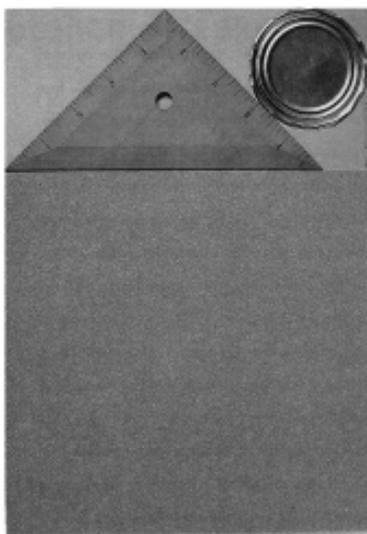


El universo de las sustancias químicas peligrosas y su regulación para un manejo adecuado

MARIO YARTO, IRINA IZE Y
ARTURO GAVILÁN



INTRODUCCIÓN

Las sustancias químicas se encuentran por doquier en el planeta. Todos los seres vivos están constituidos por ellas y es difícil concebir alguna actividad en la sociedad moderna en la cual no intervengan, tanto en el hogar como en los lugares de trabajo e incluso en las actividades de recreación. De allí que se considere que numerosas sustancias son o han sido la base del progreso y su aprovechamiento, en una

gran diversidad de procesos productivos, es identificado como un factor que genera negocios, ingresos y empleos (Cortinas 2000b). Sus efectos adversos, que pueden llegar a derivarse del manejo de las sustancias químicas peligrosas comprenden, entre otros:

- Contaminación y deterioro de la calidad del agua, aire, suelo y alimentos.

- Intoxicaciones y enfermedades que ocurren tanto en humanos como en la biota.
- Daños a los materiales que entran en contacto con ellas.
- Accidentes que involucran explosiones, incendios fugas o derrames.

Dada la gama de efectos adversos potenciales, algunos países, tales como los Estados Unidos de América y diversos países Europeos han decidido implementar mecanismos de control químico que incluyen tanto aspectos de observancia obligatoria como medidas voluntarias.

El desarrollo de la regulación sobre el manejo de sustancias químicas se encuentra asociado al desarrollo de la industria farmacéutica; en 1930 se inicia la llamada “revolución terapéutica” con la introducción de las *sulfamidas* como sustancias quimioterapéuticas para el tratamiento de varias enfermedades infecciosas, lo que conllevó al desarrollo de la *penicilina* y otros antibióticos en la década de los años cuarenta. En 1937 se descubrió que el DDT tenía buenos resultados en su uso como insecticida en las campañas sanitarias, y se introdujo el uso de esta sustancia en la agricultura, incrementándose así el rendimiento de las cosechas.

El descubrimiento de nuevos productos farmacéuticos y plaguicidas marcan la “era de las sustancias químicas”, y en casi todos los sectores de la sociedad los productos químicos parecen brindar bienestar y progreso.

La Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO, Food and Agriculture Organization) rápidamente se interesó por los efectos inherentes a los plaguicidas tanto para los trabajadores agrícolas como para la población en general por el consumo de los productos en los cuales se utilizaron estos plaguicidas, así como por los residuos resultantes de los productos agrícolas; también la OMT (International Labour Organization) comen-

zó a implementar iniciativas para el etiquetado de los productos y la protección a los trabajadores, sin embargo todos los esfuerzos fueron bastante incipientes hasta la década de los sesenta.

Dos eventos cambiaron rápidamente la visión sobre las sustancias químicas; uno de ellos fueron las anomalías congénitas en recién nacidos ocasionadas por el consumo del fármaco *talidomida* durante los primeros meses del embarazo, y el otro fue la publicación del libro “*La Primavera Silenciosa*” de Rachel Carson, el cual evidenciaba los efectos deletéreos de los plaguicidas y otras sustancias químicas sobre la fauna silvestre

Estos eventos movilizaron rápidamente a la comunidad científica internacional para alentar la cooperación y el establecimiento de regulaciones sobre el manejo de sustancias químicas que detuvieran posibles eventos catastróficos. Además, se hizo necesaria la aplicación de estudios de investigación para comprobar los efectos toxicológicos así como para determinar alternativas viables.

