



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

## **MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

### **TEMA**

**ASPECTOS AMBIENTALES Y CONTROL OPERACIONAL DE  
RESIDUOS PELIGROSOS EN EL SISTEMA DE ADMINISTRACION  
AMBIENTAL ISO 14001**

**EXPOSITOR: DIPL. ING. ISABEL KREINER  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**



## Curso "Residuos Sólidos Industriales y Peligrosos"

28 al 30 de junio de 2001

Sede:

Palacio de Minería,  
en Tacuba No. 5, Col. Centro en ésta Ciudad de México.

organizado por la AMCRESPAC y División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

### Programa

Fecha/Hora	Expositor	tema
28.6.2001 9:00- 9:15	Ing. Alfonso Chávez Presidente de la AMCRESPAC; Dipl.Ing. I.Kreiner, AMCRESPAC	Introducción - bienvenida
9:15 - 11:00	Dra. Elvira Santos Santos, UNAM	Definición y Clasificación de los R.P.
11:00 - 11:15	<i>Café</i>	
11:15 - 13:00	M.e.Ing Rosa Maria Flores, Instituto de Ingeniería- UNAM,	Peligros y Riesgos
13: 00 - 14:30	M.e I Gustavo Solorzano. AMCRESPAC	Legislación aplicable a los R.P.
14:30 - 16:00	<i>Comida</i>	
16:00 - 18:00	M.e C. Irma Cruz Gavilán. UNAM	Minimización de los R.P.
16:00 - 18:00	M e.C.Cintia Mosler, PUMA, UNAM	Politica de la gestión de residuos y

Fecha/Hora	Expositor	tema
29.6.2001 9:00- 11:00	M.e.I. Gerardo Martínez, Instituto de Geografía-UNAM	Tratamiento físico- químico de los R.P.
11:00 - 11:15	<i>Café</i>	
11.15 - 12:15	Ing. Rogelio Gonzalez	Tratamiento térmico de los R.P
12:15 - 13:00	Ing. Mario F. Morán Cementos Cruz Azul	Tratamiento térmico de los R.P una alternativa- Combustibles alternos
13:00 - 14:30.	Dra. Susana Saval . UNAM	Tratamiento Biológico de R.P.
14:30 - 16:00	<i>Comida</i>	
16:00 - 18:00	Ing. Arturo Escorcia, ARI S.A. de C.V. Química Omega	Métodos de recuperación de materia de R.P.

Fecha/Hora	Expositor	tema
30.6.2001 9:00- 10:30	Ing. Jorge Sánchez, AMCRESPAC	Diseño de confinamientos controlados
10:30 - 11:30	Ing. Salvador Orozco, RIMSA	Operación de confinamientos controlados
11:30 - 11:45	<i>Café</i>	
11:45 - 12:45	Ing. Arturo Correa,	Inventario de la Generación de R.P. en México
12:45 - 13:15	Ing Arturo Correa,	Infraestructura existente para el manejo de R.P.
13:15- 14:30	Dipl.Ing. Isabel Kreiner, AMCRESPAC	Aspectos ambientales y control operacional de RP en el Sistema de administración ambiental - ISO 14001

# **Aspectos Ambientales y Control operacional de Residuos Peligrosos en el Sistema de Administración Ambiental ISO 14001**

Dipl.Ing.Isabel Kreiner

UV Lateinamerika  
Holbein 217, Desp. 503  
Col. Nochebuena, 03720 México D.F.  
Tel.: 5-5980218, 5-6151691, Mail: ikreiner@prodigy.net.mx

## **RESUMEN**

Hablar de los estándares internacionales que sirven como herramientas, mediante las cuales las organizaciones de manufactura o de prestación de servicios, se auxilian para lograr sus compromisos, satisfacer los requerimientos de sus clientes y la exigencias del mercado es, inequívocamente, referirse a las normas de las series ISO 9000 e ISO 14000, sin soslayar las normas BS 5750 y BS 7750 que en su momento sirvieron como modelo de referencia, respectivamente, para la elaboración de las normas ISO de estas series.

El diseño de un *Sistema de Aseguramiento de Calidad* (SGC-ISO 9001:2000) y un *Sistema de Administración Ambiental* (SAA-ISO 14001:1996), requiere para su implantación dentro de una organización, de la adecuada interpretación de las cláusula que integran las normas del SGC y SAA o de cualquier otra norma.

Mucho se ha escrito y comentado acerca de estas dos normas internacionales de carácter voluntario. Sin embargo, en la práctica se observa que falta una mayor divulgación de los contenidos de las normas, los beneficios a obtener, y sobre todo, de las posibles herramientas útiles para la identificación y control de los aspectos ambientales de las organizaciones mediante el diseño e implantación, en este caso específico, del *Sistema de Administración Ambiental* (SAA) SAA ISO 14001:1996

Para lograr lo anterior, se presentan las siguientes secciones:

- Antecedentes de la norma ISO 14001
- Cláusulas de la norma ISO 14001 (NMX-SAA-001-1998-IMNC).
- Los aspectos ambientales y el control operacional de los Residuos Peligrosos mediante el SAA ISO 14001.

## I. Antecedentes de la norma ISO 14001:1996

En Europa, la norma británica BS 7750 *Specification for Environmental Management Systems* (1992) fue la primera norma en abordar la regulación del desempeño ambiental de las organizaciones. Bajo su influencia y la de la serie de normas ISO 9000, el 29 de junio de 1993 se aprobó la directiva europea 1836/93 y entró en vigor el 13 de julio de 1993. Reglamenta el funcionamiento de organismos comerciales, es decir industrias del sector de la transformación, en un sistema común para la *Administración y Control Ambiental*. Para referirse a este sistema, en Alemania se utiliza el término *EG Öko Audit. Verordnung* que se puede traducir como *CE-Directiva de Eco-Auditoría*; y en inglés se emplea *Eco Management and Audit Scheme* (EMAS).

Con el fin de regular el ámbito internacional, en el verano de 1993 se empezó la elaboración de una propuesta de normas para un *Sistema de Administración Ambiental*. En 1995 se terminó la redacción del borrador del texto final de la norma (FDIS) ISO 14001 mismo que fue sometido a votación por parte de los miembros. Al año siguiente se aprobó y se le reconoció como norma ISO 14001:1996, misma que fue oficialmente aprobada por la Comunidad Europea en marzo de 1997, aplicándose a todos los giros industriales.

En México, se hace la homologación respectiva en 1998, año en que se publica la norma NMX-SAA-001-1998-IMNC. En Alemania la homologación de norma ISO 14001 corresponde a la norma DIN EN ISO 14001 y debe respaldar la CE-Directiva No. 1836/93.

## II. Las cláusulas del Sistema de Administración Ambiental

La norma ISO 14001:1996 *Sistemas de Administración Ambiental* fue estructurada para ser aplicable a todo tipo y tamaño de organizaciones: empresas, corporaciones o instituciones ya sean públicas o privadas. Ella especifica los requisitos que debe cumplir un sistema de administración ambiental cuyo propósito principal sea apoyar la protección ambiental y la prevención de la contaminación en equilibrio con las posibilidades socioeconómicas de las organizaciones y por otra parte expone los requisitos necesarios para que cada organización configure el mejoramiento continuo de su SAA.

**Tabla 1: Cláusulas de la norma ISO 14001**

<b>4.1. Requisitos generales</b>	
<b>Requisitos generales</b>	La organización debe establecer y mantener un SAA que contenga y cumpla los requerimientos descritos en cada una de las siguientes cláusulas:
<b>4.2. Política ambiental</b>	
<b>Política ambiental</b>	La política ambiental se estipula a manera de documento en

	el cual se establecen, por autoridad de la dirección y a largo plazo, intenciones y principios de la organización referentes al medio ambiente.
<b>4.3 Planeación</b>	
<b>Aspectos ambientales</b>	Una organización tiene que mantener un procedimiento que registre, evalúe y vigile aspectos de medio ambiente.
<b>Requisitos legales y otros</b>	Una organización tiene que mantenerse informada y actualizada respecto a requisitos legales y otros que sean relevantes para el medio ambiente.
<b>Objetivos y metas ambientales</b>	Para cada función y nivel relevantes se deben establecer y mantener objetivos y metas individuales.
<b>Programas de administración ambiental</b>	Debe instalarse un programa para realizar los objetivos y metas referentes al medio ambiente.
<b>4.4 Implantación y Operación</b>	
<b>Estructura y responsabilidad</b>	Hay que establecer, documentar y dar a conocer tareas, obligaciones y autorizaciones. Parte de ello es nombrar un responsable de la implantación del SAA.
<b>Capacitación, conciencia y competencia</b>	Para asegurar competencia y conciencia de los empleados en cuanto a aspectos relevantes de protección de medio ambiente, hay que determinar la necesidad de formación, y llevar a cabo la capacitación correspondiente.
<b>Comunicación</b>	Referente al SAA y sus diferentes aspectos se requiere introducir, asegurar y documentar la comunicación interna y externa entre los diferentes niveles y personas / instancias externas que estén interesadas en éste.
<b>Documentación del SAA</b>	Cuando sea requerido por la norma, debe existir documentación que describa las características del SAA, sea de forma escrita o electrónica.
<b>Control de documentos</b>	Hay que implantar un procedimiento que asegure que todos los documentos relevantes estén localizables y disponibles, y sean revisados y adecuadamente identificados. El mismo sistema deberá incluir la evaluación de los documentos para retirarlos y eliminarlos cuando sea necesario.
<b>Control de operaciones</b>	Se debe contar con un procedimiento que describa y reglamente la evaluación y el control de todos los procesos ambientalmente relevantes para asegurar el cumplimiento de las instrucciones de proceso correspondientes.

<b>Preparación y respuesta emergencias</b>	Debe contarse con un procedimiento para manejar accidentes o casos de emergencia, y para evitarlos o contenerlos.
<b>4.5 Verificación y Acción Correctiva</b>	
<b>Supervisión y medición</b>	Hay que introducir procesos documentados para verificar y medir regularmente los procedimientos de trabajo y las actividades con relevancia ambiental.
<b>No conformidad y acciones correctivas y preventivas</b>	También hay que introducir y mantener procesos que establezcan responsabilidad y autoridad frente a irregularidades o emergencias. Éstos deben permitir la aplicación de medidas adecuadas y la realización de correcciones.
<b>Registros</b>	Hay que implementar y mantener métodos para la clasificación, el mantenimiento y la eliminación de documentación de relevancia ambiental conforme sea determinado en la documentación y procedimientos que integran el Sistema.
<b>Auditoría del SAA</b>	Hay que introducir y mantener un programa y procedimientos para la auditoría regular del SAA.
<b>4.6 Revisión por parte de la Dirección</b>	
La Dirección tiene que evaluar regularmente y a plazos determinados el SAA, para asegurarse continuamente que son los idóneos, adecuados y eficaces. Si se dan cambios en la política ambiental y/o sus objetivos, hay que llevarlos a la práctica.	

La evaluación externa de una implantación, madurez y eficiencia de un SAA se realiza por medio de una entidad externa a la organización. En el caso de la ISO 14001 se habla de una "certificación" que se realiza por auditores de un Organismo de Certificación Acreditado.

### **III. Los aspectos ambientales y el control operacional de los Residuos Peligrosos mediante el SAA ISO 14001.**

Para iniciar con el diseño de un sistema de administración ambiental, se requiere identificar como está la situación ambiental de la organización para lo cuál existen diversos métodos. En lo siguiente se presentará un ejemplo desarrollado alrededor del tema de residuos peligrosos.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Residuo Peligroso, según Mackenzie, L. Davis & Daniel A. Cornwell, 1991

"Cualquier residuo o combinación de residuos que posee una sustancia peligrosa y que ahora o en el futuro puede causar daño a los humanos, plantas o vida animal y no pueden ser manejado o dispuesto sin precauciones especiales".

## Identificación y Evaluación de los Aspectos Ambientales

El marco de referencia está reflejado en las cláusulas en relación a **Planeación**. (A través de la cláusula 4.3.1 que a su vez incide en el cumplimiento de las cláusulas 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4.)

**\*\*\*VER ANEXO I\*\*\*** Nota: La siguiente información está contenida en el diseño y formatos requeridos por el SAA; sin embargo, los diversos contenidos que integran al documento y que no corresponden al tema que aquí abordamos NO aparece redacción alguna.

Posterior a la evaluación del Índice de Riesgo de los aspectos ambientales identificados se determinaron en nuestro ejercicio como significativos a los residuos peligrosos.

Con base en los aspectos ambientales significativos se establecerán objetivos y metas ambientales (4.3.3) y sus respectivos programas de administración ambiental (4.3.4). Adicionalmente se desarrollarán las respectivas instrucciones de operación para su control operacional (4.4.6.). Lo anterior integrará, junto con el cumplimiento de otros requerimientos, la documentación del SAA según la norma ISO 14001.

Para ilustrar la anterior descripción se presentan los siguientes ejemplos.

