontaminación

Extracción por fluidos

Consiste en separar los contaminantes mediante la acción de un fluido: aire (arrastre) o agua (lavado). Una vez arrastrado el contaminante, se depura el efluente con técnicas apropiadas. Se trata de procedimientos muy sencillos, pero para que sean efectivos se requiere que los suelos sean permeables y que las sustancias contaminantes tengan suficiente movilidad. Estas técnicas no son válidas cuando el suelo presenta una alta capacidad de adsorción.

Aireación: Es un método de volatilización pasiva. El suelo se excava y se coloca formando una fina capa, sobre una superficie impermeable. Es un proceso lento y tiene el inconveniente que los contaminantes son devueltos a la atmósfera, situación que se puede evitar si el suelo es confinado de forma que se puedan recoger los gases para su posterior tratamiento. Su principal ventaja es su bajo presupuesto. Se utiliza en el caso de compuestos volátiles.

Arrastre: Los contaminantes son arrastrados con aire, el cual penetra desde la superficie del terreno y se fuerza su circulación succionándolo a través de pozos excavados. Este procedimiento es válido para extraer compuestos volátiles (xileno, tetracloruro de carbono, tricloroetano, cloruro de metilo, benceno, tolueno, etc). La rapidez y eficacia depende de la permeabilidad y humedad del suelo. Entre las ventajas de destaca que se trata de un método muy sencillo, usa tecnología estándar y fácil de adquirir, posibilita tratar grandes volúmenes de suelo a un costo razonable, produciendo una mínima alteración en el terreno.

Lavado: Consiste en inyectar agua en el suelo. El agua moviliza los contaminantes, luego se extrae y se depura. El método es solo válido para contaminantes solubles en agua. En ocasiones se utiliza agua con otros disolventes para facilitar la extracción, por ejemplo el agregado de detergentes para extraer contaminantes hidrofóbicos o extracción ácida en el caso de metales pesados. Este tratamiento también puede llevarse a cabo ex situ. Es una técnica útil para una amplia gama de contaminantes: hidrocarburos aromáticos, gasolinas, aceites minerales y PCB.

Tratamiento químico

Se trata de depurar el suelo mediante la degradación de los contaminantes por reacciones químicas. Frecuentemente se trata de reacciones de oxidación de los compuestos orgánicos, utilizando como agente oxidante oxígeno o agua oxigenada. Es un método útil para aldehídos, ácidos orgánicos, fenoles, cianuros y plaguicidas organoclorados.

Tratamiento electroquímico

Los contaminantes son desplazados mediante la creación de campos eléctricos. La movilización se logra por fenómenos de migración, electroósmosis y electroforesis. A diferencia de lo que ocurre con los métodos de lavado y arrastre que actúan sobre los macroporos del suelo, en este caso también intervienen los microporos. Estos métodos proporcionan buenos resultados para la recuperación de suelos contaminados por metales como el Cu, Zn, Pb y As.

Tratamiento térmico

Este método busca la destrucción mediante la oxidación térmica suministrando calor. La combustión de los contaminantes se consigue sometiendo el suelo a altas temperaturas. Es un método muy útil para eliminar la contaminación producida por compuestos orgánicos. Requiere un control estricto de las emisiones gaseosas y una gestión adecuada de las cenizas.

Métodos biológicos

Bio-remediación: Se conocen con este nombre los métodos de remediación en los que se emplean microorganismos. A través de su aplicación se busca degradar, destoxificar, alterar y reducir el volumen de contaminantes transformándolos en dióxido de carbono, agua y sales minerales, manipulando diversos parámetros físicos, químicos o biológicos. La principal ventaja de esta tecnología es la percepción positiva de la población, además de que constituye una de las opciones más económicas. Tiene la desventaja de requerir mucho tiempo para alcanzar concentraciones seguras.

Fito-extracción: Es la captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas. Hay plantas que absorben selectivamente grandes cantidades de metales acumulando en los tejidos concentraciones mucho más altas que las presentes en el suelo o en el agua. Este proceso se ha utilizado para eliminar hidrocarburos de agua y suelo, utilizando cultivos como alfalfa, álamos o enebro. En la zona contaminada se plantan las especies seleccionadas. Cuando las plantas crecen se recolectan y se incineran.

V.5 Referencias

Composite sampling. Soil Series Nº3, National Environmental Health Forum, Australia. Lock, William H., 1998.

Fundamentals of soil science as applicable to management of hazardous wastes. US EPA, 1999.

Guía metodológica para la toma de muestras. IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, 2002.

Guía para el muestreo de suelo en áreas residenciales. Dirección Nacional de Medio Ambiente. Uruguay, 2002. ***www.dinama.gub.uy***

Manual para la descripción e interpretación del Perfil del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay, 1995.

Soil quality. Sampling. Part 1: Guidance on the design of sampling programes. ISO 10381-1:2000. ISO, 2002.

Soil screening guidance: User's guide. 2nd Ed. US EPA, 1996. ***www.epa.gov***