



Apuntes de RESIDUOS PELIGROSOS

Luis Antonio García Villanueva
Víctor Hugo Martínez Méndez
Griselda Berenice Hernández Cruz

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería

Apuntes de
**RESIDUOS
PELIGROSOS**

Luis Antonio García Villanueva, Víctor Hugo Martínez Méndez
Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Griselda Berenice Hernández Cruz
Departamento de fotogrametría

Para una correcta visualización
del libro te sugerimos

Acrobat Reader
Haz Click

APUNTES DE RESIDUOS PELIGROSOS
García Villanueva, Luis Antonio
Martínez Méndez, Víctor Hugo
Hernández Cruz, Griselda Berenice
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería
2022, 77 págs.

APUNTES DE RESIDUOS PELIGROSOS

Primera edición electrónica provisional
de un ejemplar (3 MB) en formato PDF
Publicado en línea: noviembre de 2022

D.R. © 2022, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Avenida Universidad 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de
México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán,
Ciudad de México, C.P. 04510

FACULTAD DE INGENIERÍA
<http://www.ingenieria.unam.mx/>

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional
Autónoma de México. Prohibida la reproducción o transmisión total o
parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular
de los derechos patrimoniales.

Hecho en México.



UNIDAD DE APOYO EDITORIAL
Cuidado de la edición: Amelia Guadalupe Fiel Rivera
Formación editorial : Nismet Díaz Ferro
Foto de portada: Prostooleh, Freepik.es

Introducción

Estos apuntes tienen como objetivo principal presentar información básica referente al manejo adecuado de los residuos peligrosos, a fin de conocer desde las fuentes de generación, la normatividad y hasta las diferentes opciones en la estabilización, tratamiento y/o disposición de dichos residuos.

Por una búsqueda de mejoras en el desarrollo tecnológico y científico, el análisis de los accidentes químicos han formado parte del avance. Son innumerables los sucesos que han marcado el rumbo de las tecnologías que se usan, generando cuantiosas pérdidas humanas, ambientales y materiales. Por su parte, México no ha estado exento de esta clase de percances.

Los accidentes químicos han trascendido fronteras mundiales, así como en el tiempo mismo. A nivel mundial, los eventos ocurridos en 1975 en la población de Seveso, Italia, fueron los que marcaron el rumbo y el camino a seguir por una cultura de la prevención en instalaciones químicas, lo que ha permitido elaborar directrices que regulan hasta la actualidad las actividades altamente riesgosas en Europa.

En ámbito nacional, se produjo un grave accidente en 1992 que dio un nuevo sentido en materia de seguridad. En Guadalajara, Jalisco, aconteció la catástrofe más conocida en el mundo, cuando una serie de explosiones en el drenaje de la ciudad dejó un gran número de personas afectas, así como numerosas pérdidas materiales.

Los hechos ocurridos en Italia y México son resultado del desconocimiento en el manejo adecuado e integral de los residuos peligrosos. La disposición, almacenamiento, transporte o tratamiento inapropiados han sido los factores principales para que se presenten graves accidentes.

Por lo anterior, se ha considerado necesario abordar en estos apuntes los siguientes temas: antecedentes sobre una serie de accidentes producidos por un inadecuado manejo o transporte de residuos peligrosos, así como los convenios internacionales que norman todo lo relacionado con el manejo ambientalmente correcto y para la minimización de los riesgos; el manejo, almacenamiento, transporte y tratamiento integral de los residuos peligrosos y, por último, las referencias de las fuentes consultadas y un listado de las normas aplicables a los residuos peligrosos.

Finalmente, el manejo responsable y adecuado de los residuos peligrosos no solo atañe a la industria, sino también a la educación en cuanto a la formación de profesionales en la materia. De esta manera, se podrá prevenir y evitar la generación de residuos peligrosos que pongan en riesgo la salud y el ambiente con base en una logística adecuada para su gestión integral.

Contenido

Introducción	2
1 Antecedentes	6
1.1 Accidentes relacionados con residuos peligrosos	6
1.2 Convenios internacionales para residuos peligrosos	11
2 Manejo integral de los residuos peligrosos	16
2.1 Diferencia entre peligro y riesgo	16
2.2 Definición y clasificación de los residuos peligrosos	16
2.3 Constituyentes que hacen a un residuo peligroso	19
2.4 Generación, orígenes, composición y propiedades de los residuos peligrosos	22
2.5 Plan de manejo de residuos peligrosos	23
3 Almacenamiento de residuos peligrosos	25
3.1 Tipos de almacenes para residuos peligrosos	25
3.2 Condiciones de almacenamiento para residuos peligrosos	27
4 Transporte de residuos peligrosos	29
4.1 Rombo de identificación en el transporte de residuos peligrosos	29
4.2 Hojas de seguridad en el transporte de residuos peligrosos	35
4.3 Transporte terrestre de residuos peligrosos	42
4.4 Transporte marítimo de residuos peligrosos	43

4.5 Transporte aéreo de residuos peligrosos	46
4.6 Transporte ferroviario de residuos peligrosos	46
5 Tratamiento de residuos peligrosos	50
5.1 Muestreo y caracterización de los residuos peligrosos	50
5.2 Residuos radiactivos. Generación y detección	52
5.3 Tecnologías de tratamiento físico	54
5.4 Tecnologías de tratamiento fisicoquímico	58
5.5 Tecnologías de tratamiento térmico	60
5.6 Tecnologías de tratamiento biológico	62
5.7 Tecnologías de solidificación estabilización	65
5.8 Disposición segura de residuos peligrosos	66
5.9 Tecnologías para recuperación de sustancias tóxicas en suelos contaminados	70
Referencias	73
Normas aplicables a los residuos peligrosos	75

1 | Antecedentes

Los residuos peligrosos, en cualquier estado físico, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, inflamables, tóxicas y biológico-infecciosas, y por su forma de manejo pueden representar un riesgo para el equilibrio ecológico, el ambiente y la salud de la población en general, por lo que es necesario determinar los criterios, procedimientos, características y listados que los identifiquen (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2005).

1.1 | Accidentes relacionados con residuos peligrosos

En este apartado, se tomarán en cuenta dos puntos importantes sobre los accidentes relacionados con residuos peligrosos: los producidos en el transporte y por el manejo inadecuado de dichos residuos.

Con relación a los accidentes en el transporte, se consideran las bases de datos de accidentes generadas por el Sistema para la Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA), para así poder observar, comparar y analizar los accidentes relacionados con residuos peligrosos. Este sistema ha sido desarrollado por la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

En la tabla 1.1, se observa un número de accidentes, el cual únicamente corresponde a los que tuvieron lugar en alguna de las carreteras federales libres y de cuota, comprendidos de 2006 a 2009. En este periodo, se

tienen registrados 1199 siniestros relacionados con residuos peligrosos y que dejaron un saldo de 196 muertos y 836 lesionados.

Además, se identificó que la categoría con más participación en accidentes es la categoría 3 que corresponde a «líquidos inflamables». Dentro de esta categoría se incluyen todos los combustibles derivados del petróleo (diésel, gasolina, turbosina), aceites, esmaltes y pinturas, solventes y alcoholes.

En cuanto a los accidentes debidos por manejo inadecuado de residuos peligrosos, se utilizarán los resultados obtenidos de la investigación realizada por Olivos, Ávila y Arana (2008), en la cual analizan los riesgos que afectan principalmente a los docentes y profesionales en el área de la medicina y enfermería por su exposición a residuos biológicos infecciosos.

Debido tanto al avance tecnológico de la medicina y el descontrolado crecimiento poblacional, el crecimiento necesario de centros de salud como hospitales, han producido una gran cantidad de desechos generados por toda la población humana creando grandes problemas de tipo ecológico y daños a la salud, provocando una alteración tanto en morbilidad como en mortalidad, sobre todo aquellos desechos de tipo biológico infecciosos, siendo estos: materiales de curación que contienen microbios o gérmenes patógenos que han entrado en contacto o que provienen del cuerpo de seres humanos y/o animales infectados o enfermos (por ejemplo: sangre y algunos fluidos corporales, cadáveres y órganos extirpados en operaciones), asimismo objetos punzo cortantes incluyendo agujas de jeringas, material de vidrio roto, entre otros. (Olivos et al., 2008, p. 480)

Tabla 1.1

	2006		2007		2008		2009		Total	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Accidentes con MP	239	0.82	253.00	0.83	322	1.05	385.00	1.30	1,199.00	1.00
Muertos con MP	52	1.04	44.00	0.82	39	0.73	61.00	1.25	196.00	0.95
Lesionados con MP	213	0.64	180.00	0.54	172	0.52	273.00	0.86	838.00	0.64
Daños materiales con MP (miles de dólares)	3,071.36	2.23	4,100.42	2.98	5,368.53	3.78	5,290.35	4.68	17,830.67	3.36

Fuente: Mendoza et al. (2012)

Por otra parte, Morales-Aguirre (2006) describe la frecuencia y mecanismos de exposición accidental a productos biológicos infecciosos entre los años 1991 y 2004 en el personal de salud del Hospital Infantil de México Federico Gómez:

Se presentaron 848 accidentes de trabajo, con un promedio de 29.9 % año-cama. Los eventos se presentaron principalmente en personal de enfermería con 345 episodios 40.6%, seguida de médicos residentes con 220 eventos 25.9%. El mecanismo más frecuente fue el piquete de aguja en 616 ocasiones 72.65%, siendo las manos el sitio anatómico más comúnmente afectado en 667 casos 79.8%. (Morales-Aguirre, 2006, p. 247)

Con lo expuesto anteriormente, se puede resaltar que en México los profesionistas más expuestos a accidentes por exposición con material potencialmente contaminado con RPBI es el personal de enfermería, debido a que tienen mayor contacto físico al aplicar a los pacientes el tratamiento de manera directa a través de procedimientos y técnicas terapéuticas.

A continuación, se presentan algunos hechos relacionados con accidentes de residuos peligrosos ocurridos en México.

Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea

En agosto de 2014, en la mina Buenavista del Cobre, ubicada en Cananea, Sonora, ocurrió un derrame de sulfato de cobre acidulado en el río Sonora. El derrame dio lugar a un desastre socioambiental que afectó a los habitantes y a los ecosistemas de la cuenca del río.

Toscana y Hernández (2017) investigaron la manera en que se gestionaron los procesos de riesgo-desastre de origen antrópico a partir del caso del derrame tóxico de la mina de cobre Buenavista. Se encontró que la política de protección civil y la ambiental, encargadas de estos riesgos, estaban desvinculadas entre sí, y no convergían en objetivos, estrategias ni escalas de acción. Esto demostró vacíos en su gestión, por lo que era necesaria una mayor interconexión entre las políticas, los niveles de gobierno, las empresas y la población para poder gestionar los riesgos químico-tecnológicos. Se llegó a la conclusión de que ambas políticas debían proyectarse sobre los planes de desarrollo local, estatal y nacional con la finalidad de lograr una mayor congruencia entre el modelo de desarrollo y la protección de la población, sus bienes y los ecosistemas.

Derrame de 3000 litros de ácido sulfúrico en el Mar de Cortés por Grupo México

Durante un proceso de trasvase en la Terminal Marítima de Guaymas, una falla en las válvulas de las tuberías de Grupo México provocó el derrame de 3000 litros de ácido sulfúrico en el Mar de Cortés. Trabajadores de Grupo México procedieron a cerrar las válvulas e iniciaron con el rebombeo hacia los tanques para evitar un derrame considerable, de acuerdo con lo informado por la Administración Portuaria Integral de Guaymas (API), Sonora.

Por su parte, los habitantes de la zona costera difundieron a través de las redes sociales imágenes en las que se podía observar grandes afectaciones, como la muerte de animales marinos en inmediaciones donde ocurrió el derrame de ácido sulfúrico. Tanto la SEMARNAT y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) llevaron a cabo investigaciones para evaluar la magnitud del daño y deslindar responsabilidades («Grupo México derrama 3,000 litros de ácido sulfúrico en el Mar de Cortés», 2019, julio 11).

Incendio de tractocamión con residuos peligrosos

En 2018, un tractocamión de la empresa Transportes Internacionales Tamaulipecos, que transportaba residuos peligrosos para su disposición final, tuvo un accidente en el tramo de la carretera Reynosa-Monterrey. El chofer de la unidad observó que salía humo del remolque debido a un incendio al interior del contenedor, por lo que efectuó maniobras para orillarse en la carretera y logró desenganchar la caja.

En el interior de la caja se transportaban 5500 kg de residuos de azufre con tierra, 2200 kg de residuos de pentóxido de vanadio, 4910 kg de residuos sólidos con aceite, 440 kg de contenedores vacíos metálicos, 400 kg de residuos de pintura y 260 kg de contenedores vacíos de plástico.