**Tabla 2: Ejemplo (4.3.3) Objetivos y Metas Ambientales**

OBJETIVO	METAS
Manejo Adecuado de residuos peligrosos	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Mantener el 100% de cumplimiento de los trámites de la NOM-052-ECOL-1993 según requerimientos.</li><li>2. Segregación del 100% de los residuos peligrosos en la fuente para _____.</li><li>3. Reducir la generación de _____ residuo en un _____ % para _____ año.</li></ol>

### **ANEXO II : Control Operacional (4.4.6)**

Ejemplo de una instrucción de operación para control operacional del manejo de los residuos peligrosos biológico infecciosos.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

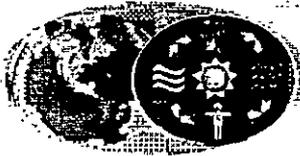
**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS**

**MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y  
PELIGROSOS**

**TEMA**

**ANEXO 1**

**EXPOSITOR: DIPL. ING. ISABEL KREINER  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**



<b>PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL</b>		<b>Logo</b>
DOCUMENTO: PROAMB.001	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.3.2	REVISION No.: 0	PAGINA: 1 / 7

**TITULO : PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICAR Y EVALUAR ASPECTOS AMBIENTALES**

**\*\*\* ANEXO I \*\*\***

**1. OBJETIVOS**

- 1.1 -Establecer un procedimiento que permita identificar los aspectos ambientales inherentes a las actividades, proyectos y servicios que La Organización ejecuta. Lo anterior, con el fin de evaluar los impactos ambientales que de ellos se deriven.
- 1.2.-Determinar metodologías de valoración e interpretación de impactos ambientales, aplicables a cualquier actividad, proceso y servicio que realice La Organización.
- 1.3.-Definir los criterios para desarrollar planes, programas y acciones encaminados a la prevención, control o mitigación de las alteraciones generadas en el medio ambiente por las actividades de La Organización.

**2. ALCANCE**

La identificación de aspectos ambientales de las actividades, procesos y servicios para determinar cuales tienen o pueden tener impacto significativo en el ambiente.

**3. DEFINICIONES**

**3.1 ASPECTO AMBIENTAL**

Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el ambiente.

**3.2 IMPACTO AMBIENTAL**

Cualquier cambio al ambiente, ya sea adverso o benéfico, que resulte total o parcialmente de las actividades o servicios de una organización.

**4. REFERENCIAS**

Sin texto

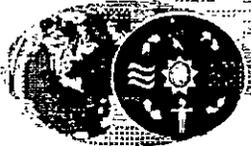
**5. RESPONSABILIDADES**

Sin texto.

**6. DESCRIPCIÓN**

**6.1 CONSIDERACIONES GENERALES**

	Elaboró	Revisó	Aprobó
Puesto			
Nombre			
Fecha			
Firma			



<b>PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL</b>		<b>Logo</b>
DOCUMENTO: PROAMB.001	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.3.1	REVISION No.: 0	PAGINA: 2/7

**TITULO : Procedimiento para Identificar y Evaluar Aspectos Ambientales**

Es necesario desarrollar un proceso metodológico a través del cual, La Organización identifique, valore y relacione todos los aspectos ambientales inherentes a sus actividades con el fin de planificar recursos y acciones encaminados a dar cumplimiento a la Política Ambiental.

## **6.2 IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES**

Es prioridad de La Organización realizar la identificación y evaluación de aspectos ambientales asociados con las actividades de cada proceso y servicio con el fin de valorar cada uno de los impactos que de ellos se derivan y de esta manera, identificar las prioridades ambientales sobre las cuales se desarrollarán los objetivos y metas, planes y programas acordes con la legislación vigente, Política y otros requisitos, de la Organización.

La herramienta principal para identificar los aspectos ambientales, es el flujograma de actividades de cada etapa del proceso o servicio y el diagnóstico ambiental inicial.

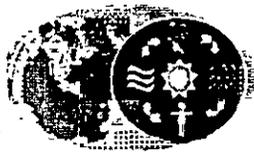
La esencia de la planificación del desempeño ambiental, radica en tener en cuenta solamente los aspectos ambientales significativos, es decir, aquellos cuyo manejo deba considerarse de acuerdo a sus impactos inherentes, para garantizar el cumplimiento de la Política Ambiental.

Una vez identificadas las actividades que conllevan aspectos y por consiguiente impactos ambientales significativos, se consignan en las columnas ACTIVIDAD, ASPECTO AMBIENTAL, IMPACTO AMBIENTAL respectivamente, dentro la matriz de correlación.

La metodología para desarrollar la identificación de los aspectos ambientales e impactos inherentes se describe a continuación.

### **6.2.1 MATRICES DE CORRELACIÓN**

Estas consisten esencialmente en generar una doble lista: los aspectos ambientales de cada actividad vs. los elementos del medio ambiente que pueden ser eventualmente impactados por ellas. Una va en los renglones, otra va en las columnas perpendiculares a estos y en dónde crucen, se colocarán los impactos inherentes. Identificando las interacciones (impactos) que se pueden presentar durante las actividades de un proceso o servicio, entre los aspectos ambientales y cada elemento del medio ambiente. A continuación se describe mediante un ejemplo, la metodología que se utiliza para desarrollar la matriz de identificación. Se toman algunas actividades propias de un proceso, y se señalan los aspectos ambientales



<b>PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL</b>		<b>Logo</b>
DOCUMENTO: PROAMB.001	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.3.1	REVISION No.: 0	PAGINA: 3/7

**TITULO : Procedimiento para Identificar y Evaluar Aspectos Ambientales**

que conllevan. En el cruce con los elementos del medio ambiente, se identifican los impactos asociados. En resumen, pueden indicarse los siguientes elementos del medio ambiente:

<b>Aire</b>	<b>Agua</b>	<b>Suelo</b>
Niveles de ruido Polvos Gases	Calidad Superficial Cantidad	Procesos erosivos Estabilidad Uso actual del suelo
<b>Flora</b>	<b>Fauna</b>	<b>Comunidad/Partes Interesadas</b>
Cultivos Especies en peligro de extinción	Especies en peligro de extinción Fauna nociva	Daños a la Salud Modificación del paisaje Molestia social

### 6.3 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS

La evaluación de los impactos ambientales asociados, busca clasificarlos de acuerdo a los siguientes cuatro parámetros que son:

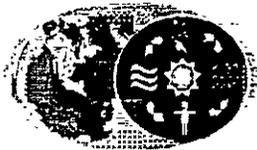
- ⇒ Escala del Impacto (ESC),
- ⇒ Severidad del Impacto (SEV)
- ⇒ Permanencia de sus efectos (PER)
- ⇒ Probabilidad de Ocurrencia (PROB)

Esta clasificación arrojará el orden de las prioridades ambientales sobre las cuáles se fijarán objetivos y metas que se cumplirán a través de planes, programas y acciones correspondientes. Para tal fin, se registrará en cada columna correspondiente del formato AMB/001/01-0 el valor de la calificación que se le dé a cada impacto ambiental, de acuerdo a los criterios que se explican a continuación.

#### 6.3.1 ESCALA DEL IMPACTO (ESC)

Se refiere a la determinación del tamaño físico del impacto, sobre el elemento del medio ambiente afectado.

Clasificación	Calificación	Criterio
Alta	3	El tamaño físico del Impacto es indeterminado



<b>PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL</b>		<b>Logo</b>
DOCUMENTO: PROAMB.001	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.3.1	REVISION No.: 0	PAGINA: 4/7

**TITULO : Procedimiento para Identificar y Evaluar Aspectos Ambientales**

Media	2	El tamaño físico del Impacto se puede determinar
Baja	1	El Impacto es localizado y puntual

**6.3.2 SEVERIDAD DEL IMPACTO (SEV)**

Se refiere a la gravedad del impacto en cuanto a la profundidad de su incidencia en el medio ambiente.

Clasificación	Calificación	Criterio
Grave	3	Impacto de alta consideración, con difícil y costosa posibilidad de recuperación.
Mediano	2	Impacto con incidencia restringida, que mantiene probabilidad de recuperación.
Menor	1	Impacto localizado, previsible, de fácil y rápida recuperación.

**6.3.3 PERMANENCIA DEL IMPACTO (PER)**

Se refiere al tiempo de duración de los efectos del Impacto en el Medio Ambiente.

Clasificación	Calificación	Criterio
Alta	3	El período de duración del impacto es indefinido
Media	2	El período de duración del impacto se puede determinar
Baja	1	El período de duración del impacto es breve

**6.3.4 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (PROB)**

Se refiere a los intervalos de tiempo en que se presente el impacto en el Medio Ambiente.

Clasificación	Calificación	Criterio
Muy Probable	3	Podrá ocurrir repetitivamente o de hecho ocurrirá, durante todo el desarrollo de la



<b>PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL</b>		<b>Logo</b>
DOCUMENTO: PROAMB.001	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.3.1	REVISION No.: 0	PAGINA: 5/7

**TITULO : Procedimiento para Identificar y Evaluar Aspectos Ambientales**

		actividad
Medianamente Probable	2	Podrá ocurrir o de hecho ocurrirá, en varias partes de la actividad
Poco Probable	1	Podrá ocurrir sólo en muy pocos momentos específicos de la actividad

### 6.3.5 INDICE DE RIESGO (IR)

Luego de registrar la información en los campos correspondientes en la matriz de correlación se hallará el Índice de Riesgo (IR):

$$IR = ESC \times SEV \times PER \times PROB$$

Para darle prioridad al manejo de los aspectos ambientales significativos, se considerará el IR más alto dentro de cada aspecto ambiental. Con base en ese valor y de acuerdo al criterio que se explica a continuación, se registrará la letra correspondiente en la columna PRIORIDAD.

Criterio		Prioridad	
IR desde 25	hasta 81	A	(Alta)
IR desde 9	hasta 24	B	(Media)
IR desde 1	hasta 8	C	(Baja)

Este parámetro es válido para aquellos aspectos que no están valorados por regulaciones contractuales, legales y otras pertinentes. Los aspectos cuyo manejo depende del cumplimiento de algún tipo de regulación (legal, contractual, etc.), se consideran de alta prioridad (A), sin importar su IR. En estos casos, en la casilla LEGISLACIÓN, se registra la identificación de la(s) regulación(es) que aplica(n).



PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL		Logo
DOCUMENTO: PROAMB.001	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.3.1	REVISION No.: 0	PAGINA: 6/7

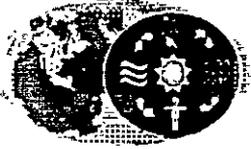
**TITULO : Procedimiento para Identificar y Evaluar Aspectos Ambientales**

**Ejemplo de Matriz de Correlación**

**AMB-001/01: Evaluación de Aspectos e Impactos Ambientales y Requerimientos Legales**

ACTIVIDAD/ ASPECTO		ELEMENTO DEL MEDIO AMBIENTE AFECTADO						
		AIRE	AGUA	SUELO	FAUNA	FLORA	SALUD	LEGISLACION
PROCESOS PRODUCTIVOS Y OTROS	Desengras antes	----	1*1*1*1 =1	2*1*1*2 =4				NOM-052 ECOL
	Equipo de limpieza	----	1*1*1*1 =1	1*2*2*2 =8				NOM-052 ECOL
	Aceites	----	3*3*3*3 =81	3*3*3*3 =81				NOM-052 ECOL
	Residuos peligrosos		2*2*2*2 =16	2*2*2*2 =16				NOM-052 ECOL

**6.4 OBJETIVOS, METAS Y PROGRAMAS**



<b>PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL</b>		<b>Logo</b>
<b>DOCUMENTO: PROAMB.001</b>	<b>FECHA DE REVISION: DE DE 2001</b>	
<b>ELEMENTO: 4.3.1</b>	<b>REVISION No.: 0</b>	<b>PAGINA: 7/7</b>

**TITULO : Procedimiento para Identificar y Evaluar Aspectos Ambientales**

Los objetivos y metas establecidas para el control de las XXX prioridades ambientales en todas nuestras actividades, productos y servicios, deberán ser fijados por el Comité de Ambiente, de la Dirección, revisados y aprobados por Alta Dirección.

Para garantizar que los aspectos ambientales significativos y los requisitos legales y demás regulaciones sean tenidos en cuenta al establecer estos objetivos, será necesario contar previamente con la información registrada en los formatos correspondientes AMB-001, AMB-002 y AMB-003. En la columna ACCIONES, (AMB-001/03) se registrará la identificación del plan o programa específico que se ha desarrollado para manejarlo, así como el porcentaje de su cumplimiento. Todas las situaciones que involucren aspectos ambientales y sean consideradas emergencias, se tratarán de acuerdo un Plan de Contingencia.

En la columna RESPONSABLES (AMB-001/02 y AMB-001/03), se deberá referenciar cada área, sección, etc., que tiene injerencia en la consecución de los objetivos propuestos. En la columna INDICADOR de ambos formatos, se deberá hacer referencia al índice de control mediante el cual se controlará el alcance de cada meta y por ende de cada objetivo. FECHA COMPROMISO se coloca la fecha límite en la cual se deberá de concluir con las actividades planteadas en el Programa de Administración Ambiental.