GENERALIDADES SOBRE LAS SUSTANCIAS PELIGROSAS

SUSTANCIA PELIGROSA

Las sustancias peligrosas son elementos, compuestos, mezclas, soluciones y sustancias, las cuales al ser liberadas al ambiente ocasionan peligros sustanciales a la salud pública y al ambiente. La peligrosidad de las sustancias químicas constituye una propiedad inherente o intrínseca que las puede hacer corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o inflamables (Meyer 1999).

EXPOSICIÓN

Esta es la cantidad disponible de un agente para su absorción por cierto organismo. La exposición depende de varios factores, entre los cuales se encuentran:

- La cantidad de la sustancia que entra en contacto con los posibles receptores o de la dosis que alcanza dentro de ellos.
- El tiempo que dure este contacto (Cortinas 2000).
- La frecuencia con la que se repita, enfoque de multimedios.

El enfoque de multimedios para el control de la liberación al medio ambiente de sustancias peligrosas, consiste en la ruta que seguirán estas sustancias cuando sean liberadas en medios diferentes (aire, agua o suelo), y bajo diferentes condiciones ambientales (época del año, humedad, etc.).

RIESGO

La exposición involuntaria a un peligro, como lo es por ejemplo, la exposición a sustancias tóxicas presentes en el medio ambiente, en el aire que se respira o en el agua y alimentos ingeridos, pueden causar un riesgo para la salud de los seres humanos. Los efectos negativos de una exposición de este tipo dependerán de la toxicidad de la sustancia, de la dosis, y del tiempo y frecuencia de la exposición.

En el campo de la salud y del medio ambiente, el riesgo se identifica como la probabilidad de que un individuo o una población presenten una mayor incidencia de efectos adversos por exposición a un peligro (USEPA 2001). El riesgo se expresa a menudo en términos cuantitativos de probabilidad: por ejemplo, el número de muertes adicionales por cáncer a lo largo de una vida en una población de un millón de individuos expuestos.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS SUSTANCIAS

Algunas de las propiedades físicas y químicas de las sustancias pueden favorecer su movilización desde las fuentes que las generan hacia los posibles receptores, así como otras que influyen en la posibilidad

de que puedan ingresar al organismo humano o a los organismos acuáticos y terrestres (Cortinas 2000b).

Entre las propiedades que inciden en la peligrosidad de las sustancias químicas resaltan aquellas que favorecen su movilización en el aire, como, por ejemplo, su presión de vapor que determina su volatilidad; su solubilidad en agua, que influye en su infiltración en el suelo hacia los mantos freáticos; su coeficiente de reparto octanol/agua, que permite conocer su capacidad de penetrar a través de las membranas biológicas y de acumularse en el tejido adiposo; así como su persistencia, que indica cuál es la vida media de las sustancias en el ambiente conservando sus propiedades tóxicas (Cortinas 2000b).

CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD

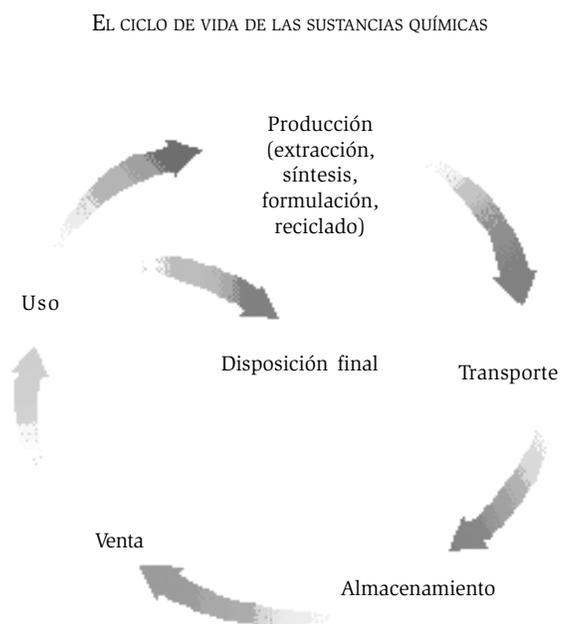
Para determinar las características de peligrosidad de las sustancias químicas y residuos se estableció el código CRETIB, el cual incluye las propiedades de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y características biológico-infecciosas de las sustancias (NOM-052-ECOL-93).

LAS SUSTANCIAS PELIGROSAS Y EL AMBIENTE

El manejo ambientalmente adecuado de las sustancias químicas peligrosas debe estar basada en cuatro premisas básicas, según Cortinas (2000b):

- La determinación de su peligrosidad y de la relación entre la exposición y sus efectos.
- La evaluación o caracterización de la magnitud de sus riesgos ambientales y sanitarios, tanto derivados de su liberación súbita como continua o intermitente.
- La administración o manejo de los riesgos para prevenirlos o reducirlos.
- La comunicación de los riesgos.

La liberación al ambiente de las sustancias peligrosas, así como la exposición a ellas de seres humanos o de organismos de la biota acuática y terrestre, puede ocurrir en cualquiera de las fases de su ciclo de vida, tanto a partir de emisiones al aire, como de descargas al agua o la ocurrencia de fugas y derrames, dado lo cual su control debe darse con un enfoque de ciclo de vida y multimedios (Cortinas 2000b).



Fuente: Cortinas 2000a.

Para tener una idea de la magnitud del universo de las sustancias químicas y definir criterios para enfocar la atención a las más relevantes para la sociedad desde la perspectiva de la prevención y control de riesgos, conviene señalar que se han identificado alrededor de 12 millones de sustancias en el planeta, encontrándose en el comercio mundial poco más de cien mil, de las cuales menos de tres mil se producen en volúmenes superiores a una tonelada anual en más de un país, sin embargo éstas repre-

sentan alrededor de 90% del total que se comercian. A pesar de que se han regulado alrededor de ocho mil con base en alguna propiedad que las hacen peligrosas, no se han realizado estudios sistemáticos de su peligrosidad para la salud humana y los ecosistemas sino para un número limitado de ellas no mayor a mil, y evaluado los riesgos de un número todavía más pequeño. Asimismo, aun cuando la Organización de las Naciones Unidas ha elaborado una lista de cerca de 600 sustancias que han sido prohibidas, severamente restringidas, no autorizadas por los gobiernos o retiradas del comercio, únicamente unas 15 prohibidas o restringidas son objeto de control internacional de exportaciones e importaciones, a través del Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (Cortinas 2000b).

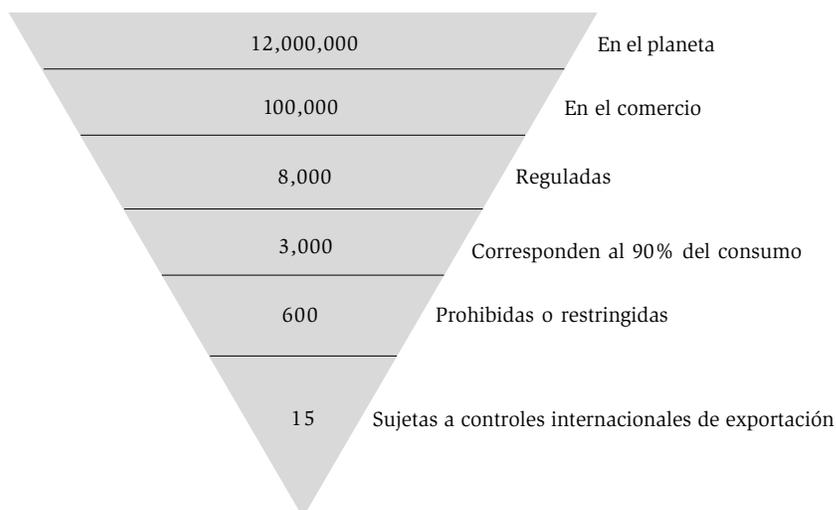
Basándose en la peligrosidad de las sustancias químicas se pueden establecer los siguientes grupos de sustancias.