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) atendió la emergencia. Las brigadas de respuesta de Protección Civil arribaron al sitio, acordonaron el área y controlaron el incendio. No hubo personas lesionadas y únicamente se registraron daños materiales.

Finalmente, la PROFEPA informó del traslado de los residuos peligrosos a los patios de la empresa responsable del transporte a fin de verificar y garantizar las condiciones de seguridad para una transportación adecuada y evitar así cualquier posible riesgo que pudiera afectar la salud o al medio ambiente (PROFEPA, 2018).

Tabla 1.2 Resumen

País	Año	Tipo de residuo	Tipo de accidente	Daños al ambiente y/o salud
Sonora, México	2014	Químico	Derrame	Contaminación grave de río.
Sonora, México	2019	Químico	Derrame	Contaminación grave de mar (muerte de especies endémicas).
Nuevo León, México	2018	Inflamable	Accidente en transporte	Riesgo para la salud.

1.2 | Convenios internacionales para residuos peligrosos

Debido a que en los últimos treinta años la producción, generación y comercio de productos químicos y residuos ha tenido un crecimiento exponencial, fue necesaria la implementación de normas o reglas que deben seguirse para minimizar los riesgos al momento de ser transportados, manejados o dispuestos finalmente.

Actualmente, existen tres convenios muy importantes que plantean medidas globales para proteger la salud humana y el medio ambiente, además de considerar algunos de los aspectos del ciclo de vida de productos y residuos químicos peligrosos.

Convenio de Basilea

El Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y su eliminación fue firmado en Basilea, Suiza en 1989 y entró en vigor el 5 de mayo de 1992, el cual constituyó un compromiso internacional de los países que lo ratificaron. Es el acuerdo

multilateral sobre residuos más relevante, porque establece un régimen normativo global para la minimización de la generación, el manejo ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos y el control de sus movimientos transfronterizos.

El principal objetivo del Convenio es lograr un manejo ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos y otros residuos. Esto significa proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos nocivos que puedan derivar de la generación, transporte y manejo de residuos peligrosos y otros residuos. Para ello se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- » Reducir al mínimo la generación de residuos tanto en cantidad como en peligrosidad, teniendo en cuenta aspectos sociales, técnicos y económicos.
- » Tratar y eliminar los residuos peligrosos y otros residuos lo más cerca posible de la fuente de su generación.
- » Asegurar instalaciones adecuadas de eliminación.
- » Velar por las personas que participan en el manejo de los residuos y que se adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a contaminación.
- » Reducir los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y otros residuos a un mínimo compatible con su manejo ambientalmente adecuado y eficiente.
- » Controlar los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos, monitorear y prevenir el tráfico ilícito.

El Convenio también prevé y permite que cada país «Parte» elabore su propia lista de residuos peligrosos, la notifique a la Secretaría y esta comunique a las Partes. Después, los países Parte deben regirse por la lista de los países involucrados en el movimiento transfronterizo para hacer las notificaciones que correspondan. Hasta agosto del 2005, la cantidad de países Partes de este Convenio ascendió a 166.

La Secretaría del Convenio promueve actividades con el objetivo de facilitar a los países la implementación de acciones tendientes a dar cumplimiento a los mandatos del Convenio. Dentro de sus actividades se destacan la realización de talleres regionales, la publicación de guías y la financiación de proyectos.

Convenio de Estocolmo

El Convenio de Estocolmo entró en vigor en mayo de 2004, considerándose un logro muy importante dado que su meta es reducir y con el tiempo eliminar totalmente trece contaminantes orgánicos persistentes (COP) particularmente tóxicos, nueve de estos son plaguicidas, dos son productos químicos de uso industrial y los otros dos constituyen dos familias de productos químicos generados sin intención, es decir, que no tienen utilidad comercial, pero se producen en procesos de combustión y en algunos procesos industriales.

Tabla 1.3

Plaguicidas organoclorados	Aldrin, Dieldrin, Clordano, Endrin, Heptacoloro, Hexaclorobenceno, Mirex, Toxafeno, DDT.
Productos químicos de uso industrial	Bifenilos policlorados (PCB), Hexaclorobenceno.
Producción no intencional Productos químicos que se forman o se liberan en forma no intencional a partir de procesos térmicos	Dioxinas y furanos, bifenilos policlorados (PCB)

Fuente: Martínez (2005)

En función de los criterios establecidos por el Convenio de Estocolmo, del conocimiento científico y de las negociaciones que involucró dicho instrumento, se estableció una lista inicial de doce compuestos (conjunto de sustancias) que representan la mayor preocupación de la comunidad global.

Adicionalmente, el Convenio estableció el mecanismo por el cual la lista podrá ser ampliada a otras sustancias o grupos de sustancias teniendo en cuenta los criterios mencionados.

El Convenio establece la adopción de medidas para:

- » La prohibición de producción y uso, así como importación y exportación, salvo exenciones establecidas.
- » La reducción o eliminación de las liberaciones derivadas de la producción no intencional.
- » La reducción o eliminación de las liberaciones derivadas de las existencias y residuos.

En lo referente a existencias de productos y residuos que contengan o estén contaminados con contaminantes orgánicos persistentes (COP), el Convenio de Estocolmo establece que, con el fin de garantizar que las existencias y residuos se gestionen de una manera que proteja la salud humana y el medio ambiente, los países Parte deberán realizar lo siguiente:

- » Elaborar estrategias para determinar las existencias de productos y residuos.
- » Adoptar medidas adecuadas para que los residuos (incluidos los productos cuando se conviertan en residuos):
 - Se gestionen, recolecten, transporten y almacenen de manera ambientalmente adecuada.
 - Se eliminen de un modo tal que el contenido COP se destruya o transforme en forma irreversible de manera de no presentar características COP, o de no ser así se eliminen en forma ambientalmente

adecuada cuando lo anterior no sea una opción preferible desde el punto de vista ambiental, o cuando el contenido del COP sea bajo.

- No se autoricen las operaciones de eliminación que puedan dar lugar a la recuperación, reciclado, regeneración, reutilización directa o usos alternativos.
- Se realicen las exportaciones de acuerdo con la normativa internacional.

La Conferencia de las Partes cooperará estrechamente con el Convenio de Basilea para fijar niveles de destrucción y transformación irreversible y determinar los métodos de eliminación ambientalmente racional.

Convenio de Róterdam

El Convenio de Róterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto del comercio internacional surgió de un programa voluntario de intercambio de información en la década de 1980. Entró en vigor el 24 de febrero de 2004 y en agosto del 2005 lo han ratificado 98 países.

Tiene como objetivo promover la responsabilidad compartida entre los países exportadores e importadores para el manejo de los productos químicos que generan riesgos y de esa manera proteger la salud humana y el medio ambiente. Procura, además de las notificaciones de los exportadores a los importadores durante el comercio y la difusión de las medidas regulatorias adoptadas por los países respecto a los productos, facilitar especialmente el intercambio de información precisa sobre las características de los químicos. Actualmente, incluye veinticuatro productos químicos de uso plaguicida, seis formulaciones de plaguicidas severamente peligrosas y once productos de uso industrial, y se prevé que esta lista se expanda.

2 | Manejo integral de los residuos peligrosos

2.1 | Diferencia entre peligro y riesgo

De acuerdo con la NOM-018-STPS-2015, se define «peligro» como la capacidad intrínseca de las propiedades y características físicas, químicas o de toxicidad de una sustancia química peligrosa o mezcla para generar un daño al trabajador o en el centro de trabajo.

El término «riesgo» significa la probabilidad de que los efectos nocivos de una sustancia química peligrosa o mezcla por una exposición crónica o aguda de los trabajadores altere su salud o, por su capacidad de arder, explotar, corroer, entre otras, dañe el centro de trabajo.

$$\text{Riesgo} = \text{peligro} \times \text{exposición}$$

2.2 | Definición y clasificación de los residuos peligrosos

Los avances científicos y tecnológicos y la experiencia internacional sobre la caracterización de los residuos peligrosos han permitido definir como constituyentes tóxicos ambientales, agudos y crónicos a aquellas sustancias químicas que son capaces de producir efectos adversos a la salud o al ambiente.

La selección de los criterios utilizados dependerá de las necesidades del país, del desarrollo de la política y la gestión de residuos, de los recursos

presupuestales y las limitaciones en materia de infraestructura analítica para la caracterización de los residuos.

Debido a que las consideraciones que cada país o institución toma como criterio pueden variar, se tomarán en cuenta las dos siguientes definiciones sobre «residuos peligrosos»:

Son aquellos residuos no radiactivos, los cuales, por razón de su alta toxicidad o reactividad química, explosividad, corrosividad u otra característica peligrosa, causan daño a la salud humana o al ambiente en general, ya sea que se encuentren solos o cuando entren en contacto con otros residuos. Son definidos legalmente como peligrosos en el lugar o lugares que sean generados, dispuestos o a través de los cuales sean transportados (Working Group of Experts on the Environmentally Sound Management of Hazardous Wastes, 1985).

Los residuos que debido a su peligrosidad intrínseca (tóxico, corrosivo, reactivo, inflamable, explosivo, infeccioso, ecotóxico) pueden causar daños a la salud o el ambiente (Martínez, 2005).

La NOM-052-SEMARNAT-2005 define residuo peligroso de la siguiente manera:

Cualquier sustancia química contenida en un residuo y que hace que esta sea peligrosa por su toxicidad, ya sea ambiental, aguda o crónica. Además que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, los residuos químicos se clasifican con base al código CRETIB.

La toxicidad se determinó en un inicio con la prueba del procedimiento de extracción, desarrollada para simular el medio que se puede presentar cuando los residuos sólidos industriales se codisponen con residuos sólidos de un relleno sanitario, y posteriormente con el procedimiento para la caracterización de un lixiviado por su toxicidad, que fue desarrollado como alternativa para el manejo de contingencia.

Así como ocurre con la definición, la clasificación de los residuos (peligrosos o no) puede variar en cada país. Sin embargo, en el Convenio de Basilea, se clasifican utilizando diferentes criterios que se enlistan a continuación:

- » Estado:
 - Sólidos
 - Semisólidos
 - Líquidos
 - Gaseosos

- » Origen:
 - Domiciliarios, urbanos o municipales
 - Industriales
 - Agrícolas, ganaderos y forestales
 - Mineros
 - Hospitalarios o de centro de atención de salud
 - De construcción
 - Portuarios
 - Radiactivos

- » Tipo de tratamiento al que serán sometidos:
 - Residuos asimilables a residuos urbanos y que, por lo tanto, se pueden disponer en forma conjunta
 - Residuos para los cuales la incineración es el tratamiento idóneo
 - Residuos que se deben disponer en rellenos de seguridad
 - Residuos generados en grandes cantidades y que requieren tratamiento particular
 - Residuos posibles de ser sometidos a un proceso de valoración

- » Potenciales efectos derivados del manejo:
 - Residuos peligrosos
 - Residuos peligrosos no reactivos
 - Residuos inertes
 - Residuos no peligrosos

2.3 | Constituyentes que hacen a un residuo peligroso

La clasificación de un residuo como «peligroso» se puede realizar con base en distintos criterios:

- » Pertenecer a listas de tipos específicos de residuos.
- » Estar incluidos en listas de residuos generados en procesos específicos.
- » Presentar alguna característica de peligrosidad (tóxico, corrosivo, reactivo, inflamable, explosivo, infeccioso, ecotóxico).
- » Contener sustancias definidas como peligrosas.
- » Superar límites de concentración de sustancias definidas como peligrosas.
- » Superar límites establecidos al ser sometidos a ensayos normalizados.

Sin embargo, de acuerdo con el objetivo de este texto, será necesaria una clasificación más específica en la sección de residuos peligrosos. Para ello, se consultará la información del *Manual para el manejo de los residuos peligrosos de tipo químico* (2011), que está acorde con la NOM-052-SEMAR-NAT-2005, la cual establece que un residuo peligroso presenta:

- Corrosividad
- Reactividad
- Explosividad
- Toxicidad ambiental
- Inflamabilidad
- Biológico-infeccioso

Tabla 2.1

Clasificación	Descripción	Simbología
C	<p>Cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Son aquellas que en estado líquido acuoso y presenten un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5. • Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5 • Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6.35 mm/año, a una temperatura de 328 K (55 °C). 	
R	<p>Cuando una muestra representativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a 5 min., sin que exista una fuente externa de ignición. • Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor a 1 lt/kg del residuo por hora. • Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables cuando se expone a condiciones ácidas. 	
E	<p>Cuando tiene una constante de explosividad, mayor o igual al nitrobenzeno. Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25 °C y a 1.03 kg/cm² de presión.</p>	
T	<p>Cuando se somete a la prueba de extracción para toxicidad, el lixiviado de la muestra representativa que contenga cualquiera de los constituyentes listados en las tablas 5, 6 y 7 en concentraciones mayores a los límites señalados en dichas tablas por ejemplo: arsénico 5.0 mg/l, níquel 5.0 mg/l, mercurio 0.2 mg/l, plata 5.0 mg/l, cloroformo 6.0 mg/l, fenol 14.4 mg/l.</p>	
I	<p>En solución acuosa contiene más del 24% de alcohol en volumen. Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60 °C. No es líquido, pero es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos (a 25 °C y a 1.03 kg/cm²). Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes que estimulan la combustión.</p>	

1

2

3

4

5

Las toxicidades aguda y crónica quedan exceptuadas de los análisis para la determinación de la característica de toxicidad ambiental en los residuos establecida en el numeral 7.5 de esta Norma Oficial Mexicana.