**7. FORMATOS**

AMB-001/01 "Evaluación de Aspectos e Impactos Ambientales y Requerimientos Legales"

AMB-001/02 "Objetivos y Metas Ambientales"

AMB-001/03 "Programas de Administración Ambiental"

\*\*\*\*\*



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

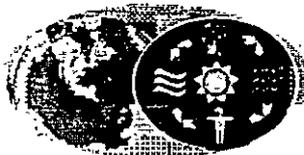
**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS**

**MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y  
PELIGROSOS**

**TEMA**

**ANEXO 2**

**EXPOSITOR: DIPL. ING. ISABEL KREINER  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**



INSTRUCCION DE OPERACION DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL		Logo
DOCUMENTO: IA-10-01	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.4.6	REVISION No.: 0	PAGINA: 1 / 4

## TITULO : MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS

### \*\*\* ANEXO II \*\*\*

#### 1. PROPÓSITO

Manejar la separación, envasado, almacenamiento temporal, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos biológico infecciosos que se generan en el servicio de atención médica de La Organización.

#### 2. ALCANCE

2.1 Esta instrucción aplica al departamento de servicio de atención médica y al personal responsable del manejo de los residuos.

#### 3. REFERENCIAS

- 3.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- 3.2 Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos
- 3.3 NOM-052-ECOL-1993. Listado de Residuos Peligrosos por su toxicidad al Medio Ambiente
- 3.4 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 prestan atención medica.

#### 4. DEFINICIONES

4.1 Residuo Biológico Infeccioso: El que contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de causar infección o que contiene o puede contener toxinas producidas por microorganismos que causan efectos nocivos a seres vivos y al ambiente, que se generan en establecimientos de atención médica.

#### 5. RESPONSABILIDADES

- 5.1 Es responsabilidad del personal asignado del departamento de servicio de atención médica vigilar y dar cumplimiento de la presente instrucción de operación.
- 5.2 Es responsabilidad del personal asignado difundir esta instrucción de operación y apoyar al personal responsable para su cumplimiento

#### 6. DESARROLLO

6.1 Es responsabilidad del personal del servicio médico separar y envasar todos los residuos biológico-infecciosos generados en el departamento de servicio de atención médica, de

	Elaboró	Revisó	Aprobó
Puesto :			
Nombre :			
Fecha			
Firma :			



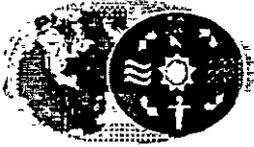
<b>INSTRUCCION DE OPERACION DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL</b>		<b>Logo</b>
DOCUMENTO: IO-10-01	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.4.6	REVISION No.: 0	PAGINA: 2/4

## TITULO : MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS

acuerdo con sus características físicas y biológico-infecciosas, conforme a la siguiente tabla.

Tipo de residuos	Estado físico	Envasado	color
➤ Sangre ➤ Cultivos y cepas almacenadas de agentes infecciosos ➤ Residuos no anatómicos derivados de la atención a pacientes y los laboratorios	Sólidos	Bolsa de plástico	Rojo
	Líquidos	Recipientes herméticos	Rojo
➤ Patológicos	Sólidos	Bolsa de plástico	Amarillo
	Líquidos	Recipientes herméticos	Amarillo
➤ objetos punzo cortantes usados y sin usar	Sólidos	Recipientes rígidos	Rojo

- 6.2 Es responsabilidad del personal de servicio de atención médica verificar que las bolsas de contención de los residuos biológico-infecciosos no deben ser llenadas más del 80% de su capacidad. Deberán cerrarse antes de ser transportadas al sitio de almacenamiento y deberán tener la leyenda que indique "PELIGRO RESIDUOS PELIGROSOS SOLIDOS BIOLOGICO-INFECCIOSOS" y estar marcadas con el símbolo universal de riesgo biológico como se indica en la figura 1.
- 6.3 Los residuos peligrosos punzo cortantes deben almacenarse en recipientes rígidos de color rojo y deben estar etiquetados con la leyenda que indique "PELIGRO, RESIDUOS PUNZO CORTANTES BIOLOGICO-INFECCIOSOS" y marcados con el símbolo universal de riesgo biológico como se indica en la Figura 2.
- 6.4 Los recipientes de los residuos peligrosos líquidos deben ser rígidos, con tapa hermética, etiquetados con una leyenda que indique "PELIGRO, RESIDUOS PELIGROSOS LIQUIDOS BIOLOGICO-INFECCIOSOS" y marcados con el símbolo universal de riesgo biológico como se indica en la figura 3.



<b>INSTRUCCION DE OPERACION DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL</b>		<b>Logo</b>
DOCUMENTO: IO-10-01	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.4.6	REVISION No.: 0	PAGINA: 3/4

**TITULO : MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS**



FIGURA 1

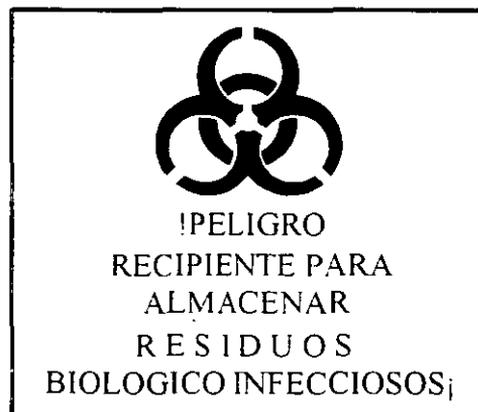


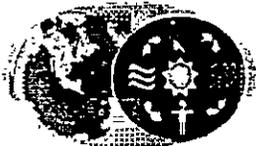
FIGURA 2



FIGURA 3

- 6.5 El titular del Servicio Médico es responsable de notificar al personal asignado cuando los recipientes de contención de los residuos peligrosos biológico-infecciosos estén llenos para su recolección.
- 6.6 Es responsabilidad del personal asignado del manejo de los residuos peligrosos usar el equipo de protección personal que consiste de: mandil, guantes de hule, cubre bocas, mascarilla o lentes de protección.
- 6.7 Es responsabilidad del personal de manejo de residuos peligrosos: la recolección de los residuos, el transporte al área de Verificación y el transvase de los residuos en el recipiente que esté identificado con una etiqueta que indique lo siguiente:





<b>INSTRUCCION DE OPERACION DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL</b>		<b>Logo</b>
DOCUMENTO: IO-10-01	FECHA DE REVISION: DE DE 2001	
ELEMENTO: 4.4.6	REVISION No.: 0	PAGINA: 4/4

**TITULO : MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS**

- 6.8 El personal asignado es responsable de realizar la neutralización de los residuos peligrosos biológicos infecciosos en el recipiente destinado para este fin.
- 6.9 El personal asignado del servicio medico deberán anotar en una bitácora la fecha y la cantidad total generada, en kilogramos, de residuos peligrosos biológicos infecciosos y firmar de conformidad.

**7. FORMATOS REQUERIDOS**

7.1 Bitácoras de generación



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

## **MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

### **TEMA**

### **PELIGROS Y RIESGOS**

**EXPOSITOR: M. EN I. ROSA MARIA FLORES SERRANO  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

# **CURSO RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS PELIGROS Y RIESGOS**

M. en I. Rosa María Flores Serrano

Instituto de Ingeniería, UNAM  
Coordinación de Ingeniería Ambiental  
Apdo. Postal 70-472, Ciudad Universitaria, 04510 México D.F.  
Tel. (5)6223330 al 32, Fax (5)6162164, e-mail: rfs@pumas.iingen.unam.mx

## **RESUMEN**

El tema "Peligros y Riesgos" tiene el propósito de diferenciar lo que se entiende como peligro y riesgo dentro del contexto de los residuos peligrosos. Peligro es un término descriptivo que se refiere a la propiedad intrínseca de los residuos para producir daño, y riesgo se define como la probabilidad de sufrir daño o pérdida de algo. Dentro del marco de los residuos peligrosos, se plantea que para que un residuo o sustancia pueda considerarse como un riesgo no basta con que presente propiedades que lo hagan peligroso, para ello, se requiere que entre en contacto con los posibles receptores vulnerables (seres humanos, flora o fauna), en una cantidad y durante un tiempo suficiente para que ejerza sus efectos indeseables. Con esta idea en mente es posible reducir el riesgo de una sustancia manejándola apropiadamente de manera que las dosis de exposición no rebasen las dosis de referencia para las cuales se ha probado que no se producen efectos adversos.

El tema también proporciona los principios de la evaluación del riesgo a la salud, como una herramienta para establecer los niveles de limpieza de medios contaminados por sustancias tóxicas.

## **DEFINICIONES**

Peligro es un término descriptivo que se refiere a la propiedad intrínseca de los residuos para producir daño, y riesgo se define como la probabilidad de que un residuo produzca un efecto adverso o dañino en función de sus propiedades peligrosas y las condiciones de exposición.

Por otra parte es importante considerar a la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993, 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. En esta norma, se establecen como características o criterios de peligrosidad: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y/o la presencia en los residuos de agentes biológico infecciosos. Dentro de estas características, la toxicidad es la propiedad que se emplea para establecer el riesgo, dentro de lo que se conoce como evaluaciones de riesgo a la salud.

Evaluación del riesgo a la salud se define como el proceso para estimar la probabilidad de ocurrencia de daño en el ser humano como consecuencia de su exposición a sustancias tóxicas (NAS, 1983). Actualmente se está empleando esta herramienta para resolver uno de los problemas prioritarios en materia de protección al ambiente, como es: establecer los niveles de limpieza para suelos, aguas subterráneas y aguas superficiales en sitios contaminados. Es decir, el nivel de limpieza a alcanzar es la concentración que representa un valor aceptable de riesgo a la salud y el ambiente.

Dada la importancia de este tipo de evaluaciones, considero relevante establecer las bases para su aplicación.

## **PASOS GENERALES PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA SALUD Y RIESGO ECOLÓGICO**

Los pasos generales para realizar la evaluación del riesgo a la salud son (Paustenbach, 1989; Kaplan y McTernan, 1995; Burmaster y Willson, 1996; Sciences, 1998; ORD, 1998): identificación del peligro, evaluación dosis-respuesta, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo.

### **Identificación del peligro**

Consiste en establecer fundamentalmente cuáles son las fuentes de contaminación, medios afectados, tipos de contaminantes presentes, uso de suelo y área afectada, para ello se realizan visitas de campo y se hace una revisión de información acerca de la propiedad, como por ejemplo su localización, usos que se le dio en el pasado, uso actual de suelo, y planes de desarrollo para el futuro.

Asimismo, se aplican modelos para establecer la extensión de la contaminación, se realizan muestreos de los medios afectados y se analizan las muestras obtenidas para determinar la concentración de los contaminantes presentes. Finalmente se seleccionan los contaminantes a considerar para su evaluación de acuerdo con su alta concentración, movilidad, persistencia y/o alta toxicidad.

### **Evaluación dosis-respuesta**

Consiste en reunir la información existente respecto a la toxicidad de las sustancias seleccionadas en el paso anterior. Se distinguen dos grandes grupos, los contaminantes cancerígenos y los no-cancerígenos.

Los toxicólogos desarrollan dosis de referencia (RfD) para compuestos no cancerígenos, que es la dosis para la cual no es probable que se desarrollen efectos adversos. Se obtienen a partir de las dosis NOAEL (dosis de máxima a la que no se observan efectos adversos, por sus siglas en inglés) obtenidas de experimentos en animales, que luego se extrapolan a los humanos aplicando factores de incertidumbre para compensar las variaciones entre los organismos animales y los humanos.

Para el caso de los compuestos cancerígenos, los toxicólogos desarrollan factores de potencia de las sustancias cancerígenas, que se denominan factores de pendiente de cáncer (SF o CSF por sus siglas en inglés); estos factores se obtienen de la pendiente de la recta resultante de relacionar la dosis aplicada y la respuesta de cáncer obtenida; la pendiente de esa recta es el SF.

La U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) ha publicado dos bases de datos donde se reúnen las propiedades físicas, químicas y toxicológicas (RfD y SF) de sustancias comúnmente presentes en sitios contaminados; los datos proceden de investigaciones realizadas por diversas instituciones. Estas bases de datos son: IRIS (Integrated Risk Information System) y HEAST (Health Effects Assessment Summary Tables).

### **Evaluación de la exposición.**

Se establecen las rutas y vías de exposición, así como las dosis estimadas que ingresan al organismo a través de estas rutas y vías. La ruta de exposición es el camino que sigue el contaminante desde la fuente de contaminación hasta el receptor. La vía de exposición es el mecanismo por el cual entra el contaminante al cuerpo (ingestión, inhalación o contacto dérmico). La dosis es la masa de sustancia que ingresa al organismo por unidad de peso corporal por día.