Materiales inflamables

Existen gases y líquidos inflamables de uso común en nuestra vida diaria. Los elementos necesarios para mantener la combustión son: un sustrato (gases o vapores de un material inflamable), oxígeno y una fuente de ignición. Los materiales inflamables pueden ser de muy diversos tipos, pero generalmente son compuestos orgánicos, por ejemplo: metano, propano, butano, etc. (Meyer 1999).

Materiales corrosivos

La corrosión es un proceso mediante el cual los metales y minerales se convierten en subproductos indeseables al entrar en contacto con sustancias que destruyen las características químicas de éstos. Entre estas se encuentran los ácidos y las bases, los cuales son sustancias que liberan iones hidrógeno y iones hidróxido (Meyer 1999).



Fuente: Cortinas 2000b.

Sustancias reactivas al agua

Existen sustancias, como los metales alcalinos u otros metales combustibles, hidruros metálicos y compuestos de aluminio, que reaccionan con el agua para generar sustancias tóxicas o corrosivas o productos inflamables. Su conocimiento es muy importante para la extinción de incendios (Meyer 1999).

Sustancias tóxicas

Existen sustancias, las cuales cuando se absorben en cantidades relativamente pequeñas pueden causar enfermedades, lesiones o la muerte, por lo cual se consideran como tóxicas. Entre éstas se encuentran el monóxido de carbono, el ácido cianhídrico, el dióxido de azufre, los plaguicidas, los metales pesados, etc. Su toxicidad se mide mediante la DL_{50} (Dosis Letal 50) que es la dosis a la cual se presentó la muerte de la mitad de los especímenes de laboratorio en los que se probó la sustancia (Meyer 1999).

Oxidantes

Las sustancias oxidantes participan en reacciones de óxido-reducción, las cuales generalmente involucran una liberación de energía. Los agentes oxidantes mantienen los procesos de combustión de otros materiales. Entre éstos se encuentran: el oxígeno, el cloro, el flúor, el fósforo, etc. (Meyer 1999).

Compuestos orgánicos

Los compuestos orgánicos están integrados por moléculas con uno o más átomos de carbono. En la mayoría de los casos, los átomos de carbono comparten electrones con átomos no metálicos como hidrógeno, cloro, oxígeno y azufre. Los compuestos orgánicos se encuentran presentes en combustibles, solventes, plásticos, resinas, fibras, barnices, aerosoles, y explosivos (Meyer 1999).



Materiales poliméricos

Los polímeros son sustancias que se caracterizan por el tamaño de sus moléculas. Cada molécula de un polímero generalmente se compone de una cierta cantidad de pequeñas unidades conocidas como monómeros. Los polímeros se clasifican de acuerdo con sus usos. Generalmente, los polímeros son relacionados con los plásticos, pero éstos sólo forman uno de los diversos tipos de polímeros. Entre los principales tipos de polímeros se encuentran los plásticos, los elastómeros, y las fibras (Meyer 1999).

Materiales explosivos

Las sustancias explosivas son aquellas que pueden estallar como resultado de la aplicación de la fricción, de un impacto mecánico o del calor. Cuando explotan estos materiales, se lleva a cabo una transformación química generando gases y vapores, junto

con una gran cantidad de energía, la cual se libera en forma de calor y ondas de sobrepresión (Meyer 1999).