Para la sección «Biológico-Infección», se usan las condiciones especificadas por la NOM-07-SEMARNAT-SSA1-2002.

- 1.** La sangre
 - 1.1.** La sangre y los componentes de esta, solo en su forma líquida, así como los derivados no comerciales, incluyendo las células progenitoras, hematopoyéticas y las fracciones celulares o acelulares de la sangre resultante (hemoderivados).
- 2.** Los cultivos y cepas de agentes biológico-infecciosos
 - 2.1.** Los cultivos generados en los procedimientos de diagnóstico e investigación, como también los generados en la producción y control de agentes biológico-infecciosos.
 - 2.2.** Utensilios desechables usados para contener, transferir, inocular y mezclar cultivos de agentes biológico-infecciosos.
- 3.** Los patológicos
 - 3.1.** Los tejidos, órganos y partes que se extirpan o remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica, que no se encuentren en formol.
 - 3.2.** Las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico e histológico, excluyendo orina y excremento.
 - 3.3.** Los cadáveres y partes de animales que fueron inoculados con agentes enteropatógenos en centros de investigación y bioterios.
- 4.** Los residuos no anatómicos
 - 4.1.** Los recipientes desechables que contengan sangre líquida.
 - 4.2.** Los materiales de curación, empapados, saturados, que goteen sangre o cualquiera de los siguientes fluidos corporales: líquido sinovial, líquido pericárdico, líquido pleural, líquido céfalo-raquídeo o líquido peritoneal.

- 4.3. Los materiales desechables que contengan esputo, secreciones pulmonares y cualquier material usado para contener estos, de pacientes con sospecha o diagnóstico de tuberculosis o de otra enfermedad infecciosa, según sea determinado por la SSA mediante memorándum interno o el *Boletín Epidemiológico*.
 - 4.4. Los materiales desechables que estén empapados, saturados o goteando sangre, o secreciones de pacientes con sospecha o diagnóstico de fiebres hemorrágicas, así como otras enfermedades infecciosas emergentes según sea determinado por la SSA mediante memorándum interno o el *Boletín Epidemiológico*.
 - 4.5. Materiales absorbentes utilizados en las jaulas de animales que hayan sido expuestos a agentes enteropatógenos.
5. Los objetos punzocortantes
 - 5.1. Los que han estado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento, únicamente: tubos capilares, navajas, lancetas, agujas de jeringas desechables, agujas hipodérmicas, de sutura, de acupuntura y para tatuaje, bisturís y estiletes de catéter, excepto todo material de vidrio roto usado en el laboratorio, el cual se deberá desinfectar o esterilizar antes de ser dispuesto como residuo municipal.

2.4 | Generación, orígenes, composición y propiedades de los residuos peligrosos

Las causas más comunes de generación de residuos peligrosos son:

1. Materias primas:
 - 1.1. Caducidad
 - 1.2. Deterioro durante su almacenamiento
 - 1.3. Por no utilizarse (sobrantes)
2. Procesos de producción:
 - 2.1. Subproductos de reacción

- 2.2. Residuos resultantes de operaciones unitarias tales como destilación, filtración, evaporación, secado, etc.
- 2.3. Muestras para análisis de laboratorio
- 3. Productos finales:
 - 3.1. Deterioro durante su almacenamiento
 - 3.2. Deterioro durante su transporte
 - 3.3. Caducidad

De acuerdo con el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, los generadores de residuos se clasifican en tres tipos:

Gran generador: el que realice una actividad que genere una cantidad igual o superior a diez toneladas en peso bruto total de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

Pequeño generador: el que efectúe una actividad que genere una cantidad mayor a cuatrocientos kilogramos y menor a diez toneladas en peso bruto total de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

Microgenerador: el establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta cuatrocientos kilogramos de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

2.5 | Plan de manejo de residuos peligrosos

De acuerdo con el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, artículos 27, 28 y 29 podrán sujetarse a condiciones particulares de manejo los siguientes residuos peligrosos:

- I. Los que sean considerados como tales, de conformidad con lo previsto en la Ley.

- II. Los listados por fuente específica y no específica en la Norma Oficial Mexicana correspondiente, siempre y cuando, como resultado de la modificación de procesos o de materia prima, cambien las características por las cuales fueron listados.
- III. Los que, conforme a dicha norma, se clasifiquen por tipo y se sujeten expresamente a dichas condiciones.

Los generadores de los residuos señalados en el artículo anterior podrán proponer a la Secretaría por escrito, las condiciones particulares de manejo por instalación, proceso o tipo de residuo. Además, describirán en su propuesta el proceso, la corriente del residuo, su caracterización, la propuesta de manejo y los argumentos que justifiquen la condición particular.

La Secretaría dispondrá de treinta días hábiles para resolver sobre las condiciones particulares de manejo propuestas.

La aprobación o determinación de condiciones particulares de manejo no modifica o cancela la clasificación de un residuo como peligroso.

Las condiciones particulares de manejo que apruebe la Secretaría podrán integrarse a un plan de manejo, sin que por ello se les exima de verificación por parte de la Procuraduría.

El plan de manejo que integre condiciones particulares de manejo aprobadas por la Secretaría tendrá efectos de autorización para aquellas actividades de manejo de residuos peligrosos contenidas en el mismo que, conforme a la Ley, requieran autorización, excepto la disposición final.

3 | Almacenamiento de residuos peligrosos

3.1 | Tipos de almacenes para residuos peligrosos

Los residuos químicos recolectados en el área de generación serán depositados en el almacén temporal de residuos peligrosos, acondicionada según la normatividad vigente.

El acondicionamiento de los residuos químicos se realizará con base en la NOM-054-SEMARNAT-1993, que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos registrados como peligrosos por la NOM-052-SEMARNAT.2005 y por la NOM-002-SCT2-1994, que indica el listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados. (Secretaría de Salud, 2011)

De acuerdo con la NOM-024-SCT-2010, los tipos de envases o embalajes destinados a almacenar residuos peligrosos deberán estar sometidos a pruebas de calidad y seguridad en distintas etapas del envasado (antes y después). Sin embargo, los puntos más importantes en esta sección son:

1. El envase debe ser compatible (no presentar ninguna reacción) con el residuo.
2. Los envases o embalajes deben poder soportar los movimientos o golpes ocasionados por su transporte.
3. En el envasado, se dejará un espacio vacío suficiente para evitar cualquier fuga del contenido que pueda ocurrir, como resultado de una expansión del líquido, causado por cambios de temperatura que ocurran durante el transporte.

4. Los residuos tóxicos se separarán por las clasificaciones antes mencionadas y no deberán mezclarse en su disposición de almacenamiento.

En la tabla 3.1 se muestran los materiales permitidos o normalmente usados.

Tabla 3.1

Bidones de acero		Cajas de cartón 4G	
Bidones de aluminio		Cajas de plástico	
Jerricanes (porrones) de acero o de aluminio		Cajas de acero o de aluminio	
Bidones (tambores) de madera contrachapada 1D		Sacos de tela (material textil)	
Bidones (tambores) de cartón 1G		Sacos de tejidos de plástico	
Bidones (tambores) y jerricanes (porrones) de plástico		Sacos de papel	
Cajas de madera natural		Envases y/o embalajes compuestos (de vidrio, porcelana o gres)	

3.2 | Condiciones de almacenamiento para residuos peligrosos

De acuerdo con el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, artículos 82 y 83, las áreas de almacenamiento de residuos peligrosos de pequeños y grandes generadores, así como de prestadores de servicios deberán cumplir con las condiciones siguientes, además de las que establezcan las normas oficiales mexicanas para algún tipo de residuo en particular.

I. Condiciones básicas para las áreas de almacenamiento:

1. Estar separadas de las áreas de producción, servicios, oficinas y de almacenamiento de materias primas o productos terminados.
2. Estar ubicadas en zonas donde se reduzcan los riesgos por posibles emisiones, fugas, incendios, explosiones e inundaciones.
3. Contar con dispositivos para contener posibles derrames, tales como muros, pretiles de contención o fosas de retención para la captación de los residuos en estado líquido o de los lixiviados.
4. Cuando se almacenan residuos líquidos, se deberá contar en sus pisos con pendientes y, en su caso, con trincheras o canaletas que conduzcan los derrames a las fosas de retención con capacidad para contener una quinta parte como mínimo de los residuos almacenados o del volumen del recipiente de mayor tamaño.
5. Contar con pasillos que permitan el tránsito de equipos mecánicos, eléctricos o manuales, así como el movimiento de grupos de seguridad y bomberos en casos de emergencia.
6. Contar con sistemas de extinción de incendios y equipos de seguridad para atención de emergencias, acordes con el tipo y la cantidad de los residuos peligrosos almacenados.
7. Contar con señalamientos y letreros alusivos a la peligrosidad de los residuos peligrosos almacenados, en lugares y formas visibles.
8. El almacenamiento debe realizarse en recipientes identificados considerando las características de peligrosidad de los residuos, así como su incompatibilidad, previniendo fugas, derrames, emisiones, explosiones e incendios.

1.9. La altura máxima de las estibas será de tres tambores en forma vertical.

II. Condiciones para el almacenamiento en áreas cerradas, además de las precisadas en la fracción I de este artículo:

- a)** No deben existir conexiones con drenajes en el piso, válvulas de drenaje, juntas de expansión, albañales o cualquier otro tipo de apertura que pudieran permitir que los líquidos fluyan fuera del área protegida.
- b)** Las paredes deben estar construidas con materiales no inflamables.
- c)** Contar con ventilación natural o forzada. En los casos de ventilación forzada, debe tener una capacidad de recepción de por lo menos seis cambios de aire por hora.
- d)** Estar cubiertas y protegidas de la intemperie y, en su caso, contar con ventilación suficiente para evitar acumulación de vapores peligrosos y con iluminación a prueba de explosión.
- e)** No rebasar la capacidad instalada del almacén.

4 | Transporte de residuos peligrosos

Mendoza (2013, p. 1) explica la importancia que tiene un sistema eficiente de transporta y de qué manera beneficia a la economía:

Una economía competitiva implica contar con un sistema de transporte eficaz y eficiente de tal manera que el traslado de mercancías y pasajeros a lo largo del territorio nacional sea lo más seguro y rápido posible, así como también cumplir con los criterios de sustentabilidad establecidos a nivel nacional e internacional a fin de conducir las políticas económicas actuales hacia una economía de bajas emisiones de carbono y preservación del medio ambiente. (Mendoza, 2013, p.1)

4.1 | Rombo de identificación en el transporte de residuos peligrosos

El rombo de identificación de colores es un símbolo que era requisito en la Norma NOM-018-STPS-2010. Sin embargo, con la actualización de la misma, este símbolo quedó descartado dando paso al nuevo sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos.

La NOM-018-STPS-2015 ahora establece que se usará un rombo con borde color rojo, apoyado en un vértice. Los pictogramas utilizados para identificar los peligros de las sustancias químicas peligrosas o mezclas son los siguientes:

Tabla 4.1

<ul style="list-style-type: none"> • Gases Comburentes (Categoría 1) • Líquidos comburentes (Categorías 1 al 3) • Sólidos Comburentes (Categorías 1 al 3) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Gases Inflamables (categoría 1) • Aerosoles (categorías 1 y 2) • Líquidos inflamables (categorías 1 al 3) • Sólidos inflamables (categorías 1 y 2) • Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente (tipos B al F) • Líquidos pirofóricos (categoría 1) • Sólidos pirofóricos (categoría 1) • Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo (categorías 1 y 2) • Sustancias y mezclas que en contacto con el agua, desprenden gases inflamables (categorías 1 al 3) • Peróxidos orgánicos (tipos B al F) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Explosivos (inestable y divisiones 1.1 al 1.4) • Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente (tipo A y B) • Peróxidos orgánicos (tipo A y B) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Gases a presión (comprimido, licuado, licuado refrigerado y disuelto) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Sustancias y mezclas corrosivas para los metales (categoría 1) 	

1

2

3

4

5

Tabla 4.1

<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda por ingestión, (categorías 1 al 3) • Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) • Toxicidad aguda por inhalación, (categorías 1 al 3) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Corrosión/Irritación cutáneas (categoría 1) • Lesiones oculares graves/Irritación ocular (categoría 1) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilización respiratoria (categorías 1, 1A* y 1B*) • Mutagenicidad en células germinales (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) • Carcinogenicidad (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) • Toxicidad para la reproducción (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) • Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposición única) (categorías 1 y 2) • Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposiciones repetidas) (categorías 1 y 2) • Peligro por aspiración (categorías 1 y 2) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda por ingestión (categoría 4) • Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) • Toxicidad aguda por inhalación (categoría 4) • Corrosión/irritación cutáneas (categoría 2) • Lesiones oculares graves/irritación ocular (categoría 2/2A) • Sensibilización cutánea (categorías 1, 1A* y 1B*) • Lesiones oculares graves (categoría 2A) • Toxicidad específica de órganos blanco (exposición única) (categoría 3) 	

Además, la norma establece que el sistema armonizado de identificación y comunicación de peligros y riesgos de las sustancias químicas peligrosas y mezclas que se manejan en el centro de trabajo deberá incluir lo siguiente:

- a) El listado actualizado de las sustancias químicas peligrosas y mezclas, en su caso, que contenga al menos:
 - 1. El nombre de la sustancia química peligrosa o mezcla.
 - 2. El número CAS para la sustancia y para las mezclas el número CAS de los componentes.
 - 3. La clasificación de sus peligros físicos y para la salud, específicos, relacionados con sus correspondientes divisiones o categorías.
- b) Las hojas de datos de seguridad de las sustancias químicas peligrosas y mezclas.
- c) La señalización o el etiquetado.
- d) La capacitación y adiestramiento proporcionado a los trabajadores sobre el contenido de las hojas de datos de seguridad y de la señalización.