### **Caracterización del riesgo**

Se integra la información reunida en los tres pasos anteriores para obtener un valor numérico que en el caso de compuestos no cancerígenos se denomina cociente de peligrosidad (HQ, por sus siglas en inglés), el cual, si tiene un valor mayor de 1 indica que se ha sobrepasado la dosis a la cual no se presentan efectos adversos; para compuestos cancerígenos se obtiene un valor numérico que indica la probabilidad de ocurrencia de cáncer. La U.S.EPA ha establecido como política un riesgo aceptable en un intervalo de entre  $1 \times 10^{-4}$  y  $1 \times 10^{-6}$ , el valor más usado es el último de los antes mencionados, es decir, una probabilidad de que 1 individuo en 1,000,000 adquiera cáncer.

Estos valores numéricos de riesgo se obtienen aplicando fórmulas, a continuación se presenta un ejemplo de estas fórmulas.

## **REFERENCIAS**

Burmester, D E y Wilson, J C (1996), "Risk Assessment for Chemicals in the Environment" en *The Encyclopedia of Biostatistics*, ALCEON and GES, Estados Unidos de América. Internet: <http://www.alceon.com/encyc.pdf>.

Kaplan, E y McTernan, W F (1995), "Overview of the Risk Assessment Process in Relation to Groundwater Contamination" en Lemons, J, *Readings from the Environmental Professional. Risk Assessment*, National Association of Environmental Professionals and Blackwell Science Inc, Estados Unidos de América.

NAS (National Academy of Sciences) (1983), *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*, National Academy Press, Washington.

ORD (Office of Research and Development) (1998), *Risk Assessment and Risk Management*, Internet: <http://www.epa.gov/ordntrnt/ORD/beta/about.html>.

Paustenbach, D (1989), "A Survey of Health Risk Assessment" en Paustenbach, D (ed), *The Risk Assessment of Environmental and Human Health Hazards, A Textbook of Case Studies*, Wiley Interscience, Estados Unidos de América.

Sciences (1998), *Health and Environment for the Lay Persons*, Internet: <http://www.sciences.com/layecol.htm>.

### **BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA**

Albert, L. (editora) (1997). *Introducción a la Toxicología Ambiental*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, Gobierno del Estado de México. Metepec, Estado de México.

U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I --Human Health Evaluation Manual, Part A. Final*. <http://www.epa.gov/superfund/programs/risk/ragsa/index.htm>

U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) (1991). *Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part B, Development of Risk Based Preliminary Remediation Goals)*. <http://www.epa.gov/superfund/programs/risk/ragsb/index.htm>.

U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) (1991). *Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part C)*. <http://www.epa.gov/superfund/programs/risk/ragsc/index.htm>.

U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) (1996). *Soil Screening Guidance: User's Guide*. Pub 9355.4-23. Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington D.C.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS**

**MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y  
PELIGROSOS**

**TEMA**

**PELIGROS Y RIESGOS  
DIAPOSITIVAS**

**EXPOSITOR: M. EN I. ROSA MARIA FLORES SERRANO  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**



# Residuos Sólidos Industriales y Peligrosos



## PELIGROS Y RIESGOS

M. en I. Rosa María Flores Serrano

Instituto de Ingeniería, UNAM

28/06/2001

### DEFINICIONES

**R  
E  
S  
I  
D  
U  
O  
P  
E  
L  
I  
G  
R  
O  
S**

**Peligro:** Propiedad intrínseca de los residuos para producir daño

**Riesgo:** Probabilidad de que un residuo o sustancia produzca un efecto adverso o dañino en función de sus propiedades peligrosas.

RM Flores

## DEFINICIONES

**PROTECCIÓN CIVIL:** Probabilidad de pérdida de vidas o bienes (ocurrencia de daño) como resultado de un fenómeno perturbador (vulcanismo, sismicidad, deslizamientos, inundaciones, huracanes, etc.)

$$R = \text{Valor} \times \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

**INDUSTRIAL:** Probabilidad de ocurrencia de un accidente (incendio, explosión o dispersión de sustancias tóxicas) en una instalación donde se manejan sustancias o materiales peligrosos.

**TAF = Tasa de accidentes fatales = frecuencia del evento/ año**

**AMBIENTAL:** Probabilidad de que un residuo o sustancia produzca un efecto adverso o dañino en función de sus propiedades peligrosas.

$$R = \text{Contacto} \times \text{Peligro} = \text{Dosis} \times \text{Factor de Potencia}$$

RM Flores

**R  
I  
E  
S  
G  
O**

## DEFINICIONES

### NOM-052-ECOL-1999

(Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente)

CARACTERÍSTICA	CONDICIONES	EJEMPLO
Corrosividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ pH &lt; 2, pH &gt; 12.5</li> <li>▷ 55°C → corroen acero a razón de 6.35 mm/año</li> </ul>	Ácido clorhídrico Lejía (Hidróxido de sodio) Ácido acético (vinagre)
Reactividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Se combinan violentamente sin explosión</li> <li>▷ Reaccionan violentamente con agua o ácidos y bases</li> </ul>	Nitratos Cloro
Explosividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Cte. de explosividad ≥ dinitrobenzeno</li> <li>▷ Producen explosión a 25°C y 1.03 kg/cm<sup>2</sup></li> </ul>	Dioxano (limpiadores de ventanas) Trinitrotolueno
Toxicidad	Contienen sustancias capaces de causar la muerte u otros efectos nocivos a la salud	Arsénico Etilenglicol (anticogelante) Dieldrin (insecticida p/termitas)
Inflamabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ &gt;24% de alcohol</li> <li>▷ Punto de inflamabilidad &lt; 60°C</li> </ul>	Alcoholes Acetona (pinturas, quitasmanchas)
Biológico-Infecciosos	Microorganismos capaces de producir una infección o enfermedad	Jeringas usadas Residuos patológicos

RM Flores

## DEFINICIONES

### CRITERIOS DE PELIGROSIDAD O PELIGRO

CRITERIO	DEPENDI DE
Disponibilidad : ¿puede llegar fácilmente al receptor?	Estado físico Polaridad Tamaño de la partícula
Volumen: ¿la cantidad existente en el ambiente > capacidad amortiguamiento?	Del medio en el que se dispongan
Persistencia: ¿se degrada fácilmente?	Tamaño de la partícula Toxicidad
Bioconcentración: ¿C > en organismo que en el medio afectado? ¿BCF > 5000?	Polaridad Solubilidad
Bioacumulación: ¿C <sub>organismo</sub> = f(t)?	Polaridad, Solubilidad Velocidad de excreción
Biomagnificación: ¿Se acumula a lo largo de la cadena trófica?	Polaridad, Solubilidad

RM Flores

## CONDICIONES DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS TÓXICAS

- ¿Puede moverse el contaminante hasta el receptor?
- ¿Cuánto contaminante recibe el receptor?



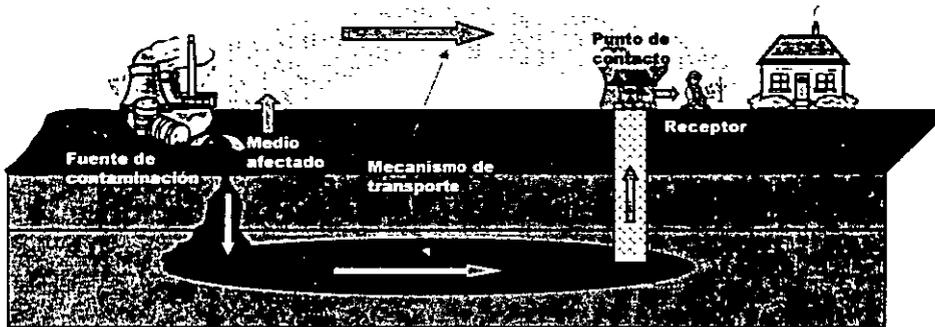
### RUTA DE EXPOSICIÓN

- ◆ Fuente de contaminación (derrame, fuga, , tiradero, etc)
- ◆ Medio contaminado (agua, suelo, aire, sedimentos)
- ◆ Mecanismo de liberación (sorción/desorción, solubilización)
- ◆ Mecanismo de Transporte (advección, difusión, etc)
- ◆ Punto de exposición (Pozo de agua potable)
- ◆ Receptores (seres humanos, animales, plantas)
- ◆ Vía de exposición (Ingestión, Inhalación, contacto dérmico)

RM Flores

# CONDICIONES DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS TÓXICAS

## ruta de exposición

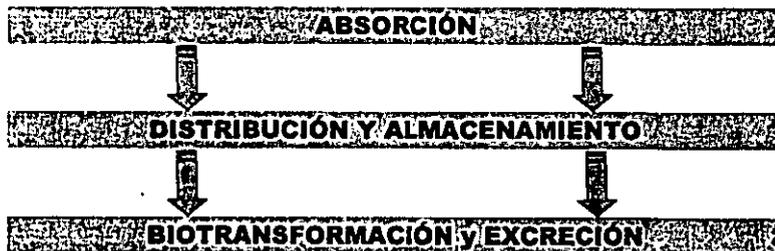


Fuente de contaminación: derrame      Medio afectado: suelo  
Transporte: erosión y dispersión/ advección , difusión, dispersión  
Punto de contacto: pozo, jardín      Receptor: humano  
Vía de exposición: ingestión, contacto dérmico, inhalación

RM Flores

# CONDICIONES DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS TÓXICAS

## VÍA DE EXPOSICIÓN



RM Flores

## CONDICIONES DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS TÓXICAS

### VÍA DE EXPOSICIÓN

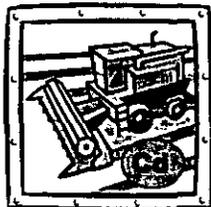
PROCESO	ABSORCIÓN	DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO	BIOTRANSFORMACIÓN Y EXCRECIÓN
DEPENDE DE	Medio Humedad del tejido Punto de Ingreso Lipofilicidad	Perfusión Lipofilicidad	Polaridad + excretan - biotransforman
MECANISMO	Difusión Absorción especializada	Difusión Absorción especializada	Transformación enzimática (metabolitos)

RM Flores

## CONDICIONES DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS TÓXICAS

### MAGNITUD DEL CONTACTO

¿Cuánto contaminante recibe el receptor?



- ✘ Concentración (mg Cd/kg suelo)
- ✘ Tasa de contacto (mg suelo/d)
- ✘ Tiempo de exposición (30 años)
- ✘ Frecuencia de la exposición (5 días a la semana)
- ✘ Relación entorno -individuo

RM Flores

## CONDICIONES DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS TÓXICAS

### MAGNITUD DEL CONTACTO: dosis

Condiciones de exposición



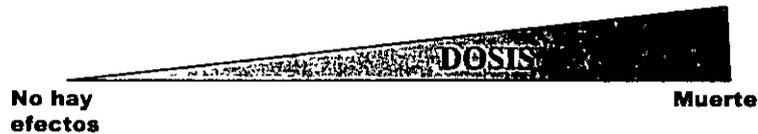
Dosis de exposición o dosis administrada

$Dosis = \text{mg compuesto} / \text{kg peso corporal} / \text{día}$

Tipos de dosis: ↗ administrada ✓

↗ absorbida

↗ efectiva



RM Flores

## CONDICIONES DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS TÓXICAS

Tipo de exposición	ATSDR	OTROS
Aguda	$t \leq 14$ días	$t \leq 1$ día
Subaguda		$t \leq 10$ día $t \leq 1$ mes
Subcrónica	$15 \leq t \leq 364$ días	$2 \text{ sem} \leq t < 7$ años $1 < t \leq 3$ meses
Crónica	$t \geq 365$ días	$t \geq 7$ años $t > 3$ meses

Efecto aditivo: efecto a + efecto b = efecto a + b = 1 + 1 = 2

Efecto sinérgico: efecto a + efecto b  $\gg$  efecto a + b = 10  $\gg$  2

E. Potenciación: efecto a + efecto c  $\gg$  efecto a = 10  $\gg$  1

E. Antagonismo: efecto a + efecto d = 0

efecto a = muerte de 1 célula      efecto b = muerte de 1 célula

efecto c = 0 muerte

efecto d = generación de 1 célula

RM Flores

## CONDICIONES DE EXPOSICIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS

### PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS

PROPIEDAD	INTERVALO	VALOR CRÍTICO
Solubilidad (mg/l H <sub>2</sub> O)	1 a 100,000	>500
Presión de vapor (mm Hg)	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>+4</sup>	>10 <sup>-3</sup>
Kow	-3 a 7 (log Kow)	>1 (log Kow)
H (atm m <sup>3</sup> /mol)	<3x10 <sup>-7</sup> a >1x10 <sup>-3</sup>	>10 <sup>-5</sup>
Koc (ml/g C.O.)	1 a 10 <sup>7</sup>	> 10,000
Kd (ml/g suelo)	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>+4</sup>	< 10