Materiales radiactivos

El núcleo de todos los átomos tiene el mismo número de protones, pero puede tener diferente número de neutrones. A este átomo con diferente número de neutrones se le conoce como isótopo. Muchos isótopos son estables, pero existen algunos núcleos de isótopos que están sujetos a transformaciones espontáneas o transmutaciones; entonces se dice que este núcleo decae o se desintegra, lo cual se conoce como radioactividad. Cuando los isótopos cambian, generalmente emiten una partícula, y con menor frecuencia pueden absorber un electrón. Estos dos procesos son acompañados de una emisión simultánea de energía (radiaciones tipo: α , β , γ). Entre los materiales radiactivos se encuentran compuestos de alto peso molecular como son: uranio, plutonio, radón, actinio, torio, francio, radio, etc. (Meyer 1999).

Plaguicidas

El término plaguicida se utiliza para denotar a una sustancia que ha sido específicamente diseñada para destruir o controlar insectos, hongos, roedores, plantas, y otro tipo de plagas. Cabe señalar que a pesar de que no fueron diseñados para esto, algunos pueden dañar al organismo de los seres humanos. Entre los plaguicidas más dañinos para la salud humana y el medio ambiente se encuentran el DDT, el clordano, el toxafeno, el mirex, el lindano, etc. (Meyer 1999).

Compuestos orgánicos persistentes

Como se establece en la Convención de Estocolmo, los Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) son sustancias químicas que permanecen intactas en el

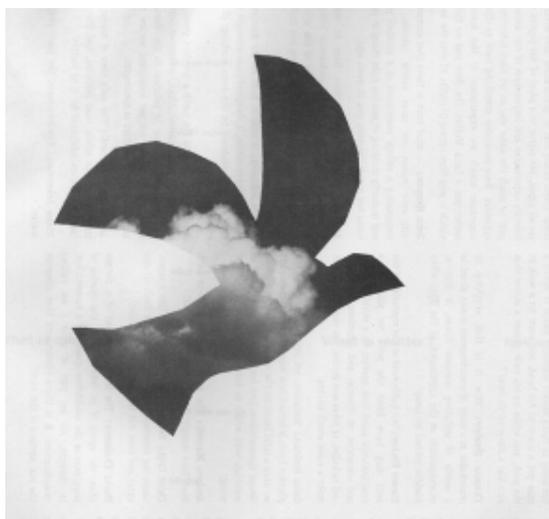
ambiente por largos periodos de tiempo, que están ampliamente distribuidas geográficamente, que se acumulan en las grasas de los organismos vivos y que son tóxicas para los seres humanos y animales. Los COP circulan por todo el mundo y pueden causar daño durante su traslado. Entre estas sustancias se encuentran: dioxinas, furanos, hexaclorobenceno, bifenilos policlorados, DDT, clordano, etc. (<http://www.pops.int>).

MANEJO ADECUADO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

CONVENIOS INTERNACIONALES

A raíz de la creciente problemática mundial sobre las sustancias químicas se crearon múltiples foros internacionales para analizar los retos que representan dichos materiales; entre otros, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), El Convenio Vinculante para la Eliminación de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), el Convenio de Procedimiento de Información y Consentimiento Previo (PIC), el Foro Intergubernamental de Seguridad Química (FISQ), etc., en los cuales se ha puesto particular énfasis en resaltar que el manejo de las sustancias químicas sólo puede ser efectivo si se utiliza el enfoque del *ciclo de vida integral*, es decir aquel que abarca desde la protección, extracción, síntesis de moléculas hasta su transformación en bienes de consumo y en residuos peligrosos.

México ha participado en el ámbito internacional buscando soluciones a los problemas relacionados con las sustancias químicas, tratando de integrar la necesidad de desarrollo económico con la protección al medio ambiente; la importancia que se da en el país a los problemas ambientales también se ha incrementado con la negociación del Tratado de Libre



Comercio de América del Norte (TLCAN), así como con la adhesión a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), que ha significado la adopción de mayores compromisos ambientales.