Se deberá actualizar cuando:

- a) Se sustituyan o adicionen sustancias químicas peligrosas y mezclas que se manejan en el centro de trabajo, o
- b) Se cuente con información actualizada de los peligros y riesgos de las sustancias químicas peligrosas y mezclas.

De acuerdo con la NOM-004-SCT/2008, Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos, las unidades de transporte, camiones, unidades de arrastre, autotanques, carrotanques, contenedores, contenedores cisterna, tanques portátiles y recipientes intermedios a granel, empleados en el transporte de sustancias, materiales o residuos peligrosos, deberán portar carteles de identificación como señalamientos de seguridad para advertir que los productos que transportan son peligrosos y presentan riesgos.

- 1. Los carteles deberán indicar el riesgo primario, el número de Naciones Unidas que lo identifica y, en su caso, el riesgo secundario asociado con la sustancia, material o el residuo peligroso transportado.

2. Deberán colocarse en la parte media superior de las vistas laterales, anterior y posterior de las unidades de autotransporte, en el caso de unidades tipo tractocamión o camión se debe colocar en la parte frontal, siempre y cuando no se obstruya la visibilidad del operador, para combinaciones vehiculares de doble semirremolque, los carteles se colocarán en ambos remolques (véase modelo No. 12).
3. Sin embargo, no se exigirá la colocación de carteles en las unidades de transporte que lleven explosivos de la división 1.4, grupo de compatibilidad S, en cualquier cantidad, o materiales y/o residuos peligrosos, envases y/o embalajes en cantidades limitadas, o envases y/o embalajes exceptuados de materiales radiactivos (clase 7); y solo será preciso fijar carteles que indiquen el riesgo más elevado en las unidades que transporten sustancias y materiales y/o residuos peligrosos que pertenezcan a más de una división de la clase 1, de conformidad con lo establecido en la norma respectiva.
4. En las unidades de arrastre ferroviario, los carteles deben colocarse en ambos costados y en los extremos, en el caso de contenedores y contenedores cisterna, deben colocarse en la parte media superior de las vistas laterales, anterior y posterior (véase modelo No. 12).
5. Cuando las unidades de transporte movilicen sustancias o materiales peligrosos, para los cuales en las listas de materiales peligrosos se indica más de un riesgo, deberán portar los carteles que identifiquen a los riesgos secundarios de acuerdo con su clase o división.
6. No obstante, las unidades que transporten materiales y/o residuos peligrosos los cuales presentan distintas clases de riesgo no necesitan llevar un cartel de riesgo secundario, si este último ya está indicado por un cartel de riesgo primario.
7. Cuando la unidad de transporte tenga una cisterna con varios compartimentos y transporte más de una sustancia, material o residuo

peligroso, debe llevar los carteles correspondientes, a cada material en ambos lados del compartimiento de que se trate.

8. Cuando en una misma unidad de transporte se movilicen conjuntamente materiales de diferentes clases de riesgo compatibles entre sí, se identificará a la misma utilizando por lo menos dos carteles que identifiquen a los materiales de mayor riesgo.
9. Los carteles deberán colocarse sobre un fondo de color que ofrezca contraste o estar rodeados de un borde de trazo continuo o discontinuo; y estar situados de tal forma, que no se obstruya o confunda su visibilidad, con otro tipo de información en los vehículos.
10. Para todas las clases, deben apearse a los modelos que se indican en los modelos 1 a 9.
11. Las unidades de transporte, camiones, recipientes intermedios a granel, tanques portátiles, contenedores, contenedores cisterna y cualquier tipo de unidades de arrastre ferroviario, descargados o vacíos, que hayan contenido a las sustancias, materiales o residuos peligrosos, deberán portar durante su transporte, los carteles de identificación correspondientes a los materiales que llevaba originalmente, hasta en tanto no se haya efectuado su limpieza y descontaminación.
12. Cuando las unidades de transporte, camiones, recipientes intermedios a granel, tanques portátiles, contenedores, contenedores cisterna y unidades de arrastre ferroviario, que hayan estado en contacto directo con las sustancias, materiales o residuos peligrosos, cuando hayan sido limpiadas y descontaminadas (libres de remanentes) y cuenten con el certificado (NOM-019-SCT2/2004) que así lo acredite, no requerirán portar carteles de identificación. Sin embargo, las unidades que transporten materiales o residuos peligrosos, contenidos en envases y embalajes, no requerirán portar carteles de identificación una vez que hayan sido descargados, ni el certificado de limpieza correspondiente, siempre y cuando dichos envases y embalajes no

hayan presentado algún tipo de liberación o derrame accidental de las sustancias, en las unidades durante su carga, descarga o transporte (como es el caso del transporte de carga seca).

13. Los embarques de sustancias y materiales de las divisiones 2.3 o 6.1 originados o con destino a los Estados Unidos de América podrán ostentar indistintamente el cartel de identificación de la clase y división de riesgo de conformidad con la presente Norma o bien de acuerdo con los requerimientos establecidos en ese país, aplicables a las sustancias o materiales con características de tóxico por inhalación.

4.2 | Hojas de seguridad en el transporte de residuos peligrosos

De acuerdo con la NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo, establece lineamientos para prevenir daños a los trabajadores y al personal que actúa en caso de emergencia.

4.2.1 | Características de la hoja de datos de seguridad, HDS

La HDS deberá cumplir con las siguientes características:

- a) Desarrollarse en formato libre.
- b) Elaborarse o tenerse en idioma español.
- c) Contener las secciones del numeral 2, de esta Norma. Las secciones, de la 12 a la 15; por contener información ecotoxicológica, eliminación de productos, del transporte y reglamentaria del ambiente, estarán de acuerdo con lo establecido por la Autoridad competente.
- d) Incluir las sustancias químicas peligrosas o componentes de la mezcla que tengan una concentración igual o mayor a los valores límite de composición en la mezcla para cada clase de peligro para la salud, conforme a lo que determina la tabla 4.2.1, de acuerdo con la sección 3, del numeral 2, inciso c), de la presente Norma.

- e) Considerar el efecto aditivo a la salud de las sustancias químicas peligrosas, cuando se trate de mezclas.
- f) Coincidir con la información utilizada en la señalización.
- g) Contar con la información requerida en cada sección. Si no está disponible dicha información o no es aplicable, se anotarán las siglas ND o NA respectivamente, según sea el caso, con base en la fuente o fuentes de referencia que se utilizaron para su llenado.
- h) Incluir las fechas de elaboración y de las siguientes revisiones.

Tabla 4.2

Valores límites de composición en la mezcla para cada clase de peligro para la salud	
Clase de peligro para la salud	Cantidad de la sustancia que compone la mezcla (%)
Toxicidad aguda	≥1.0
Corrosión/Irritación cutánea	≥1.0
Lesiones oculares graves/irritación de los ojos	≥1.0
Sensibilización respiratoria/cutánea	≥1.0
Mutagenicidad: Categoría 1	≥0.1
Mutagenicidad: Categoría 2	≥1.0
Carcinogenicidad	≥0.1
Toxicidad para la reproducción	≥0.1
Toxicidad específica de órganos blanco (Exposición única)	≥1.0
Toxicidad específica de órganos blanco (Exposición repetida)	≥1.0

4.2.2 | Secciones e información de la hoja de datos de seguridad

La hoja de datos de seguridad de la sustancia química peligrosa o mezcla deberá contar con las secciones e información siguientes:

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia química peligrosa o mezcla y del proveedor o fabricante:

1. Nombre de la sustancia química peligrosa o mezcla;
2. Otros medios de identificación;
3. Uso recomendado de la sustancia química peligrosa o mezcla, y restricciones de uso;
4. Datos del proveedor o fabricante, y
5. Número de teléfono en caso de emergencia.

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros:

1. Clasificación de la sustancia química peligrosa o mezcla, conforme a lo que señala el GHS. Elementos de comunicación de peligros físicos y para la salud y cualquier información nacional o regional;
2. Elementos de la señalización, incluidos los consejos de prudencia y pictogramas de precaución.
3. Otros peligros que no contribuyen en la clasificación.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes:

1. Para sustancias

- i. Identidad química de la sustancia;
- ii. Nombre común, sinónimos de la sustancia química peligrosa o mezcla;
- iii. Al menos el número CAS, y número ONU, entre otros, y
- iv. Impurezas y aditivos estabilizadores que estén a su vez clasificados y que contribuyan a la clasificación de la sustancia.

2. Para mezclas

La identidad química y la concentración o rangos de concentración de todos los componentes que sean peligrosos según los criterios de esta Norma y estén presentes en niveles superiores a sus valores límite de composición en la mezcla.

En el caso de sustancias químicas peligrosas y mezclas consideradas como información comercial confidencial, deberá expresarlo como tal.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios:

1. Descripción de los primeros auxilios;
2. Síntomas y efectos más importantes, agudos y crónicos, y
3. Indicación de la necesidad de recibir atención médica inmediata y, en su caso, tratamiento especial.

SECCIÓN 5. Medidas contra incendios:

1. Medios de extinción apropiados;
2. Peligros específicos de las sustancias químicas peligrosas o mezclas, y
3. Medidas especiales que deberán seguir los grupos de combate contra incendio.

SECCIÓN 6. Medidas que deben tomarse en caso de derrame accidental o fuga accidental:

1. Precauciones personales, equipos de protección y procedimientos de emergencia;
2. Precauciones relativas al medio ambiente, y
3. Métodos y materiales para la contención y limpieza de derrames o fugas.

SECCIÓN 7. Manejo y almacenamiento:

1. Precauciones que se deben tomar para garantizar un manejo seguro, y
2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluida cualquier incompatibilidad.

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección personal:

1. Parámetros de control;
2. Controles técnicos apropiados, y
3. Medidas de protección individual, como equipo de protección personal, EPP.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas:

1. Apariencia (estado físico, color, etc.);
2. Olor;
3. Umbral del olor;
4. Potencial de hidrógeno, pH;
5. Punto de fusión/punto de congelación;
6. Punto inicial e intervalo de ebullición;
7. Punto de inflamación;
8. Velocidad de evaporación;
9. Inflamabilidad (sólido/gas);
10. Límite superior/inferior de inflamabilidad o explosividad;
11. Presión de vapor;
12. Densidad de vapor;
13. Densidad relativa;
14. Solubilidad(es);
15. Coeficiente de partición n-octanol/agua;
16. Temperatura de ignición espontánea;
17. Temperatura de descomposición;
18. Viscosidad;
19. Peso molecular, y
20. Otros datos relevantes.

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad:

1. Reactividad;
2. Estabilidad química;
3. Posibilidad de reacciones peligrosas;
4. Condiciones que deberán evitarse;
5. Materiales incompatibles, y
6. Productos de descomposición peligrosos.

SECCIÓN 11. Información toxicológica:

1. Información sobre las vías probables de ingreso;
2. Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas;
3. Efectos inmediatos y retardados, así como efectos crónicos producidos por una exposición a corto o largo plazo;
4. Medidas numéricas de toxicidad (tales como estimaciones de toxicidad aguda);
5. Efectos interactivos;
6. Cuando no se disponga de datos químicos específicos;
7. Mezclas;
8. Información sobre la mezcla o sobre sus componentes, y
9. Otra información.

SECCIÓN 12. Información ecotoxicológica:

1. Toxicidad;
2. Persistencia y degradabilidad;
3. Potencial de bioacumulación;
4. Movilidad en el suelo, y
5. Otros efectos adversos.