RM Flores

## EFECTOS DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

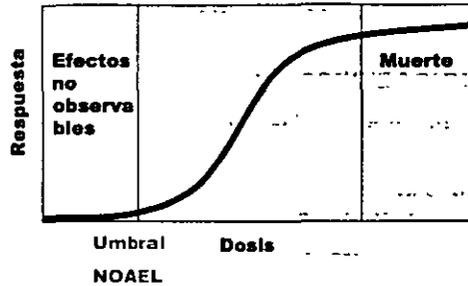
**CLASIFICACION APE**

CLASE	DESCRIPCIÓN
A	Cancerígeno para humanos: evidencias epidemiológicas
B1	Probablemente cancerígeno: evidencia en más de dos especies animales y con evidencia limitada en humanos
B2	Probablemente cancerígeno: evidencia en más de dos especies animales, pero sin evidencias o con evidencias inadecuadas en humanos
C	Posible cancerígeno para humanos: evidencia en una especie de animal y sin evidencia en humanos
D	No clasificable como cancerígeno para humanos: sin evidencia o evidencia inadecuada de carcinogenicidad en humanos o animales
E	Evidencias de que no produce cáncer en humanos: resultados negativos en pruebas de cáncer en más de dos especies de animales diferentes

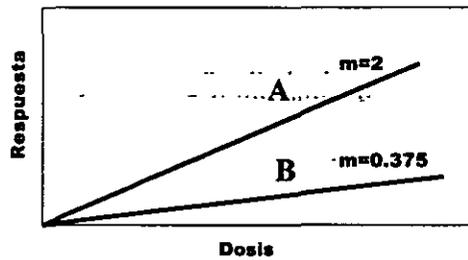
RM Flores

## EFECTOS DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

**Cancerígena**



**No Cancerígena**



RM Flores

## EFECTOS DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

NO CARCINOGENO

**DOSIS ACEPTABLE = DOSIS DE REFERENCIA (DRf, RfD)**

Dosis a la que no se esperan efectos adversos

$$DRf = \text{NOAEL} / [(10)(10)(10)] = \text{mg/kg} \cdot \text{d}$$

CARCINOGENO

**DOSIS ACEPTABLE = DOSIS PARA LA QUE LA PROBABILIDAD ADICIONAL DE ADQUIRIR CÁNCER ES ACEPTABLE = DOSIS DE RIESGO ACEPTABLE**

**RIESGO ACEPTABLE =  $1 \times 10^{-4}$  A  $1 \times 10^{-6}$**

$$= \text{Dosis} \times \text{FPC}$$

$$\text{FPC} = \text{m recta dosis-respuesta} = (\text{mg/kg} \cdot \text{d})^{-1}$$

**FACTOR DE PENDIENTE DE CÁNCER (FPC, CSF)**

Potencia de la sustancia química

RM Flores

## EFFECTOS DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

NO  
C  
O  
N  
C  
I  
E  
N  
C  
I  
A

¿Dosis > Dosis de referencia? → Posible efecto adverso (riesgo)

Supongamos: Dosis = 0.1 mg/kg·d     $D \gg DR_f$

$DR_f = 0.001 \text{ mg/kg}\cdot\text{d}$



O  
S  
C  
U  
L  
O  
S

¿Dosis > Dosis que produce riesgo aceptable? → Probable...  
desarrollo de cáncer (riesgo)

Supongamos: Riesgo aceptable =  $1 \times 10^{-6} = \text{Dosis} \times \text{FPC}$

$\text{FPC} = 0.375 \text{ (mg/kg}\cdot\text{d)}^{-1}$

∴ Dosis aceptable =  $1 \times 10^{-6} / \text{FPC} = 2.6 \times 10^{-6} \text{ mg/kg}\cdot\text{d}$

Dosis = 0.1 mg/kg·d

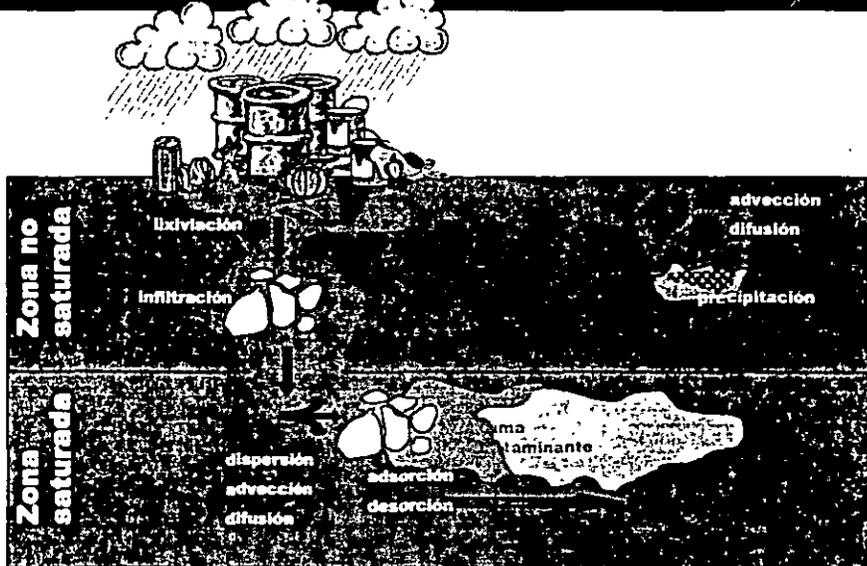
$D \gg \text{Dosis de riesgo aceptable}$



RM Flores

## TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

S  
U  
B  
S  
U  
E  
L  
O



RM Flores

## TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

### ECUACIÓN DE TRANSPORTE

**A  
g  
u  
a  
  
s  
u  
b  
t  
e  
r  
r  
á  
n  
e  
a**

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \underbrace{-u \frac{\partial C}{\partial x}}_{\text{advección}} + \underbrace{D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}}_{\text{dispersión}} - \underbrace{\frac{\rho_b}{\Sigma} \frac{\partial S}{\partial t}}_{\text{reacciones}} + \left( \frac{\partial C}{\partial t} \right)_{rn}$$

**u** = velocidad promedio del fluido (m/seg)

**C** = concentración del soluto en la fase acuosa (gm/m<sup>3</sup>)

**x** = distancia en la dirección del flujo (m)

**D** = coeficiente de dispersión (m<sup>2</sup>/seg)

**ρ<sub>b</sub>** = densidad aparente del suelo (gm/m<sup>3</sup>)

**Σ** = fracción de vacíos del suelo (adimensional)

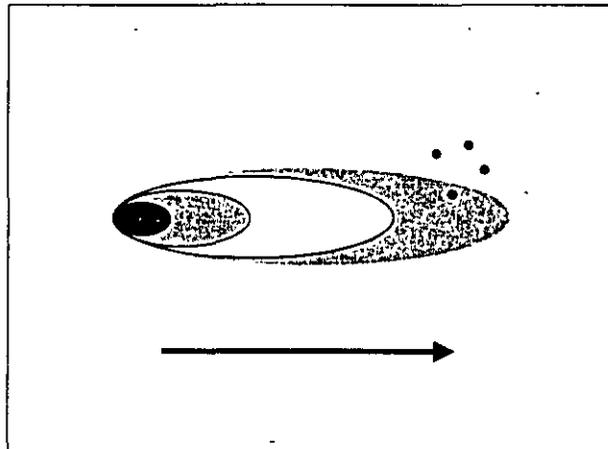
**S** = masa de soluto adsorbida por unidad de masa seca de suelo (gm/gm)

**t** = tiempo (seg)

**r n** = reacciones químicas y/o degradación biológica

RM Flores

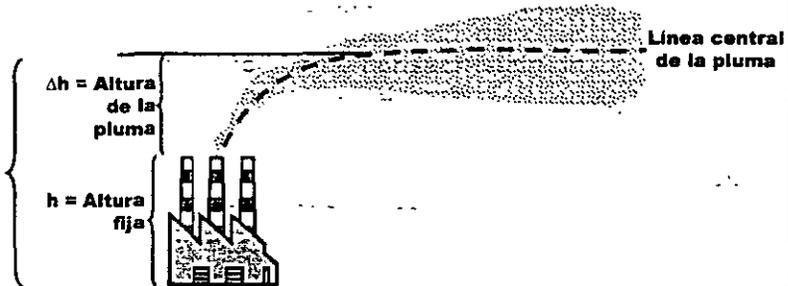
## TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS



RM Flores

## TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

A  
i  
r  
e



- Velocidad del viento → dilución, dispersión ...
- Estabilidad atmosférica

RM Flores

## TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

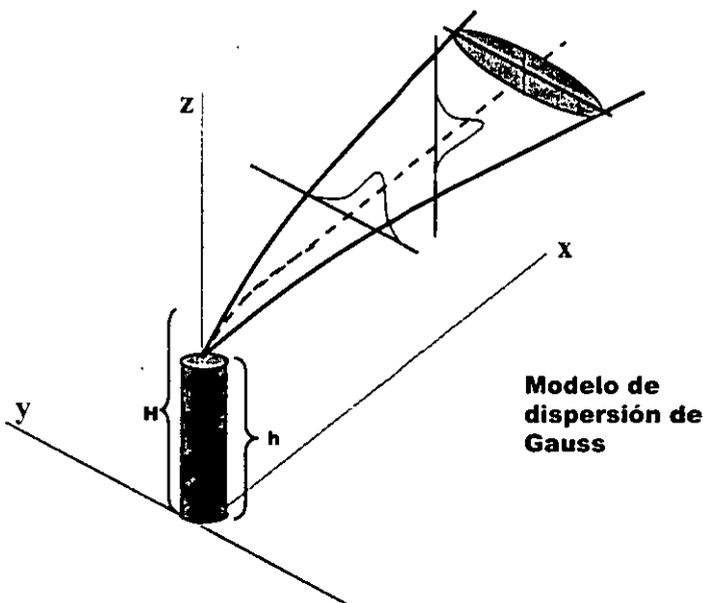
A  
i  
r  
e

CATEGORÍAS DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA DE PASQUILL	
CLASE	CARACTERÍSTICA
A	Extremadamente inestable
B	Inestable
C	Ligeramente inestable
D	Neutral
E	Ligeramente estable
F	Estable o extremadamente estable

RM Flores

## TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

A  
i  
r  
e



Modelo de dispersión de Gauss

RM Flores

## TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

A  
i  
r  
e

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

**C** = concentración del contaminante en las coordenadas x, y, z (mg/m<sup>3</sup>)

**Q** = tasa de emisión de los contaminantes (mg/seg)

$\sigma_y, \sigma_z$  = desviación estándar horizontal y vertical de los contaminantes a lo largo de la línea central de la pluma

**u** = velocidad promedio del viento (m/seg)

**x** = distancia a lo largo de la línea central de la pluma en la dirección del viento (m)

**y** = distancia perpendicular a la línea central de la pluma (m)

**z** = distancia vertical a partir del nivel del suelo (m)

**H** = altura efectiva de la pluma

**Gases y partículas < 20 μm**

RM Flores

## TRANSPORTE DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

**A  
i  
r  
e**

Puede aplicarse este modelo a emisiones de área (ejemplo: área de suelo contaminado), donde interesa la concentración a nivel del piso y en el sitio de mayor concentración (a lo largo de la línea central de la pluma). En este caso:

$$H = 0$$

$$y = 0$$

$$z = 0$$

$$C(x,0,0) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

RM Flores

## EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD

Es el proceso para estimar la probabilidad ocurrencia de daño en el ser humano como consecuencia de su exposición a sustancias tóxicas.



1. Identificación del peligro
2. Evaluación dosis-respuesta
3. Evaluación de la exposición
4. Caracterización del riesgo

RM Flores

## EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD

### IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

#### INFORMACIÓN

- Uso de suelo actual y futuro
- Geología, geohidrología, climatología

#### MODELOS

- Uso de información geohidrológica para predecir concentraciones, área de afectación
- Uso de modelos de dispersión atmosférica

#### CARACTERIZACIÓN

- Muestreo de los medios afectados
- Selección de compuestos químicos de interés:
  - alta concentración
  - gran persistencia
  - alta toxicidad (carcinogenicidad, teratogenicidad, envenenamiento)
  - gran movilidad
  - interés público

RM Flores

## EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD

### EVALUACIÓN DOSIS-RESPUESTA

#### • TOXICIDAD

¿Qué efectos produce?