Dado que nuestro país acepta que tiene responsabilidades, en primera instancia ante la sociedad, el ambiente y los recursos naturales, ha afirmado plenamente en los foros internacionales su compromiso en la protección ambiental, reconociendo que los problemas ecológicos y ambientales llegan a constituir un peligro para la sociedad en su conjunto, razón por la cual su solución requiere necesariamente de la cooperación internacional sustentada en los principios de soberanía, igualdad entre las naciones, equidad en la responsabilidad y precaución ante problemas futuros.

Con la Ley de Tratados Internacionales de México, los acuerdos o convenios Internacionales aprobados por el Congreso de la Unión y suscritos por el Ejecutivo, se convierten en ley nacional, por lo cual debe darse cumplimiento a las obligaciones que derivan de ello y verse reflejadas las disposiciones que contienen las políticas y legislaciones de los sectores a las que se aplican. Ejemplos a este respecto son el

resultado de la aceptación de implementar las disposiciones que emanan de la Agenda 21, de su adhesión a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), de la suscripción del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y del Acuerdo para la Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN).

LA LEGISLACIÓN EN MATERIA DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS EN MÉXICO

En México, antes de la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en 1988, en materia ambiental existía la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, promulgada en 1971 con un enfoque sanitario, y la Ley Federal de Protección al Ambiente de 1982. La expedición de la LGEEPA marcó el inicio de una nueva etapa de legislación ambiental en México ya que esta Ley dio mayor importancia a los residuos peligrosos, los cuales son, precisamente, sustancias químicas al final de su ciclo de utilización.

De acuerdo con la definición de la LGEEPA las sustancias químicas, incluyendo a los residuos, se deberán clasificar de acuerdo con su grado de peligrosidad y considerando sus características, volúmenes y su peligrosidad, que, según lo establece la propia Ley, está dada por las características Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas, Inflamable, Biológico-Infecciosas (CRETIB).

La legislación en materia de sustancias químicas desarrollada en otros países tiene un enfoque de manejo de acuerdo con el riesgo que representan las sustancias y no a su peligrosidad. La diferencia entre ambos conceptos radica en que la *peligrosidad* es una propiedad intrínseca de los materiales, debida básicamente a su estructura molecular y a sus propiedades fisicoquímicas, y el *riesgo* es un atributo más complejo que involucra tanto las características de peligrosidad como de exposición

o contacto directo con las sustancias, así como del tiempo y la frecuencia con la que los seres vivos se exponen a ellas.

Por ello, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y sus Reglamentos deben desarrollar las disposiciones específicas para evitar la exposición y entonces proporcionar una efectiva protección a los seres vivos y a los elementos ambientales, y con esto minimizar los riesgos del uso de las sustancias peligrosas.

Los instrumentos normativos más importantes que rigen las sustancias químicas son la Ley General de Salud (LGS) y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), y el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos.

Las normas existentes en México, que tienen relación con el manejo de sustancias químicas aparecen en el cuadro de la página siguiente.

CONCLUSIONES

Las sustancias químicas forman parte del mundo actual, tanto aquellas que han estado presentes en el ambiente de manera natural, como las que son producidas por el hombre. Existe una gran variedad de estas sustancias, mismas que tienen diversos usos tanto a nivel industrial y agrícola, como de salud pública. A pesar de la importancia que tienen por sus diversas aplicaciones, es necesario reconocer que las propiedades físico-químicas de algunas de estas sustancias representan un riesgo, tanto para la salud humana como para los ecosistemas. Por lo tanto y dada la peligrosidad asociada a estas sustancias, se requiere de una atención prioritaria para su manejo adecuado y con un enfoque del ciclo de vida.