SECCIÓN 13. Información relativa a la eliminación de los productos:

Descripción de los residuos e información sobre la manera de manipularlos sin peligro y sus métodos de eliminación, incluida la eliminación de los recipientes contaminados.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte:

1. Número ONU;
2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas;
3. Clase(s) de peligros en el transporte;
4. Grupo de embalaje/envasado, si se aplica;
5. Riesgos ambientales;
6. Precauciones especiales para el usuario
7. Transporte a granel con arreglo al anexo II de MARPOL 73/78 y al Código CIQ (IBC por sus siglas en inglés).

SECCIÓN 15. Información reglamentaria:

Disposiciones específicas sobre seguridad, salud y medio ambiente para las sustancias químicas peligrosas o mezcla de que se trate.

SECCIÓN 16. Otras informaciones incluidas las relativas a la preparación y actualización de las hojas de datos de seguridad:

La hoja de datos de seguridad deberá tener la leyenda siguiente: *La información se considera correcta, pero no es exhaustiva y se utilizará únicamente como orientación, la cual está basada en el conocimiento actual de la sustancia química o mezcla y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto.*

4.2.3 | Actualización de la hoja de datos de seguridad

La hoja de datos de seguridad de cada sustancia química peligrosa y mezcla deberá ser actualizada en los siguientes casos:

- a) Se cuente con información nueva que modifique la clasificación de la sustancia química peligrosa o mezcla, de acuerdo con lo señalado en el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, GHS, y que ocasione un cambio de las medidas de seguridad.
- b) Se publiquen nuevos datos o resultados de ensayos sobre los posibles efectos adversos de carácter crónico para la salud, aun cuando dichos datos no conlleven una modificación de la clasificación existente.

4.3 | Transporte terrestre de residuos peligrosos

De acuerdo con el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, se resaltan los siguientes artículos:

ARTÍCULO 102.- El transporte de residuos peligrosos deberá efectuarse conforme a la clase de sustancia peligrosa de que se trate y que dio origen al residuo. Asimismo, para establecer el destino final del residuo peligroso, deberá sujetarse a las normas que se expidan.

ARTÍCULO 103.- Las empresas de transporte terrestre que generen cualquier remanente peligroso por lavado o descontaminación de las unidades utilizadas para el transporte de alguna sustancia peligrosa, deberán apegarse a las normas que expida la Secretaría de Desarrollo Social.

ARTÍCULO 104.- En la carta porte se establecerá claramente el destino final del residuo generado y se notificará a las autoridades correspondientes.

ARTÍCULO 105.- El propietario o generador del residuo peligroso quedará obligado a cerciorarse de que el sistema de transporte y las instalaciones del destinatario de la carga, estén autorizadas por la Secretaría de Desarrollo Social.

ARTÍCULO 106.- Para el traslado de residuos peligrosos la unidad a utilizar deberá cumplir con las especificaciones de construcción determinadas para el transporte de materiales, de acuerdo con la norma correspondiente.

ARTÍCULO 107.- Para la clasificación de los residuos peligrosos se estará a lo que establezca la norma.

ARTÍCULO 108.- Para transportar residuos peligrosos, estos deberán ser compatibles entre sí, conforme a la norma correspondiente, llevándose las bitácoras de control de residuos.

4.4 | Transporte marítimo de residuos peligrosos

De acuerdo con la NOM-043-SCT/2003, que es de observancia obligatoria, los fabricantes o expedidores, y generadores elaborarán el «Documento de Embarque». Dicho documento lo proporcionarán a los transportistas, quienes lo portarán durante el traslado y entrega de los materiales a los destinatarios que, a su vez, los recibirán con base en este mismo documento, dentro de la esfera de sus responsabilidades, en el manejo y transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos, movilizados por las vías generales de comunicación terrestre, aérea y marítima.

4.4.1 | Descripción de las sustancias, materiales y residuos peligrosos

En el Documento de Embarque debe precisarse la siguiente información acerca de las sustancias, materiales y residuos peligrosos que se presenten para su transporte:

- I.** El Documento de Embarque debe contar con el número de identificación de las Naciones Unidas, precedido por las letras «UN».
- II.** Designación oficial de transporte.
- III.** La Clase o cuando proceda, la División de las sustancias.
- IV.** Cuando se haya asignado, el grupo de envase y/o embalaje correspondiente a la sustancia.

4.4.2 | Información complementaria a la designación oficial de transporte en la descripción de las sustancias, materiales y residuos peligrosos

La información complementaria a la designación oficial de transporte en la descripción de las sustancias, materiales y residuos peligrosos, deberá ser complementada por los siguientes datos:

- A.** Nombres técnicos para epígrafes «N.E.P.» y otras descripciones genéricas. Las designaciones oficiales de transporte a las que se ha asignado la disposición especial 274 de la NOM-002-SCT2, deberán completarse con sus nombres técnicos o de grupo químico.
- B.** Envases y/o embalajes y cisternas vacías, sin limpiar. Todos los medios de contención vacíos (en particular, los envases y/o embalajes, los RIG, las cisternas portátiles, los vehículos cisterna y los vagones cisterna), que contengan remanentes de sustancias o residuos peligrosos distintas de las de la clase 7 radiactivos.
- C.** Residuos peligrosos. En cuanto a los residuos de sustancias peligrosas (aparte los residuos radiactivos), que se transportan para su almacenamiento, reúso, reciclaje, tratamiento, incineración o disposición final, la designación oficial de transporte debe ir precedida de la palabra «RESIDUO».
- D.** Sustancias a temperatura elevada. Si en la designación oficial de transporte de una sustancia que se transporte o que se presente para el transporte en estado líquido a una temperatura igual o superior a 100 °C, o en estado sólido a una temperatura igual o superior a 240 °C, no se indica que se trata de una sustancia que se transporta a temperatura elevada, el término «CALIENTE» estará inmediatamente antes de la designación oficial de transporte.

4.4.3 | Información necesaria además de la descripción de las sustancias, materiales y residuos peligrosos

- A.** Cantidad total de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- B.** Cantidades limitadas.
- C.** Envases y/o embalajes de socorro.
- D.** Sustancias estabilizadas mediante regulación de la temperatura.
- E.** Sustancias que reaccionan espontáneamente y peróxidos orgánicos.
- F.** Sustancias infecciosas.
- G.** Sustancias radiactivas.
 - a)** El nombre o símbolo de cada radionucleico o una descripción general apropiada o una lista de los nucleicos más restrictivos.
 - b)** Una descripción de la forma física y química de los materiales, o una indicación de que los materiales son radiactivos en forma especial o materiales radiactivos de baja dispersión. Para la forma química es aceptable una descripción química genérica.
 - c)** La actividad máxima del contenido radiactivo durante el transporte expresada en becquerels (Bq), con el prefijo apropiado del SI. Si se trata de sustancias fisionables, puede utilizarse en lugar de la actividad la masa de las sustancias fisionables en gramos (g), o en sus múltiplos adecuados.
 - d)** La categoría de envase y/o embalaje, es decir I-BLANCA, II-AMARILLA Y III-AMARILLA.
 - e)** El índice de transporte (solo en el caso de las categorías II-AMARILLA Y III-AMARILLA).
 - f)** Si se trata de embarques que incluyen sustancias fisionables distintas a otros embarques, incluir el índice de seguridad con respecto a la criticidad.
 - g)** La marca de identificación correspondiente a cada certificado de aprobación de la autoridad competente (materiales radiactivos en forma especial, materiales radiactivos de baja dispersión, arreglos especiales, diseño de envase y/o embalaje o expedición) aplicables al embarque.

4.5 | Transporte aéreo de residuos peligrosos

De acuerdo con la NOM-004-SCT/2008, Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos, el transporte de residuos peligrosos por medio de transporte aéreo se encuentra completamente restringido.

4.6 | Transporte ferroviario de residuos peligrosos

De acuerdo con la NOM-021-SCT2/2017, Disposiciones de compatibilidad y segregación en trenes de unidades de arrastre que transportan materiales y residuos peligrosos, se establecen los requisitos que deben cumplirse y que se describen a continuación.

Requisitos generales para el manejo de unidades de arrastre, vehículos de transporte, contenedores de carga y recipientes voluminosos sobre plataformas ferroviarias que portan carteles de riesgo

- » Esta Norma Oficial Mexicana no aplica en la segregación y formación de carros de ferrocarril, vehículos de transporte, contenedores de carga o recipientes a granel, que contengan materiales de las siguientes clasificaciones:
 - a) División 1.6: Artículos extremadamente insensibles.
 - b) División 6.1: Sustancias tóxicas en Grupo de embalaje III (GE III), que presentan un peligro escaso.
 - c) Materiales de Clase 9: Materiales, sustancias y Productos Misceláneos.
- » Un carro de ferrocarril, vehículo de transporte, contenedor de carga o recipiente a granel, que porte carteles de riesgo, no debe ser transportado en un tren de pasajeros.

- » La tripulación del tren debe tener un documento que refleje la posición actual en el tren de cada carro conteniendo un material peligroso. La tripulación debe actualizar de cualquier forma o medio el documento para indicar los cambios en la ubicación de un carro de ferrocarril dentro del tren.
- » Cada ferrocarril deberá portar una copia de la tabla de segregación que se presenta en esta Norma Oficial Mexicana, anexa a sus reglas de operación. Al menos un miembro de la tripulación de un tren deberá contar con una copia de dicha tabla cuando se encuentre operando un tren, detenido o en movimiento, que transporta materiales o residuos peligrosos.

Maniobras de patio con unidades de arrastre, vehículos de transporte, contenedores de carga o recipientes a granel, que porten carteles de riesgo

- » Los frenos de mano de los carros que porten carteles de riesgo deben verificarse antes de realizar maniobras de patio, para su estacionamiento deben quedar dentro de la protección del punto físico de libraje.
- » De manera especial, cualquier carro de ferrocarril con explosivos de la División 1.1 (Explosivos con un peligro de explosión en masa) o División 1.2 (Explosivos con un riesgo de proyección), un gas de la División 2.3 (Gases tóxicos) con Zona de Riesgo A, o de un material de la División 6.1 (Sustancias tóxicas) GE I y Zona de Riesgo A, que porte carteles de riesgo, o un carro tanque portando un cartel de riesgo de la División 2.1 (Gas inflamable), cargados o con remanentes, no debe ser:
 - Cortado en movimiento.
 - Acoplado a más de 5 km/h.
 - Impactado por cualquier carro en movimiento bajo su propia inercia.

- » Una plataforma cargada con un vehículo de transporte, contenedor de carga o recipiente a granel que porte carteles de riesgo, no debe ser cortada en movimiento.
- » No debe permitirse que una unidad de arrastre en movimiento bajo su propia inercia, impacte cualquier plataforma cargada con un vehículo de transporte, contenedor de carga o recipiente a granel que porte carteles de riesgo.
- » Ninguna plataforma cargada con un vehículo de transporte, contenedor de carga o recipiente a granel que porte carteles de riesgo, deberá ser acoplada a más de 5 km/h.
- » Cuando se realicen maniobras con unidades de arrastre, vehículos de transporte o contenedores de carga portando carteles de riesgo de materiales de la División 1.1 o 1.2 (explosivo) en una terminal, patio o en un ladero, el carro de ferrocarril que porte carteles de riesgo debe estar separado de la locomotora por al menos dos unidades de arrastre sin carteles de riesgo y debe ser colocado en una ubicación tal que se encuentren a salvo del riesgo de incendio.
- » Una unidad de arrastre, vehículo de transporte o contenedor de carga portando carteles de riesgo de materiales de la División 1.1 o 1.2 (explosivo) no debe ser colocado debajo de puentes o pasos elevados, ni junto a estaciones de pasajeros, excepto durante operaciones de intercambio.

Posición en el tren de unidades de arrastre, vehículos de transporte, contenedores de carga o recipientes a granel, cargados, portando carteles de riesgo, cuando sean acompañados de escoltas (guardias o técnicos)

- » Una unidad de arrastre portando carteles de riesgo de División 1.1 o 1.2 (explosivo); División 2.3 (Zona de Riesgo A, gas tóxico); o de un material de la División 6.1 (GE I, Zona de Riesgo A, líquido tóxico) en

un tren detenido o en movimiento, puede estar contiguo y atrás de cualquier carro ocupado por los escoltas (guardias o técnicos) acompañando dicha unidad. Sin embargo, si un carro ocupado por los escoltas (guardias o técnicos) tiene equipo de control de temperatura en operación, este debe estar en el cuarto carro delante de cualquier carro que requiere carteles de riesgo de la División 1.1 o 1.2 (explosivo).