#### • NO CANCERÍGENOS

DOSIS DE REFERENCIA (RfD)

Dosis a la que un compuesto no produce efectos adversos (mg/kg·d)

#### • CANCERÍGENOS

FACTOR DE PENDIENTE DE CÁNCER (SF)

Pendiente de la curva respuesta (mg/kg·d)<sup>-1</sup>

#### • BASES DE DATOS

○ IRIS (Integrated Risk Information System, <http://www.epa.gov/iris>)

○ HEAST (Health Effects Summary Tables, National Technical Information Service)

RM Flores

## EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD

### EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

#### RUTAS DE EXPOSICIÓN

Ruta que sigue el compuesto desde la fuente hasta el receptor

- ▲ Fuente de contaminación
- ▲ Mecanismo de migración (lixiviación, erosión)
- ▲ Medio de exposición (agua, aire, suelo, sedimento, alimento)
- ▲ Punto de exposición
- ▲ Receptor

#### VÍAS DE EXPOSICIÓN

Vías de ingreso al organismo

- ▲ Ingestión: agua, suelo, alimentos
- ▲ Inhalación: vapores, aerosoles o partículas
- ▲ Contacto dérmico: partículas principalmente

#### FACTORES DE EXPOSICIÓN

Características de la población expuesta:

- ▲ Peso corporal (kg)
- ▲ Tasa de ingestión de agua (l/d)
- ▲ Tasa de ingestión de suelo (mg/d)
- ▲ Tasa de ventilación pulmonar (m<sup>3</sup>/d)
- ▲ Duración de la exposición (años)
- ▲ Frecuencia de exposición (d/año)

RM Flores

## EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD

### CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

#### PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN FÓRMULAS

Parámet	Descripción	Valor
C	Concentración suelo	Análisis
FPCo	Factor de pendiente de cáncer oral	Específico
DRFo	Dosis de referencia oral	Específico
BW	Peso corporal (kg)	70 adultos 15 niños
AT	Tiempo promedio de duración del efecto(años)	70 cáncer 30 adul. no cáncer 6 niños no cáncer
EF	Frecuencia de exposición (d/año)	350 d/año
ED	Duración de la exposición (años)	30 años adultos 6 años niños
IRs	Tasa de ingestión de suelo (mg/d)	100 mg/d adultos 200 mg/d niños
10 <sup>-4</sup> kg/mg	Factor de conversión	—

RM Flores

## EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD

### CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

#### VÍA DE EXPOSICIÓN: INGESTIÓN DE SUELO

$$\text{Riesgo (no cancerígenos)} = \frac{C \times 10^{-6} \text{ kg/mg} \times \text{EF} \times \text{ED} \times \text{IR}_{\text{suelo}}}{\text{BW} \times \text{AT} \times 365 \text{ d/año}} \times \frac{1}{\text{DRfo}}$$

↳ HQ

$$\text{Riesgo (cancerígenos)} = \frac{C \times 10^{-6} \text{ kg/mg} \times \text{EF} \times \text{ED} \times \text{IR}_{\text{suelo}}}{\text{BW} \times \text{AT} \times 365 \text{ d/año}} \times \text{FPCo}$$

RM Flores

## RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS

### RIESGO DE LOS RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS

1. Que contengan microorganismos vivos
2. Que sean virulentos
3. Que se encuentren en una dosis infectiva
4. Que encuentren una vía de ingreso al organismo
5. Que los individuos expuestos sean susceptibles y carezcan de defensas

RM Flores

## EVALUACIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO

Es el proceso para estimar la posibilidad (¿probabilidad?) de ocurrencia de daño en el entorno ecológico como consecuencia de su exposición a sustancias tóxicas.



1. Formulación de problema
2. Caracterización de la exposición y caracterización de los efectos
3. Caracterización del riesgo

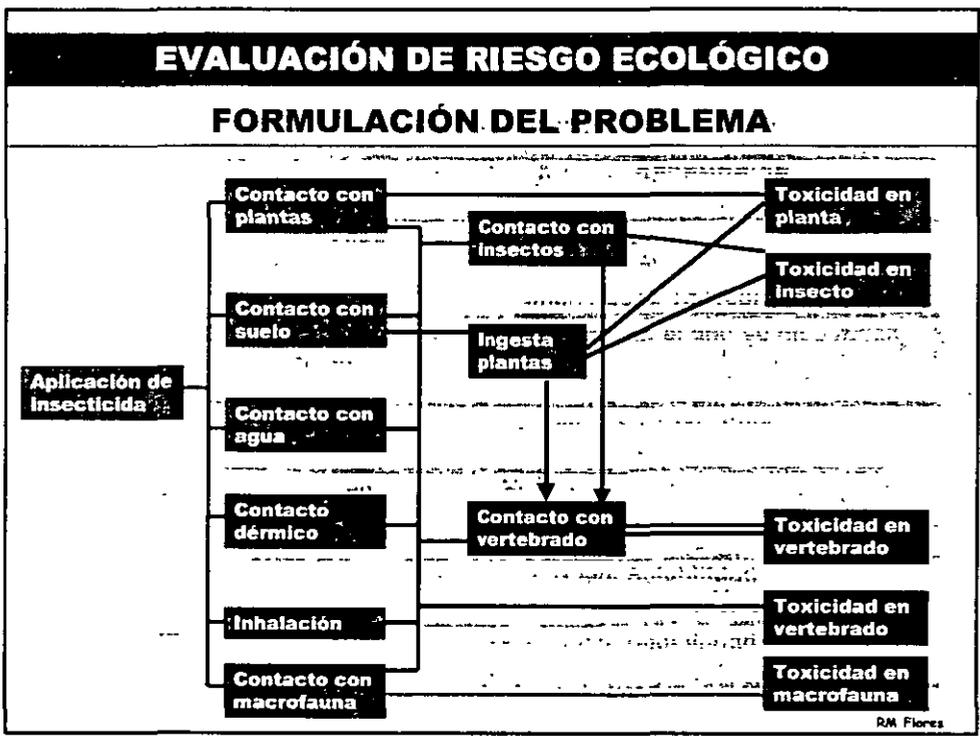
RM Flores

## EVALUACIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO

### FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1. Identificación de fuentes de contaminación
2. Identificación de organismos expuestos
3. Selección de organismos objetivo
4. Selección de propiedades a evaluar
5. Elaboración de modelo conceptual

RM Flores



## EVALUACIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO

### CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN Y DE EFECTOS

**1. Perfil de exposición: Evidencias de que existe contacto**

**2. Perfil de efectos: Evidencias de que el contacto está teniendo efectos adversos**

**Aplicación de concentraciones de referencia:**

$$HQ = \frac{C_{medio}}{mg/kg \cdot d}$$

$$= \frac{mg/kg, mg/l}{mg/kg \cdot d}$$

?

RM Flores

## **EVALUACIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO**

### **CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO**

**Determinar con base en la información obtenida y las observaciones realizadas si es posible que los receptores objetivo estén en riesgo.**

RM Flores

*Gracias*

RM Flores



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

## **MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

### **TEMA**

## **MARCO NORMATIVO MEXICANO EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS**

**EXPOSITOR: ING. GUSTAVO SOLORZANO OCHOA  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

# Marco normativo mexicano en materia de residuos peligrosos

*Gustavo Solórzano Ochoa*

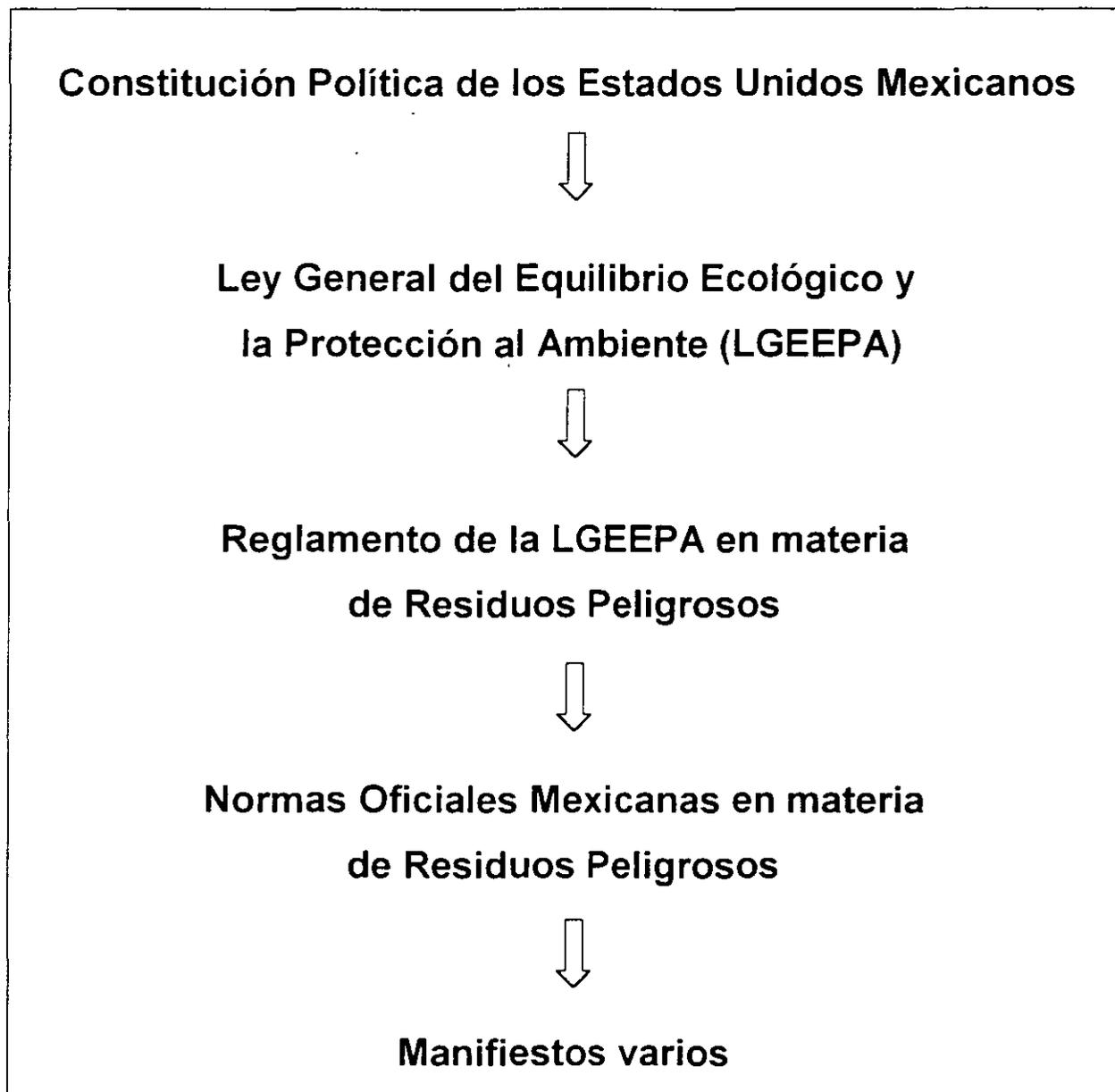
Los aspectos legales y normativos relacionados de manera específica con los **residuos peligrosos**, fueron desarrollados en México a partir del año de **1988** por la entonces **SEDUE**. Desde entonces, los avances en esta materia han sido limitados, representados por la revisión de una ley así como la publicación de una nueva norma oficial mexicana. En paralelo, se ha revisado también el Reglamento en materia de residuos peligrosos y algunas normas adicionales, pero que a la fecha aún no han sido publicados o entrado en vigor formalmente

Cabe señalar que, si bien son varias las dependencias del Ejecutivo Federal involucradas en la elaboración y publicación de ordenamientos relacionados con los **RP**, en este documento se presta especial atención a los ordenamientos generados por la hoy Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (**SEMARNAT**). Se incluyen también, aunque de manera menos detallada los ordenamientos relacionados emitidos por **SCT**.

## 1. Marco jurídico general.

El elemento normativo básico del que emanan todos los ordenamientos jurídicos en México se encuentra representado por la **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** y, en orden jerárquico, las **leyes**, los **reglamentos**, y las **normas** (normas oficiales mexicanas). Así, una ley sobre un concepto específico requiere de

reglamentos y normas para que pueda ser aplicada. El siguiente esquema muestra la estructura jerárquica del sistema normativo en México, para el caso particular de los residuos peligrosos:



Existen, como se mencionó con anterioridad, otras dependencias del Ejecutivo que han emitido ordenamientos en relación a los RP, como son la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la Secretaría de Salud (SSA), etc.

## 2. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Este ordenamiento, promulgado el **5 de febrero de 1917**, no menciona de manera explícita y directa aspectos relacionados con los **RP**. Sin embargo, establece claramente en varios de sus artículos los conceptos básicos que dan fundamento y origen a los ordenamientos de nivel jerárquico inferior.

De esta manera, en el **artículo 4** se menciona el derecho de toda persona a la **protección de su salud**, señalando que el desequilibrio del ecosistema no afecte a la población y en especial al individuo. El **artículo 24** se refiere al uso de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente, mientras que el **artículo 27** incorpora el concepto de conservación de los recursos naturales, así como el de prestar atención a los centros de población para preservar y restaurar el equilibrio ecológico. Por su parte, el **artículo 73** menciona el aspecto de expedición de leyes en materia de **protección al ambiente** y de preservación y restauración del equilibrio ecológico.

## 3. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

Esta Ley fue publicada originalmente en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el **28 de enero de 1988**, y posteriormente fue modificada y la versión correspondiente se publicó en el DOF el viernes 13 de diciembre de 1996.