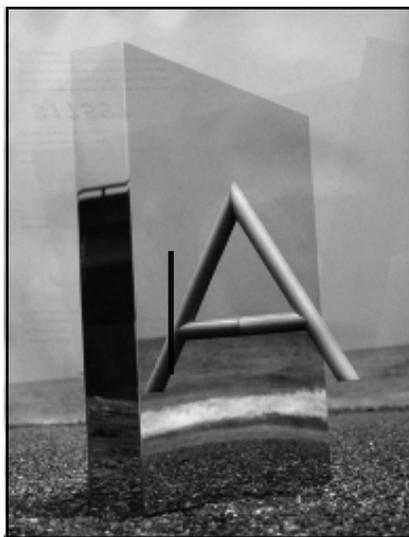
En México, es necesario completar el marco normativo (con el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Riesgo Ambiental por ejemplo) y fortalecer la aplicación de las leyes y la normatividad existentes para disminuir al menor grado los riesgos potenciales in-

NORMA	OBJETIVO	PUBLICACIÓN EN EL D.O.F.
NOM-052-ECOL-93	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.	22-10-1993.
NOM-053-ECOL-93	Que 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.	22-10-1993.
NOM-054-ECOL-1993	Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.	22-10-1993.
NOM-055-ECOL-1993	Que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto de los radiactivos.	22-10-1993.
NOM-056-ECOL-1993	Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.	22-10-1993.
NOM-057-ECOL-1993	Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos	22-10-1993.
NOM-058-ECOL-1993	Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.	22-10-1993.
NOM-083-ECOL-1996	Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales (Aclaración 07-marzo-1997).	25-11-1996.
NOM-087-ECOL-1995.	Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica (Aclaración 12-junio-1996).	07-11-1995.
NOM-133-ECOL-2000.	Protección ambiental – Bifenilos policlorados (BPC). Especificaciones de manejo.	10-12-2001.
NOM-138-ECOL-2002.	Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos para la restauración.	20-08-2002.
NOM-002-STPS-2000.	Condiciones de seguridad-prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo.	08-09-2000.
NOM-005-STPS-1998.	Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.	02-02-1999.

volucrados en el manejo, almacenamiento y uso de sustancias químicas peligrosas así como para dar total cumplimiento a los compromisos internacionales adquiridos por nuestro país en esta materia.

BIBLIOGRAFÍA

- American Chemical Society (ACS) 1998. *Understanding Risk Analysis*. Edición en internet.
- Cortinas de Nava, C. 2000a. *Características de peligrosidad ambiental de plaguicidas*. Instituto Nacional de Ecología, México.
- 2000b. *Comunicación de riesgos para el manejo de sustancias peligrosas con énfasis en residuos peligrosos*. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Cox, D.B. 2000. *Hazardous Materials Management, Desk Reference*. McGraw-Hill, New York.
- EPA 1998. *General Guidance for Risk Management Programs*. 40 CFR PART 68. RMP Series, EE.UU.
- Meyer, Eugene 1999. *Chemistry of Hazardous Materials*. Prentice Hall, EE.UU.
- Rune, L. 1992. *International Approaches to Chemicals Control: A Historical Overview*. Stockholm, National Chemicals Inspectorate.
- USEPA 2001. *An overview of Risk Assessment and RCRA*. EPA530-F-00-032: Washington D.C.
- Wilson, R. y Crouch E.A.C. 1987. Risk Assessment and Comparisons: An Introduction. *Science* 236: 267-270.



Mario Yarto. Director de investigación sobre sustancias químicas y riesgos ecotoxicológicos. Instituto Nacional de Ecología. Correo-e: myarto@ine.gob.mx.
Irina Ize Lema. Subdirectora de investigaciones para la evaluación de riesgos ambientales del Instituto Nacional de Ecología. Correo-e: arize@ine.gob.mx.
Arturo Gavilán. Jefe de departamento de Estudios de análisis comparativos de riesgo ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Correo-e: agavilan@ine.gob.mx.