Posición en el tren de unidades de arrastre, vehículos de transporte, contenedores de carga y recipientes a granel

- » Excepto lo señalado en los párrafos 5.4.2. y 5.4.3 de esta sección, la posición en el tren de cada unidad de arrastre, vehículo de transporte, contenedor de carga y recipientes a granel, cargados, portando carteles de riesgo, deben cumplir con los requerimientos de esta sección.
- » Una unidad de arrastre portando cartel de riesgo «Radioactivo» debe cumplir con los requerimientos de posición en el tren del párrafo 5.4.4. de esta sección y debe estar separado de la locomotora, cabús ocupado o un carro cargado con película fotográfica sin revelar, por al menos un carro sin carteles de riesgo.
- » Un carro tanque conteniendo el remanente de un material peligroso debe estar separado de una locomotora o cabús ocupado por al menos una unidad de arrastre que no sea un carro tanque que porte carteles de riesgo.
- » La posición de las unidades de arrastre en un tren deberá cumplir con los requerimientos señalados en la Tabla 1 (Posición en el tren de carros transportando materiales peligrosos que porten carteles de riesgo).

5 | Tratamiento de residuos peligrosos

De acuerdo con el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, artículo 90, las actividades de tratamiento de residuos peligrosos se sujetarán a los criterios establecidos en la Ley, este Reglamento y las normas oficiales mexicanas que emita la Secretaría.

Los prestadores de servicios de tratamiento deberán monitorear los parámetros de sus procesos y registrarlos en la bitácora de operación que deberá estar disponible para consulta de la autoridad competente.

5.1 | Muestreo y caracterización de los residuos peligrosos

Los compuestos químicos pueden clasificarse como orgánicos (átomos de carbono) e inorgánicos (No contienen carbono e incluyen metales).

A continuación, se describen algunas características químicas importantes a determinar de un contaminante:

- » Estructura del contaminante
- » Toxicidad
- » Concentración
- » Solubilidad
- » Coeficiente de partición octanol/agua (K_{ow})
- » Polaridad y carga iónica
- » Difusión
- » Sorción

- » Volatilización
- » Densidad
- » Biodegradabilidad
- » Reacciones de oxidación-reducción

De acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005, la cual establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos:

- » Las muestras para determinaciones analíticas deben ser tomadas directamente a la salida del proceso o del área de almacenamiento en su caso, de conformidad con los procedimientos establecidos en la Norma Mexicana correspondiente y deberán ser representativas del volumen generado, considerando las variaciones en el proceso y, además, se debe establecer la cadena de custodia para las mismas.
- » La Secretaría reconocerá las determinaciones analíticas de la prueba CRIT que hayan sido muestreadas y analizadas por un laboratorio acreditado y aprobado conforme a las disposiciones legales aplicables.

En México, la normatividad para la manipulación de residuos peligrosos está basada en los lineamientos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos Americanos.

Las técnicas de muestreo dependen de la información recolectada respecto a la naturaleza de los residuos que se requieran analizar. Las técnicas de muestreo más comunes son:

1. Muestreo al azar simple
2. Muestreo al azar estratificado
3. Muestreo al azar sistemático
4. Muestreo autorizado

La toxicidad es la capacidad inherente de una sustancia para producir daño. Se define como una función del nivel de dosis o de la duración de

exposición. Los residuos que se consideran peligrosos deben ser caracterizados de forma adecuada.

5.2 | Residuos radiactivos. Generación y detección

Para poder hablar de los siguientes puntos, es necesario saber que existen varios tipos de radiactividad. Sin embargo, en estos apuntes hablaremos solamente de los tres tipos más importantes o presentes en el ecosistema: rayos alfa (α), radiación beta (β) y radiación gamma (γ).

Rayos alfa (α)

Son núcleos de helio (2 protones y 2 neutrones) que viajan a 1/10 de la velocidad de la luz. Debido a su masa, estos rayos interactúan fácilmente con los electrones y no pueden viajar más de 7 cm en el aire.

Son muy peligrosos en el organismo por inhalación o consumo, ya que atacan a los órganos internos desprovistos de epitelio protector. Los elementos con número atómico superior a 84 son típicos emisores de partículas α .

Radiación beta (β)

Está formada por corrientes de electrones con buena penetración (Es la forma en que, comúnmente, se presenta la contaminación radiactiva). Debido a que la masa del electrón es muy pequeña, no afecta el número atómico del elemento, pero se lleva una unidad de carga negativa. Pueden viajar en el aire entre 3 y 30 metros.

Radiación gamma (γ)

Se compone de ondas electromagnéticas de alta energía similares a las de los rayos X. Tienen una carga neutra, pueden viajar a grandes distancias y penetrar sin dificultad el cuerpo humano. La expulsión de una partícula α o β deja al núcleo con exceso de energía, la cual es liberada en forma de radiación.

Se puede definir como «desecho radiactivo» a cualquier material que contenga o esté contaminado con radionúclidos en concentraciones o niveles de radiactividad mayores a las señaladas por la dependencia que rige la norma, y para el cual no se prevé uso alguno.

5.2.1 | Generación

Los residuos radiactivos se producen en forma gaseosa, líquida o sólida, debido particularmente por las actividades relacionadas con el ciclo de combustible nuclear para la generación de energía. Sin embargo, los principales generadores son:

1. Las plantas de generación de energía eléctrica (carboeléctricas y nucleoeeléctricas)
2. Procesamientos de combustible nuclear
3. Aplicaciones médicas
4. Investigaciones

Los desechos se transforman a radiactivos porque los átomos presentes son inestables, emitiendo espontáneamente radiación ionizante hasta mantenerse estables de nuevo.

Para la reducción de riesgos y que estos se mantengan a niveles aceptables, se deben tomar en cuenta sus características y propiedades en la disposición final que tengan.

5.2.2 | Detección

De acuerdo con la NOM-008-NUCL-2011, Control de la contaminación radiactiva, existen varios métodos para la determinación de agentes contaminantes radiactivos:

- » Determinación removible directamente sobre la superficie.

- » Determinación removible y fija, directamente sobre la superficie.
- » Determinación de la contaminación radiactiva debida a emisores beta de baja energía.
- » Exploración de contaminación personal.

Tabla 5.1 Límites de residuos radiactivos

Radionuclidos	Contaminación removible (Bq/cm ²)	Contaminación total (fija+removible) (Bq/cm ²)
U-natural, 235U, 238U y sus productos de decaimiento asociados.	16.7×10^{-2}	83×10^{-2}
Transuránicos, 226Ra, 228Ra, 230Th, 228Th, 231Pa, 227Ac, 125I y 129I.	33×10^{-4}	83×10^{-3}
Th-natural, 232Th, 90Sr, 223Ra, 224Ra, 232U, 126I, 131I y 133I.	33×10^{-3}	16.7×10^{-2}
Emisiones beta-gamma, excepto los indicados en otros renglones de esta tabla.	16.7×10^{-2}	83×10^{-2}
Tritio y compuestos tritiados.	16.7×10^{-1}	No aplica

5.3 | Tecnologías de tratamiento físico

Los tratamientos físicos de residuos peligrosos son aquellos procesos que utilizan las propiedades físicas de la materia, no modifican los componentes de los residuos y solo separan o cambian la presentación del residuo;

también pueden usarse como complemento para tratamientos químicos o biológicos.

Muchas plantas que tratan aguas residuales o de proceso utilizan diversas operaciones de separación física en su secuencia de operaciones de tratamiento.

De acuerdo con la SEMARNAT, haciendo uso de la «Guía para la elaboración de la cédula de operación anual: tratamiento de residuos peligrosos», se tienen las tecnologías:

A. Flotación por aire

Es una operación física unitaria utilizada para separar partículas contenidas en una fase líquida mediante burbujas de gas, estas se adhieren a las partículas llevándolas con ellas hacia arriba. De esta forma, es posible separar partículas de mayor y menor densidad que el líquido, una vez en la superficie, la nata formada por burbujas y partículas se puede remover.

Se emplea para eliminar materia suspendida, aceites en emulsión y para concentrar residuos como lodos biológicos de tratamiento de agua, permite eliminar con mayor eficiencia y en menos espacio y tiempo las partículas pequeñas cuya sedimentación es muy lenta (los efluentes de este tratamiento pueden requerir de otros adicionales).

B. Centrifugación

Consiste en hacer girar sobre un eje al líquido a tratar para someterlo a una fuerza que hace que los elementos de mayor densidad se alejen del centro de giro, existen varios tipos de centrífugas como las de cilindro, de canasta o de disco. En el tratamiento de residuos se utiliza para separar líquidos de diferente densidad y para separar sólidos de líquidos, por ejemplo, separar mezclas de fluidos orgánicos e inorgánicos (en dos o más fases), concentrar lechadas y lodos. Inapropiada para alquitranes, residuos sólidos, polvos secos y gases, no es aplicable a fluidos con partículas muy pequeñas o de densidad muy baja.

C. Filtración

Consiste en hacer pasar un fluido (generalmente un líquido) a través de un medio que es capaz de retener las partículas suspendidas en él. Los sistemas de filtrado se clasifican según el sentido de flujo (ascendente, descendente, mixto), por el tipo de medio filtrante (de una capa o varias) y por la presión usada (gravedad, presión positiva o negativa). Para tratar residuos generalmente se tienen los siguientes tipos de filtrado:

- I. Filtro de prensa
- II. Filtro de prensa con cinturón
- III. Filtrado de medio granular
- IV. Filtrado de vacío

D. Microfiltración

Es otra técnica de filtración con membranas, con un tamaño de poros mayor que para la ultrafiltración, usándola es posible eliminar de una corriente líquida contaminantes como, partículas suspendidas y microorganismos (bacterias), dejando pasar macromoléculas (como las de compuestos orgánicos) y sales.

E. Ultrafiltración

La corriente para tratar (líquida) se conduce por un sistema de baja presión en donde una serie de membranas especiales van retirando de este múltiples contaminantes, es posible eliminar aceites emulsificados, partículas coloidales, proteínas otras y moléculas orgánicas relativamente grandes, sin embargo la corriente debe de tener un bajo contenido de sólidos suspendidos para no tapar el sistema.

F. Nanofiltración

Como la anterior, es una técnica de filtración con membranas cuyo tamaño de paso es todavía menor al observado en la ultrafiltración, permitiendo separar sales disueltas, metales pesados y compuestos orgánicos en general (moléculas grandes), la corriente a tratar debe de estar libres de sólidos suspendidos, es aplicada en procesos de

acondicionamiento de agua y en ocasiones para tratar residuos, que generalmente ya pasaron por otros tratamientos.

G. Sedimentación

Es la separación de partículas presentes en un líquido que son más densas que este mediante la acción de la gravedad, sirve para eliminar de una forma simple arenas, flóculos y otros sólidos para obtener un efluente clarificado y unos sólidos más manejable.

H. Cribado

Consiste en colocar una criba en el paso de una corriente (líquida) a tratar para separar grandes porciones de sólidos, la operación es simple y generalmente es una de las primeras etapas en el tratamiento de cualquier tipo de residuos (SEMARNAT, 2007).

I. Lavado con vapor.

Si se utiliza vapor en lugar de aire es posible aumentar la remoción de compuestos orgánicos volátiles y metales pesados (Fe, Cu, Al, Ni, Cr, As, Hg, Pb, Co, Cd, etc.), aunque solo corrientes con una concentración muy baja.

J. Destilación

Consiste en separar mezclas líquidos entre sí al aplicar calor. De esta forma los diferentes componentes se evaporan a temperaturas diferentes, mismos que se condensan posteriormente (para que sea posible, debe de haber una diferencia de en los puntos de ebullición). Existen varios tipos de destilación como la simple, la fraccionada, al vacío, por arrastre de vapor, destructiva con reacción química, entre otros. Para tratar residuos se utiliza sobre todo para mezclas de líquidos orgánicos que tengan una baja viscosidad y una diferencia clara de volatilidades. No es adecuada para lechadas, lodos, alquitranes o materiales poliméricos.

5.4 | Tecnologías de tratamiento fisicoquímico

De acuerdo con la SEMARNAT, haciendo uso de «Guía para la elaboración de la cédula de operación anual: tratamiento de residuos peligrosos», se tienen las tecnologías:

A. Coagulación y floculación

Se presentan juntos al momento de separar un soluto. La coagulación es el fenómeno mediante el cual las partículas de un soluto, que están suspendidas, constituyendo una mezcla coloidal, se desestabilizan, reduciendo las fuerzas electroquímicas que las mantienen separadas.

La floculación comprende la serie de fenómenos de transporte que ocurren en el seno del líquido para que las partículas hagan contacto y se aglomeren formando unidades más grandes, este proceso implica la formación de interacciones entre ellas a nivel energético para integrar una malla tridimensional y porosa hasta que tiene el tamaño suficiente para separarse del líquido.

B. Extracción

Es un procedimiento de separación de una sustancia que está que puede disolverse en dos disolventes o medios no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interface. La relación de las concentraciones de dicha sustancia en cada uno de los disolventes, a una temperatura determinada, es constante y se denomina coeficiente de reparto.