La LGEEPA se encuentra estructurada en seis títulos y compuesta por un total de 214 artículos (incluyendo 10 transitorios), se mencionan a continuación aquéllos directamente relacionados con los **RP**.

En el Título Primero, Capítulo I (**artículo 3°**) **define**, entre otros conceptos, a los **residuos peligrosos**: *“todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por*

*sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente”.*

El **artículo 5°** establece que la regulación de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos son facultades de la Federación. Los **artículos 7° y 8°** establecen las atribuciones de la Secretaría en el ámbito de los **RP** frente a los otros niveles de gobierno.

Asimismo, el Capítulo VI (Materiales y Residuos Peligrosos) del Título Cuarto (Protección al Ambiente), está dedicado exclusivamente a los **RP**, si bien cuenta únicamente con seis artículos (la versión primera de la Ley contemplaba cuatro). El **artículo 150** determina que los **RP** deberán ser manejados con arreglo a la Ley, Reglamento y normas aplicables. Por su parte, el **artículo 151** determina que la responsabilidad del manejo y disposición final de los **RP** corresponde a quien los genera, mencionando además la responsabilidad de las empresas manejadoras de **RP**.

El **artículo 151bis** establece la obligatoriedad de requerir la autorización previa de la Secretaría para instalar y operar sistemas de cualquier tipo de manejo de **RP**, y el **artículo 152** menciona la promoción de programas de minimización, reuso y reciclaje de **RP**. En el **artículo 152bis** se cita la obligatoriedad de recuperar suelos dañados por **RP**. Finalmente, el **artículo 153** menciona las condiciones que deben observarse en la eventual importación y exportación de **RP**.

#### **4. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos.**

Posterior a la primera publicación de la LGEEPA, el 25 de noviembre de 1988 apareció en el DOF el *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos*, con objeto de proveer de

un instrumento para el desarrollo y aplicación de los conceptos establecidos en la LGEEPA.

Este reglamento, actualmente en proceso de modificación, está estructurado en cinco capítulos ordenados de la siguiente manera.

- Capítulo I. Disposiciones generales.
- Capítulo II. De la generación de residuos peligrosos.
- Capítulo III. Del manejo de residuos peligrosos
- Capítulo IV. De la importación y exportación de residuos peligrosos.
- Capítulo V. De las medidas de seguridad y control y sanciones.

Es importante destacar que la nueva versión de este **Reglamento**, cuya propuesta modificada elaborada por la **DGMRAR** se encuentra actualmente en revisión, contempla un enfoque diferente para incluir no solamente residuos peligrosos. De esta forma, el nuevo ordenamiento propuesto lleva el título de **Reglamento en Materia de Materiales y Residuos Peligrosos y Actividades Consideradas como Altamente Riesgosas**. Entre las novedades a destacar en este documento, además de las que sugiere el propio título del ordenamiento, se encuentra la separación entre grande y pequeño generador, así como en la categorización de la peligrosidad de un residuo, conceptos que anteriormente no eran considerados por la autoridad competente.

## 5. Normas Oficiales Mexicanas.

En el último nivel de la estructura jerárquica del marco normativo, se encuentran las normas oficiales mexicanas (**NOM**) en materia de residuos peligrosos. A partir de 1988, la **SEDUE** publicó **siete normas** en materia de residuos peligrosos, denominadas en ese momento Normas Técnicas Ecológicas (**NTE**). Con la publicación de la **Ley Federal de Metrología y Normalización**, publicada el 16 de

julio de **1992**, se modificaron ciertas condiciones entre las cuales se planteaba la homogeneización de la nomenclatura de las normas mexicanas. De esta manera, mediante Decreto publicado el **29 de noviembre de 1994**, las siete normas técnicas ecológicas en materia de **RP** actualmente presentan la siguiente nomenclatura (se anota entre paréntesis la anterior):

- **NOM-052-ECOL-1993**, 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 (antes NOM-CRP-001-ECOL/93).
- **NOM-053-ECOL-1993**, 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 (antes NOM-CRP-002-ECOL/93).
- **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 (antes NOM-CRP-003-ECOL/93).
- **NOM-055-ECOL-1993**, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radiactivos (antes NOM-CRP-004-ECOL/93).
- **NOM-056-ECOL-1993**, que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (ANTES NOM-CRP-005-ECOL/93).
- **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 (antes NOM-CRP-006-ECOL/93).

- **NOM-058-ECOL-1993**, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (antes NOM-CRP-007-ECOL/93).
- **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 (publicada en el **DOF** el 11 de noviembre de 1995).

Estas normas se convierten así en los instrumentos que permiten la aplicación última de los conceptos legales de la Ley y su Reglamento, y permiten a la autoridad competente la vigilancia y aplicación de sanciones en caso de infringir lo establecido en los mencionados ordenamientos.

Por otro lado, es importante mencionar que actualmente se encuentran en revisión algunas de estas normas, e igualmente existen varios proyectos de nuevas normas, que se discuten más adelante.

## 6. Otros ordenamientos.

Además de los cuatro elementos de la estructura jerárquica descritos con anterioridad, existen otros ordenamientos publicados por la autoridad en materia ambiental en relación directa con los **RP**. Estos consisten básicamente en manifiestos que deben ser presentados y elaborados por los generadores de **RP** o bien por aquellas entidades dedicadas al manejo de los mismos. Estos documentos son:

- Manifiesto para empresas generadoras de **RP** (DOF 3 de mayo de 1989)
- Manifiesto de entrega, recepción y transporte de **RP** (DOF 3 de mayo de 1989)

- Manifiesto para casos de derrame de **RP** por accidente (DOF 3 de mayo de 1989)
- Reporte semestral de **RP** recibidos para reciclaje o tratamiento (DOF 3 de mayo de 1989)
- Reporte mensual de **RP** confinados en sitios de disposición final (DOF 3 de mayo de 1989)
- Reporte semestral de **RP** enviados para su reciclaje, tratamiento, incineración o confinamiento (DOF 3 de mayo de 1989)
- Manifiesto para empresas generadoras eventuales de bifenilos policlorados (Gaceta Ecológica N° 11, noviembre 1990)

Con excepción del último manifiesto, la observancia en la elaboración y presentación de estos documentos aplica para los generadores de residuos peligrosos, así como para las empresas que ofrecen los servicios de recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

## **7. Normas Oficiales Mexicanas en proceso.**

Actualmente la autoridad y el grupo de trabajo correspondiente se encuentran en proceso de actualizar algunas **NOM** ya publicadas con anterioridad; igualmente, de manera simultánea se están elaborando las nuevas **NOM** consideradas como faltantes. A continuación se revisa cada uno de estos dos casos.

### **7.1 Normas actuales en proceso de revisión**

#### **NOM-052-ECOL-1993**

Esta norma, que lista los residuos considerados como peligrosos en México, fue modificada y aprobada por el grupo de trabajo correspondiente el pasado mes de **agosto de 2000**; sin embargo, aún no ha sido publicada en el **DOF**.

La versión modificada de esta norma presenta cambios interesantes, ya que un factor fundamental que determina el tamaño del mercado de los **RP** es precisamente el que determina cuál residuo es peligroso y cuál no. En este sentido, la nueva **NOM-052** por una parte ha eliminado del listado a ciertos residuos considerados anteriormente como peligrosos, y ha agregado otros antiguamente considerados como no peligrosos.

En forma adicional, introduce el concepto de residuo de **baja peligrosidad**, donde se ubican algunos materiales que de acuerdo a la autoridad presentan esta característica. En esta categoría se ubica al *thinner*; fluidos hidráulicos gastados (sic); residuos biológico infecciosos; solventes de talleres gráficos; solventes, gasolina y diesel de talleres mecánicos y estaciones de gasolina; ciertas pilas y baterías, lámparas de vapor de mercurio, medicamentos caducos, etc. La principal consecuencia de esta medida, es que la vigilancia y aplicación de la normatividad para estos residuos, gradualmente será transferida a estados y municipios. Aquí el aspecto inquietante se encuentra representado por el hecho de que no se cuenta con la certeza de que las entidades federativas y municipios, cuenten con los recursos para la aplicación de la normatividad; igualmente, no se puede asegurar el interés y la voluntad para hacerlo, suponiendo que cuenten con los recursos necesarios para ello.

### **NOM-087-ECOL-1995**

Con anterioridad a la **NOM-052**, esta norma fue revisada por el grupo de trabajo correspondiente, con el resultado más destacado de haber eliminado ciertos materiales de la lista de residuos catalogados como peligrosos. En consecuencia, la demanda del servicio de transporte, tratamiento, etc, para este tipo de residuos, se vio significativamente disminuida, con el consecuente disgusto de los propietarios de instalaciones y equipos de transporte (la asociación que agrupa a los tratadores de RPBI menciona que la entrada en vigor de la norma revisada disminuirá el mercado

de estos residuos en un **35%**, para quedar en unas **63 ton/día**. La capacidad instalada para el tratamiento supera en el 2001 las **600 ton/día**).

Sobre este proceso puede decirse que la fuerte presión ejercida por la **Secretaría de Salud** sobre el **INE** para modificar la norma fue un elemento decisivo en su modificación, debido a los recursos que esa Secretaría debía erogar por concepto de manejo de **RPBI**.

## 7.2 Normas nuevas

### **NOM-098-ECOL-2000 Protección ambiental: incineración de residuos especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.**

Esta norma, que después de varios años de ser discutida fue publicada como **proyecto** el **8 de septiembre de 2000**, establece las condiciones en que deben operar los incineradores de residuos en México, tanto peligrosos como no peligrosos. Como parte fundamental se destacan los límites máximos permisibles para una serie de parámetros, sumamente estrictos para los estándares convencionales de operación de este tipo de equipos en México, los cuales han sido adquiridos e instalados cuando no existían referencias normativas. Otro aspecto importante es el plazo para que los equipos que estén operando al momento de entrada en vigor de la norma cumplan con los límites (12 meses).

La discusión de los comentarios enviados por el público dio inicio en reunión efectuada el **14 de febrero de 2001**, y se espera su publicación como **NOM** en el segundo semestre de ese año.

### **NOM-101-ECOL-2000, que establece los requisitos y especificaciones para el manejo de aceites lubricantes usados de motores de combustión interna.**

El objeto de esta norma es que no se pierda el control sobre los aceites usados, una vez que dejen de ser catalogados como peligrosos con la entrada en vigor de la **NOM-052**. Actualmente existe un anteproyecto, sujeto a discusión por lo que no se espera su publicación como proyecto sino hasta el segundo semestre de 2001.

### **NOM-133-ECOL-1999 que establece las especificaciones para el manejo de bifenilos policlorados (BPC's)**

Los bifenilos policlorados forman parte del grupo de sustancias de atención prioritaria en los acuerdos paralelos en materia de medio ambiente, en el seno del **TLCAN**. De esta forma, se trabajó de manera especial en la elaboración de la norma correspondiente al manejo de estas sustancias, la cual fue publicada como proyecto, pero aún no ha sido publicada como **NOM**.

### **8. Ordenamientos de otras dependencias.**

Además de la autoridad en materia ambiental, existen otras dependencias del ejecutivo federal que han elaborado y publicado ordenamientos que se relacionan directa o indirectamente con el manejo de los **RP**. La **Secretaría de Salud** interviene en lo relativo a **RPBI**, considerados como peligrosos en México, pero como se ha mencionado este tipo de residuos no es tratado en este documento excepto en casos muy particulares.

Por su importancia e implicaciones en el movimiento transfronterizo de **RP**, y el transporte nacional de estos materiales, se mencionan aquí los ordenamientos de la **Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT**.

Esta dependencia es la responsable de elaborar y publicar los ordenamientos necesarios en materia de transporte de **RP** en vías generales de comunicación terrestre. En consecuencia, aquellos interesados en prestar el servicio de transporte

de **RP**, sean los propios generadores o un tercero, deberán apegarse a lo establecido en la normatividad emitida por la **SCT**, cuando los vehículos que en su interior transporten **RP** transiten por las mencionadas vías de comunicación.