C. Adsorción con carbón activado

La adsorción es la propiedad de ciertas sustancias de retener en su superficie a otras moléculas, el carbón activado es especial de carbón que ha sido tratado para tener una gran área superficial en muy poco volumen, llegando a tener más de 2500 m²/g, se utiliza como material adsorbente, se puede utilizar para remover compuestos orgánicos

acuosos con peso molecular elevado, alto punto de ebullición, baja solubilidad en agua y baja polaridad y ionización. No es efectiva con metales y para efluentes con aceites y grasas.

D. Evaporación

Consiste en aplicar calor a un líquido que contenga contaminantes para cambiarlo de fase (convertirlo en vapor) y así concentrar los contaminantes contenidos en él; posteriormente, el líquido debe ser condensado para recuperarlo. Se utiliza en la recuperación de solventes orgánicos e inorgánicos con impurezas no volátiles, como aceites pesados, grasas no volátiles, pigmentos de pinturas, colorantes, residuos de resinas poliméricas. No es adecuada para alquitranes, líquidos que se degraden, sólidos, polvos secos ni gases y utiliza mucha energía.

E. Espesamiento de lodos

Consiste en reducir la cantidad de agua en los lodos; para ello, existen varias formas, por ejemplo, usar bandas entre prensas. Por lo general, se emplea en una gran variedad de plantas como una operación complementaria; algunos casos se pueden tomar como un pretratamiento de los residuos que los prepara para las operaciones posteriores.

F. Deshalogenación

Consiste en reducir el número de átomos de halógeno (F, Cl, Br, I) presentes en una molécula orgánica, esta técnica se puede aplicar a suelos (*ex situ*) y lodos parcialmente deshidratados, contaminados con dioxinas, bifenilos policlorados, pesticidas como el DDT y solventes clorados como el tetracloroetileno, entre muchos otros.

G. Oxidación con fluidos supercríticos

Se utilizan fluidos en condiciones de temperatura y presión superiores a las de su punto crítico para destruir residuos peligrosos. Generalmente, se usa agua (supercrítica) con O₂ disuelto a temperaturas entre 450 °C y 700 °C con presiones cercanas a los 25 MPa. En estas

condiciones, el agua se comporta como un fluido con una viscosidad, densidad, constante dieléctrica y tensión superficial muy bajas.

H. Precipitación

Para el tratamiento de residuos peligrosos, consiste en la separación de un contaminante, generalmente metales y otros contaminantes inorgánicos (como los fluoruros), de una corriente acuosa, mediante la formación de una fase sólida insoluble al adicionar diversas sustancias químicas que reaccionan con los contaminantes. El proceso se puede hacer en continuo o por lotes, los sólidos precipitados se retiran mediante operaciones físicas (sedimentación, filtración, etc.) (USEPA, 1989).

I. Intercambio iónico

Ciertos materiales de origen biológico contienen en su estructura grupos funcionales capaces de adsorber metales determinados de forma más selectiva y pueden tratar efluentes con concentraciones más bajas que las resinas de intercambio iónico artificiales. Dentro de este grupo de materiales están, entre otros, los siguientes:

1. Quitosán
2. Zeolitas
3. lignina
4. Arcillas
5. Materiales ricos en taninos
6. Cenizas volantes

5.5 | Tecnologías de tratamiento térmico

A. Incineración

El objetivo de la incineración de residuos biológico-infecciosos es reducir el riesgo asociado con estos, así como el volumen y masa que poseen para facilitar su disposición final. Esto se logra exponiéndolos a altas temperaturas durante un periodo de tiempo adecuado para

destruir los microorganismos peligrosos y quemar la porción combustible del residuo. La desventaja de la incineración es la generación de cenizas, las cuales tienen que ser tratadas o dispuestas adecuadamente, y la generación de contaminantes atmosféricos.

Para este proceso, se deberá cumplir con las siguientes características específicas:

- Contenido de humedad
- Capacidad calorífica
- Contenido de sales orgánicas
- Contenido de sulfuro y halógenos

B. Pirólisis

Es un proceso fisicoquímico mediante el cual el material orgánico se descompone por la acción del calor, en una atmósfera deficiente de oxígeno y se transforma en una mezcla líquida de hidrocarburos, gases combustibles, residuos secos de carbón y agua (SEDESOL, 2001).

C. Plasma térmico

Actualmente, existen varias tecnologías en las que se aplica el plasma. Básicamente, dichas tecnologías consisten en utilizar un gas al cual se le ha conferido una gran cantidad tal de energía que pierde sus electrones, formando iones con carga. La forma tradicional de hacerlo es pasar una corriente de gas a baja presión por un arco eléctrico; cuando las moléculas de dicho gas regresan a su estado de relajación, liberan la energía que tienen en forma de calor, alcanzando temperaturas de hasta 20 000 °C en el punto de generación y disminuyendo en el eje axial del plasma.

D. Gasificación

Es un proceso en el cual un sustrato carbonoso se descompone para generar gases que son combustibles; algunos sustratos utilizados son residuos peligrosos, como el residuo de fondo de la torre atmosférica de destilación de petróleo, bifenilos policlorados, residuos sólidos

urbanos, lodos de tratamientos biológicos, aceites hidráulicos y lubricantes gastados, entre otros.

5.6 | Tecnologías de tratamiento biológico

El tratamiento biológico consiste en interacciones microbianas que ayudan a la reducción o eliminación de residuos tóxicos biodegradables. Se emplea para la estabilización de dichos residuos, principalmente en zonas acuosas, suelos contaminados y rellenos sanitarios. Es importante señalar que los microorganismos que intervienen en este proceso son sumamente sensibles a las sustancias tóxicas, por lo que se seleccionan y aclimatan algunas cepas para la degradación de ciertas sustancias.

De acuerdo con la SEMARNAT, usando la «Guía para la elaboración de la cédula de operación anual: Tratamiento de residuos peligrosos», se tienen las siguientes tecnologías:

A. Lodos activados

El proceso original se desarrolló en Inglaterra en 1914 por Andern y Locket, actualmente existen muchas variantes del original pero en esencia consta de un reactor en el que se tiene un cultivo de bacterias aerobias (y otros microorganismos) en suspensión, el ambiente rico en oxígeno se consigue mediante la «inyección» de este gas mediante difusores y, por lo general, cuenta con un sistema de agitación o mezclado para garantizar el transporte de los nutrientes y productos en el seno del líquido.

B. Lagunas aerobias

Estos sistemas de tratamiento son muy similares a los de lodos activados, solo que en lugar de un reactor construido se utiliza un depósito o recipiente excavado en el terreno. Tienen un volumen considerablemente mayor, por lo tanto, el tiempo de residencia (hidráulico y celular si es el caso) también es mayor, seguidas de tanques o estanques de sedimentación, pudiendo tener recirculación de los lodos o

no; además, actualmente hay aquellas que cuentan con difusores, aireadores y/o agitadores para asegurar que existan condiciones aerobias en toda su extensión.

C. Digestión

- 01. Aerobia.** Es una forma de tratar los lodos provenientes de tratamientos biológicos, que constituyen en sí un residuo peligroso; actualmente, se usan reactores aerobios con inyección de oxígeno puro o con aire.
- 02. Anaerobia.** Es generalmente utilizada para el tratamiento de lodos; en estos reactores, se da la degradación de la biomasa y materia orgánica presente en ausencia de oxígeno diatómico, y dada su efectividad, son también utilizados para tratar ciertos residuos industriales peligrosos.

D. Filtros precoladores

Consiste en un estanque o laguna circular con un lecho formado por un medio permeable que sirve de medio de sostén a los microorganismos que degradan el sustrato (contaminantes en este caso), estos forman una película fina que al tacto se percibe pegajosa y viscosa. Usualmente, se emplean piedras de entre 2.5 a 10 cm de diámetro (no necesariamente son esferas); la profundidad del lecho, por lo general, está entre 0.9 y 2.4 m, aunque también existen piezas «plásticas» que posibilitan lechos de hasta 12 m de profundidad. La corriente para tratar se rocía por encima del lecho mediante un distribuidor que gira, en la parte inferior, el filtro cuenta con un sistema de drenaje para retirar el efluente.

E. Filtros de pretratamiento

Esencialmente son de la misma naturaleza que los filtros percoladores, solo que tienen una carga hidráulica mayor y sirven para reducir la carga del sustrato (materia orgánica) a tratar para hacerla más accesible a tratamientos posteriores (biológicos o de otro tipo, según se necesite). Los consorcios microbiológicos en principio son parecidos, aunque cambian debido a las condiciones de operación.

F. Biodiscos

Estos sistemas son reactores de contacto rotativos propiamente, que son constituidos por una serie de discos de poliestireno o PVC colocados sobre un eje, puestos uno cerca del otro, estos giran lentamente, sumergiendo una parte de ellos en el agua a tratar.

G. Compostaje

Es un tratamiento aerobio, aunque en ciertos casos y circunstancias también participan organismos anaerobios, que busca tratar residuos industriales con gran cantidad de sólidos de manejo especial que, de no manejarse adecuadamente, pueden llegar a ser peligrosos debido a que los altos volúmenes y la alta carga de materia orgánica pueden propiciar la generación de agentes biológicos dañinos para la salud y el ecosistema.

H. Estanques anaerobios

Son parecidos a los aerobios, solo que por lo general más profundos, ya que no se necesita oxígeno y en ocasiones son cerrados o aislados para conservar la energía. Se utilizan para tratar efluentes industriales con una concentración de sólidos mucho mayor que permite la sedimentación de estos. Con frecuencia se adaptan a ellos sistemas de recuperación de metano y se logra una alta eficiencia de remoción de materia orgánica.

I. Tratamiento con hongos y bacterias

Estos tratamientos son parecidos a los descritos anteriormente en cuanto a los equipos y medios para darlos, sin embargo, la biomasa utilizada principalmente son hongos de diversos tipos, dadas las capacidades de estos organismos de producir enzimas y degradar sustratos, también se utilizan en reactores de lecho fijo compuesto de fibras naturales o con trozos de polietileno, poliuretano, vidrio, perlas de sílice entre otros, o en torres empacadas con empaques de polietileno, poliuretano o cerámicos.

J. Biosorción

Una de las técnicas desarrolladas recientemente para remover de un efluente industrial metales pesados consiste en colocar hongos y/o bacterias en un soporte poroso para que los iones metálicos queden atrapados en la superficie del soporte y en la superficie de la biomasa, un soporte utilizado para esto es el carbón activado, en su superficie interior, que es muy extensa se inmoviliza una capa de hongos y/o bacterias, como *Aspergillus terreus*, *Escheriquia coli*, *Arthobacter viscosus*, *Saccharomyces cervisiae*, *P. chrysosporium*, entre otras, formando filtros o piezas de empaque para reactores de tratamiento biológico.

5.7. | Tecnologías de solidificación estabilización

En este tipo de procesos, el suelo contaminado se mezcla con aditivos para inmovilizar los contaminantes, disminuyendo o eliminando la lixiviación.

La **solidificación** se refiere a las técnicas que encapsula al contaminante, formando un material sólido, y no necesariamente involucra una interacción química entre el contaminante y los aditivos solidificantes.

La **estabilización** limita la solubilidad o movilidad del contaminante, generalmente por la adición de materiales, como el cemento, cal o polímeros que aseguren que los constituyentes peligrosos se mantengan en su forma menos móvil o tóxica. Esta tecnología puede realizarse tanto *in situ* como *ex situ*. Este proceso es usualmente utilizado para tratar contaminantes inorgánicos, como suelos y lodos contaminados con metales.

Los COV tienden a volatilizarse durante el mezclado del suelo con los agentes de solidificación/estabilización, y generalmente estos no son inmovilizados, la profundidad a la que se encuentre el contaminante limita algunos procesos. Son tecnologías de corto a mediano plazo. La solidificación estabilización puede demorar entre semanas y meses, de acuerdo con las características del sitio, por ejemplo, el tipo y calidad de contaminantes, tamaño y profundidad del sitio, tipo de suelo, condiciones geológicas y si la

mezcla fue realizada en el sitio o en un tanque mezclador. No es recomendable para sitios que superen un 25% de metales como el plomo, cadmio, mercurio, arsénico y algunos COV.

Este es un método rápido y de bajo costo, para proteger la salud humana y medio que los rodea, a pesar de eso existe el riesgo que el material de tratamiento no funcione completamente y el contaminante no se contenga, lo que es importante el constante monitoreo del sitio.

5.8 | Disposición segura de residuos peligrosos

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGP-GIR) es la entidad que regula el manejo y disposición de este tipo de residuos, clasificándolos de la siguiente manera (SEMARNAT, 2017):

- » Por reciclaje y reúso previo a su tratamiento y disposición final
- » Por medio del tratamiento que reduce su peligrosidad
- » Por su incineración bajo condiciones controladas
- » Por su confinamiento en sitios adecuados para ello

La dispersión final y segura de los residuos peligrosos en México se divide en tres: rellenos sanitarios, codisposición controlada y confinamiento controlado.

Rellenos sanitarios: Son fosas con revestimiento donde se colocan los desechos, generalmente estos rellenos cuentan con un apartado para residuos sólidos urbanos y otro para residuos peligrosos.

Para México, la normativa oficial vigente hasta enero 2019 es la siguiente:

NOM-083-ECOL-1994. Establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales.

NOM-084-ECOL-1994. Establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

Codisposición controlada: Es la disposición consiente y ordenada de la combinación de residuos peligrosos con residuos domésticos, para aprovechar las propiedades de biodegradación de los domésticos y así poder disminuir el impacto de los residuos peligrosos sobre el medio ambiente, degradando contaminantes orgánicos y reducir los inorgánicos, es importante tener en cuenta la compatibilidad entre ambos desechos.

Confinamiento controlado: Garantiza el aislamiento definitivo de los residuos peligrosos para su disposición final. Para la ubicación, características diseño y forma de las celdas de aislamiento, existen las siguientes normas para el apoyo del confinamiento controlado:

NOM-055-ECOL-2003. Establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinaran para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados.

NOM-056-ECOL-1993. Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

NOM-057-ECOL-1993. Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

NOM-058-ECOL-1993. Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

Las condiciones mínimas que debe cumplir un sitio para el confinamiento deben ser las siguientes:

Aspectos generales

1. Los sitios de confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados deberán contar con una franja de cien metros (100 m) medida a partir del límite de las celdas de confinamiento, la cual debe estar comprendida dentro del perímetro del predio y será dispuesta como área de amortiguamiento.
2. Los sitios de confinamiento no se deben ubicar dentro de áreas naturales protegidas.
3. Para la ubicación de los sitios de confinamiento respecto de obras civiles, se deben observar las distancias mínimas siguientes, medidas a partir del punto más cercano del perímetro del sitio de confinamiento, incluyendo la zona de amortiguamiento:
 - A cien metros (100 m) del punto más cercano al sitio de confinamiento del derecho de vía de autopistas y caminos primarios (federales, estatales y municipales).
 - A cien metros (100 m) del punto más cercano al sitio de confinamiento del derecho de vías principales de ferrocarril.
 - A cien metros (100 m) del punto más cercano al sitio de confinamiento del derecho de vía de redes de conducción de líneas de energía eléctrica, excepto las propias de la instalación de confinamiento.
 - A quinientos metros (500 m) del punto más cercano al sitio de confinamiento del derecho de vía de gasoductos, oleoductos y poliductos.
 - A cien metros (100 m) del punto más cercano al sitio de confinamiento del derecho de vía de redes de comunicación (teléfono, telégrafo, etc.), excepto las propias de la instalación de confinamiento.
 - A quinientos metros (500 m) del punto más cercano al sitio de confinamiento del derecho de vía de acueductos y canales.

4. La distancia mínima de las instalaciones para el confinamiento de residuos peligrosos, con respecto de los centros de población, será la que se establezca en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y en el Reglamento correspondiente.
5. Los sitios de confinamiento respecto a las siguientes instalaciones: aeropuertos, estaciones de carga marítima, centrales de transporte terrestre, hospitales, reclusorios, centros de readaptación social, escuelas, templos, pozos o áreas de abastecimiento de agua o edificaciones declaradas como patrimonio histórico y/o cultural, se deberá ubicar a una distancia mínima de mil metros (1000 m) medidos desde el punto más cercano del perímetro del sitio de confinamiento, incluyendo sus zonas de amortiguamiento, al punto más cercano de la instalación.
6. Los sitios de confinamiento respecto a instalaciones donde se realicen actividades de alto riesgo se deberán ubicar a una distancia mínima de dos mil metros (2000 m) medidos desde el punto más cercano del perímetro del sitio de confinamiento, incluyendo sus zonas de amortiguamiento, al punto más cercano de la instalación.

Aspectos climatológicos e hidrológicos

7. Los sitios se deben localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de cien (100) años o mayores.
8. Los sitios no deben ubicarse en zonas de pantanos, marismas y humedales.
9. La distancia de ubicación de los sitios con respecto a cuerpos de aguas superficiales de caudal continuo debe ser de mil metros (1000 m) como mínimo, medido desde el punto más cercano del perímetro del sitio de confinamiento incluyendo sus zonas de amortiguamiento, al punto más cercano del nivel de agua máxima extraordinaria, para evitar la afectación a dichos cuerpos de agua.

Aspectos geológicos

10. Si los sitios donde se pretenda construir instalaciones, como las que precisa esta Norma, se encuentren próximos a una falla geológica, se debe demostrar con los estudios cuantitativos, que los sitios son seguros desde el punto de vista geológico, hidrogeológico y de estabilidad de las obras de ingeniería.
11. Se deben localizar fuera de zonas donde los taludes sean inestables, como puede ser el caso de descompresión de laderas y deslizamientos del terreno por movimientos estáticos y dinámicos.
12. Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas geológicas o fracturas del terreno y/o estructuras.

Aspectos hidrogeológicos

13. En caso de que el sitio esté sobre material fracturado o granular, se debe garantizar que de forma natural exista un estrato o unidad litológica de espesor de 10 m con un coeficiente de permeabilidad de $k = 1 \times 10^{-9}$ m/seg (o equivalente), en caso de que no se cumpla de manera natural podrán usarse medidas de ingeniería o condiciones equivalentes.

5.9 | Tecnologías para recuperación de sustancias tóxicas en suelos contaminados

En México, existen muchos y diversos tipos de suelo, así como existen diversos tipos de contaminantes (orgánicos e inorgánicos) por parte de la industria; principalmente, la minera y petrolera, además de disposiciones clandestinas y accidentes/derrames de residuos peligrosos.

Por esto, siguiendo las recomendaciones del libro *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*, antes de considerar el uso de cualquier tipo de tecnología, es necesario obtener la información detallada del tipo de suelo y de su contaminante. De acuerdo con Sellers (1999), existen cuatro consideraciones generales:

1. Tipo de contaminante: Propiedades físicas y químicas. Esto para determinar su toxicidad y fijar criterios para los límites de limpieza.
2. Localización y características del sitio: Uso de suelo.
3. Características de los suelos, sedimentos y cuerpos de agua. Esto para determinar las particularidades del sistema de tratamiento.
4. Además de dichos factores, también depende de la disponibilidad, fiabilidad (demostrada o proyectada), estado de desarrollo (laboratorios, escala piloto o gran escala) y de su costo.

De acuerdo con la SEMARNAT, algunos métodos para la eliminación o destrucción de los contaminantes son los siguientes:

I. Aireación de suelos

Consiste en sacar mecánicamente el suelo y exponerlo al aire libre en capas finas para aumentar la superficie de contacto, para que los contaminantes orgánicos volátiles salgan como benceno, tolueno, tetracloruro de carbono, cloruro de metileno, también se puede hacer con lodos, es un método simple y los contaminantes pasan al aire, muchas veces sin poder ser tratados adecuadamente.

II. Lavado o enjuague del suelo

Se basa en la inundación de suelos con una solución que arrastre los contaminantes hasta el sitio de extracción. Para esta operación es común mezclar solventes o soluciones ácidas para aumentar la extracción, para este último caso (soluciones ácidas) da buenos resultados con metales pesados (Aguilera, 1989). Esta técnica no es adecuada para suelos secos o muy ricos en materia orgánica.

III. Tratamiento del efluente

Una vez en la superficie, los gases contaminantes se tratan adecuadamente, dado el tipo de contaminantes presentes es común utilizar la adsorción con carbón activado, oxidación catalítica, oxidación ultravioleta o condensación.

IV. Extracción

Se instalan bombas de vacío o pozos de inyección que estimulan la circulación de aire, mismo que favorece la biodegradación de las sustancias orgánicas contaminantes, además de la circulación vertical ascendente de vapores (Seoáñez, 1999). Comúnmente se aplica para profundidades de 1.5 a 90 metros (SEMARNAT, 2007).

Referencias

- Comisión Nacional de Ecología. (1990). *Informe de la situación en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente*. México.
- Elías, X., García, J., López, M. y Soliva, M. (2012). Tecnologías aplicables al tratamiento de residuos. En Elías, X. et al. *Reciclaje de residuos industriales*. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=RCPazhK7BkcC&oi=fnd&pg=PA93&dq=tecnolog%C3%ADas+de+tratamiento+fisico+residuos+peligrosos&ots=BC-UkLGQqI&sig=M9CYyShLdP8ScwKx6WYBKAD7HJI#v=onepage&q&f=false>
- Grupo México derrama 3,000 litros de ácido sulfúrico en el Mar de Cortés. (2019, noviembre 7). *El Economista*. Recuperado julio 30, 2020 de <https://www.economista.com.mx/empresas/Grupo-Mexico-derrama-3000-litros-de-acido-sulfurico-en-el-Mar-de-Cortes-20190711-0050.html>
- Instituto Nacional de Perinatología Isidro Espinoza de los Reyes (INPer). (2011). *Manual para el manejo de los residuos peligrosos de tipo químico (CRETI)*. Coordinación de Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos, Secretaría de Salud.
- Jiménez, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8MVxlyJGokIC&oi=fnd&pg=PA29&dq=deteccion+de+residuos+radiactivos+mexico&ots=IUEG-NMyBC&sig=qUBPdKmdFSa-aA5eorbJr8ofOAw#v=onepage&q&f=false>

- Martínez, J. (2005). *Guía para gestión integral de residuos peligrosos: Fundamentos (Tomo I)*. Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay.
- Mendoza, J. (2013). Análisis de los accidentes en el transporte de materiales y residuos peligrosos en México y su impacto ambiental. *Instituto Mexicano del Transporte: Publicación bimestral de divulgación externa. Notas, núm. 145, noviembre-diciembre, artículo 1*. Recuperado de <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=384&IdBoletin=145>
- Morales-Aguirre, J. (2006, julio-agosto). Frecuencia y mecanismos de exposición accidental a productos biológicos potencialmente infecciosos en personal de salud. *Boletín Médico Hospital Infantil de México, Vol. 63, núm. 4, 247-54*. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-11462006000400005
- Olivos, M., Ávila, G. y Arana, B. (2008). Actitudes de estudiantes de enfermería mexicanos al manejar residuos peligrosos biológicos infecciosos. *Escola Anna Nery Revista de Enfermagem set; 12(3) 479-84*. Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/ean/v12n3/v12n3a13>
- PROFEPA (2018, junio 7). Atiende PROFEPA emergencia por incendio de Tracto camión con residuos peligrosos. Gobierno de México. Recuperado julio 30, 2020 en <https://www.gob.mx/profepa/prensa/atiende-profepa-emergencia-por-incendio-de-tractocamion-con-residuos-peligrosos>
- SEMARNAT. (s. f.). Guía para la elaboración de la cédula de operación anual Tratamiento de Residuos Peligrosos. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/retc/guias/g_trat.pdf
- Toscana, A. y Hernández, P. (2017, agosto). Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea. *Investigaciones Geográficas, núm. 93, 1-14*. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112017000200009#:~:text=En%20agosto%20de%202014%2C%20en,de%20la%20cuenca%20del%20r%C3%ADo.

Normas aplicables a los residuos peligrosos

1. **NOM-004-SEMARNAT-2002:** Protección ambiental, lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
2. **NOM-052-SEMARNAT-2005:** Establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
3. **NOM-053-SEMARNAT-1993:** Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
4. **NOM-054-SEMARNAT-1993:** Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993.
5. **NOM-055-SEMARNAT-2003:** Establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados.
6. **NOM-056-SEMARNAT-1993:** Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
7. **NOM-057-SEMARNAT-1993:** Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.
8. **NOM-058-SEMARNAT-1993:** Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
9. **NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002:** Protección ambiental, salud ambiental y residuos peligrosos biológico infecciosos. Clasificación y especificaciones de manejo.

10. **NOM-133-SEMARNAT-2015:** Protección ambiental bifenilos policlorados (BPCS). Especificaciones de manejo.
11. **PROY-NOM-160-SEMARNAT-2011:** Establece los elementos y procedimientos para formular los planes de manejo de residuos peligrosos.
12. **NOM-082-SEMARNAT-SSA1-2015:** establece los lineamientos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos, RPBI.
13. **NOM-018-STPS-2015:** Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.



Apuntes de residuos peligrosos

se publicó digitalmente en el repositorio de la Facultad de Ingeniería en junio de 2022. Primera edición electrónica provisional de un ejemplar (3 MB) en formato PDF.

El cuidado de la edición y diseño estuvieron a cargo de la Unidad de Apoyo Editorial de la Facultad de Ingeniería. Las familias tipográficas utilizadas son Bree y Tisa Pro con sus respectivas variantes.