### **8.1 Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.**

Este Reglamento, publicado en el DOF el 7 de abril de 1993, está estructurado en nueve títulos que comprenden 136 artículos, ordenados de la siguiente manera:

- **Título Primero** Disposiciones Generales
- **Título Segundo** Del envase y el embalaje
- **Título Tercero** De las características, especificaciones y equipamiento de los vehículos motrices y unidades de arrastre a utilizar
- **Título Cuarto** De las condiciones de seguridad
- **Título Quinto** Del transporte en vías de jurisdicción federal
- **Título Sexto** De las disposiciones especiales del transporte de residuos peligrosos
- **Título Séptimo** De la responsabilidad
- **Título Octavo** De las obligaciones específicas

Conviene señalar aquí que la **SCT** no se apega a la clasificación de **RP** establecido en la **NOM-052-ECOL-1993**, sino que utiliza en este Reglamento una clasificación de las sustancias peligrosas, aun cuando el título del mismo menciona a los **RP**. Esto se deriva del hecho que existen sustancias peligrosas que no son residuos, frecuentemente mucho más peligrosas que estos últimos, por lo que se tiene que establecer una forma de clasificación más amplia. Existe por otra parte el hecho de que, como se ha mencionado con anterioridad, la **SEMARNAT** no ha elaborado aún el listado de materiales peligrosos, como lo establece la **LGEEPA** de 1988. La clasificación establecida por la **SCT** para las sustancias peligrosas es como sigue:

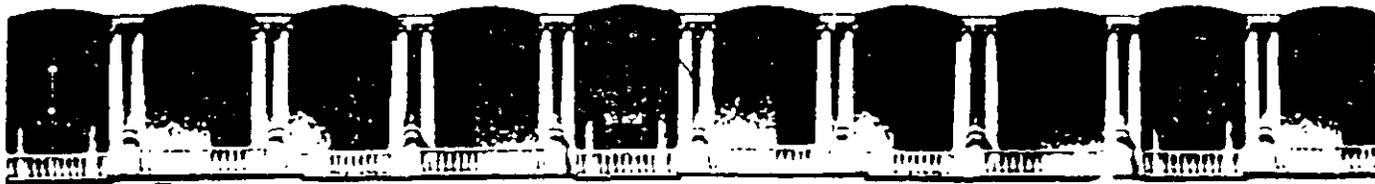
- **Clase 1** Explosivos
- **Clase 2** Gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión
- **Clase 3** Líquidos inflamables
- **Clase 4** Sólidos inflamables
- **Clase 5** Oxidantes y peróxidos orgánicos
- **Clase 6** Tóxicos agudos (venenos) y agentes infecciosos
- **Clase 7** Radiactivos
- **Clase 8** Corrosivos
- **Clase 9** Varios.

## 8.2 Normas Oficiales Mexicanas SCT.

Con objeto de dotar a la autoridad competente con instrumentos específicos para la aplicación del Reglamento descrito en el apartado anterior, la **SCT** ha publicado una serie de normas oficiales mexicanas relacionadas con el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos. A continuación se mencionan aquellas normas que pueden tener relación más estrecha con el transporte por carretera de **RP**.

- **NOM-003-SCT2-1993** Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-004-SCT2-1994**. Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-005-SCT2-1994**. Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-006-SCT2-1994**. Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos.

- **NOM-007-SCT2-1994.** Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.
- **NOM-010-SCT2-1994.** Disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-019-SCT2-1994.** Disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes de sustancias y residuos peligrosos en las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-021-SCT2-1994.** Disposiciones generales para transportar otro tipo de bienes diferentes a las sustancias, materiales y residuos peligrosos en unidades destinadas al traslado de materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-043-SCT2-1995.** Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

## **MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

### **TEMA**

#### **✓ POLITICA DE LA GESTION DE LOS RESIDUOS**

**EXPOSITOR: M. EN C. CINTIA MOSLER G.  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

# CURSO RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS POLÍTICA DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

Cintia Mosler G.

Programa Universitario de Medio Ambiente, UNAM  
Edif. anexo a la Coordinación de la Investigación Científica, Circuito Exterior de Ciudad Universitaria,  
04510, México, D.F.  
Tels. (+52-) 56-22-41-68, 56-22-41-70, 56-06-10-43, 56-66-52-01  
Fax. (+52) 55-50-88-15, 56-06-17-85  
cmosler@servidor.unam.mx

El crecimiento poblacional, la explotación inmoderada de recursos, el uso de tecnologías inapropiadas, la economía de desperdicio con ausencia de una visión integrada del "ciclo de vida" de los productos, una insuficiente educación y conciencia ambientales y las fallas en los sistemas de intervención gubernamental, entre otros factores, han sido determinantes en los problemas de los residuos peligrosos del presente. En la sociedad actual, resultado de un vertiginoso proceso de evolución social relativamente reciente, se está configurando un nuevo orden económico, político, social, cultural y educativo.

Un análisis de la gestión de los residuos peligrosos en México podría cuestionar lo siguiente: ¿Qué ha impulsado la gestión de los residuos peligrosos en México?, ¿Cuáles son los problemas más críticos y en qué medida se han atendido?, ¿La política es sustentable?, ¿Qué principios de política se han aplicado?, ¿Qué se ha logrado? y ¿Qué falta por hacer?

Si el manejo<sup>1</sup> de los residuos peligrosos fuera simplemente un aspecto que pudiera atenderse mediante la aplicación de la ciencia y la tecnología, sería relativamente fácil de manejar, pero la gestión de los residuos peligrosos también es un aspecto político, las soluciones se desarrollan y deciden en un ambiente político. Entender la naturaleza de estos asuntos políticos es imperativo en el planteamiento de los principios<sup>2</sup>, políticas<sup>3</sup>, instrumentos<sup>4</sup>, herramientas<sup>5</sup> y medidas<sup>6</sup> (1) para la gestión del manejo de los residuos peligrosos, así como en su evaluación.

---

<sup>1</sup> Manejo - El conjunto de operaciones que incluyen el almacenamiento, recolección, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de los residuos peligrosos

<sup>2</sup> Principio - La verdad fundamental o ley, la base del razonamiento o la acción. Por ejemplo: el principio del que contamina paga, responsabilidad compartida, el usuario paga, y de precaución.

<sup>3</sup> Política - Es un plan para la acción, adoptado o llevado a cabo por instituciones, gobiernos, corporaciones, etc. Una política, por consiguiente, es una estrategia basada en ciertos principios y compuesta por diferentes instrumentos, así como por una administración y estructura para soportar su implantación

<sup>4</sup> Instrumento - Es la estructura individual establecida por una entidad, por ejemplo: un gobierno para influenciar o determinar el comportamiento de otra entidad, como: los consumidores, industria, etc. Por ejemplo: los gobiernos pueden especificar los límites de descarga

Primeramente analicemos cuáles son los principios, políticas, instrumentos y medidas en materia de residuos peligrosos.

Los principios que sustentan la política de manejo de los residuos peligrosos son:

- *Reducción en la fuente*, implica que se debe minimizar la generación de residuos, tanto en cantidad como en su potencial contaminante.
- *Inventario de ciclo de vida*, demanda que las sustancias y productos se diseñen y manejen de manera que se reduzcan al mínimo sus impactos adversos al ambiente, en cada una de sus fases del ciclo de vida: generación, uso, recuperación y disposición final.
- *Control integral de la contaminación*, que requiere que el manejo de los residuos se realice con un enfoque multimedios, para evitar su transferencia
- *Autosuficiencia*, que demanda que se cuente con la infraestructura necesaria para asegurar que los residuos se manejen adecuadamente
- *Proximidad*, busca que el acopio, reciclado, tratamiento y disposición final de los residuos tenga lugar tan cerca como sea posible del lugar donde se generan, y que sea técnicamente y económicamente factible.
- *Quien contamina paga*, hace responsable de remediar las consecuencias de la contaminación por disposición inadecuada de los residuos a quien los produzca:
- *Participación pública*, demanda que se informe e involucre al público al diseñar e instrumentar los sistemas de manejo integral de residuos.

La política identifica como una prioridad evitar la generación de residuos y, en segundo lugar, llevar a cabo su reuso, reciclado o regeneración. El tratamiento constituye la tercera opción y tiene como propósito destruirlos o reducir su volumen y peligrosidad. Mientras que el confinamiento es considerado la última alternativa y sólo para aquellos residuos que no puedan ser manejados de otra manera. En cuanto a los residuos potencialmente reciclables, éstos sólo deberían ser confinados cuando no sea técnica o económicamente factible reciclarlos o tratarlos mediante otros métodos.

Sector gubernamental. La política que trata con los residuos peligrosos es un asunto complejo. Gran parte de la complejidad proviene de la ciencia y la tecnología que están involucradas en el manejo de los residuos, pero gran parte también resulta de las

---

de contaminantes para ciertos procesos, o pueden alentar que las compañías adopten un sistema de administración ambiental a través de una certificación gubernamental. Los instrumentos están diseñados para implantar las políticas

<sup>5</sup> **Herramienta** - Es una metodología usada para entender o medir los riesgos ambientales de un producto o proceso. Por ejemplo: evaluación de impacto ambiental, evaluación del ciclo de vida. Las herramientas pueden usarse tanto por la industria como por el gobierno. No siempre existe una distinción clara entre los instrumentos y las herramientas. Por ejemplo: los gobiernos pueden requerir a través de la legislación o pueden alentar a las compañías a adoptar un sistema de administración ambiental. Lograr que la industria use un sistema de administración ambiental requeriría un instrumento, tal como un sistema o marco para la certificación. Sin embargo, la utilización de un sistema de administración ambiental en la industria es considerada como una herramienta. El uso de las herramientas es importante también al implantar diferentes instrumentos. Por ejemplo: Priorización de los diferentes tipos de residuos. Discusión de las metodologías que permiten que los tomadores de decisiones determinen qué residuos necesitan mayor atención

<sup>6</sup> **Medida** - Es la actividad realizada para minimizar los residuos. Por ejemplo: una compañía que reduce el uso de materias primas tóxicas para la manufactura del mismo producto (reducción cualitativa del residuo)

intrincadas interacciones entre las organizaciones sociales, gubernamentales y privadas involucradas. La política de los residuos peligrosos presenta tres aspectos. El primero es la naturaleza de las relaciones intergubernamentales, entre los gobiernos federal, estatal y local, y entre las diferentes dependencias involucradas. Un segundo aspecto de esta complejidad se puede observar en los intereses de cada dependencia. Cuando las tres instancias tienen perspectivas, posiciones o preocupaciones diferentes el resultado de la política se ve afectado y puede ser poco racional. Un tercer aspecto, de esta situación compleja es dónde reside la autoridad para la toma de decisiones y a qué grado, quienes no poseen autoridad directa, pueden influenciar el resultado de la política.

Teóricamente, a través de una buena concertación y un liderazgo dinámico el gobierno federal puede trabajar fructíferamente con los gobiernos estatales y municipales estableciendo una relación de confianza y cooperación. Pero en esta situación se presenta sólo en forma incipiente y en lugares particulares en México.

Por otro lado, cabe señalar que la política de manejo de los residuos peligrosos es un asunto local y los grupos de vecinos de la comunidad se deberían organizar para atender los asuntos específicos que les afectan y preocupan. La sociedad, en términos generales, no expresa su inconformidad, ni se opone a los proyectos o políticas, si las soluciones se generan en su comunidad. En el caso de México la gestión de los residuos peligrosos es responsabilidad del gobierno federal y él decide e implanta la política. Aspecto que, en parte, ha retrasado el avance de la gestión.

Los instrumentos de la política de gestión de los residuos peligrosos incluyen los siguientes:

- La *regulación directa* que comprende al sistema de permisos, autorizaciones y manifiestos que se aplican al manejo de los residuos y que están previstos en la legislación.
- La *evaluación de impacto ambiental* que permite generar información para conformar un proceso analítico para evaluar el costo – beneficio de cada proyecto, de tal manera que el balance ambiental de un proyecto resulte lo más favorable posible.
- *Normatividad*, las normas oficiales mexicanas son un instrumento muy poderoso, no-solo por su capacidad de controlar los procesos productivos, sino por su capacidad de introducir cambios en la conducta e internalizar los costos ambientales, esto las convierte en un mecanismo que promueve cambios tecnológicos y genera un mercado ambiental importante. Las normas definen el mercado, en tanto que dimensionan las áreas de servicios abiertas a la actividad empresarial. De igual manera, los criterios y condiciones limitantes, que se dictan para la operación de los sistemas de tratamiento, reciclaje, combustión y confinamiento determinan las condiciones que dominarán el mercado.

- La *información* es fundamental para establecer horizontes de política, objetivos y prioridades y para evaluar el desempeño de las propias políticas. Igualmente, la información facilita la toma de decisiones.
- *Concertación y concurrencia*, actualmente diversos sectores participan en el diseño y la gestión de la política; ciudadanos, sectores organizados de la población, grupos de interés como las organizaciones no gubernamentales, que se integran a los ámbitos técnicos, administrativos, económicos y consultivos para asumir responsabilidades en la atención de problemas específicos.
- *Instrumentos económicos*, su objetivo es lograr la internalización de los costos ambientales para que el responsable sea quién los asuma y tienen ventajas que los hacen atractivos e indispensables.
- *Inspección y vigilancia*, el éxito de los instrumentos regulatorios depende en gran medida de que existan instancias de verificación de su cumplimiento, estas actividades requieren de gran cantidad de recursos humanos capacitados y recursos financieros.

Las medidas que comprenden la minimización de la generación de los residuos de un proceso productivo en una industria son medidas organizativas y operativas que permiten disminuir (hasta niveles económica y técnicamente factibles) la cantidad y peligrosidad de los subproductos y residuos generados que precisan un tratamiento o disposición final. Esto se consigue mediante la reducción de la generación de los residuos en la fuente y, cuando no es posible, los residuos se reciclan, en el mismo proceso o en otros, o se recuperan determinados componentes que contienen.

La prevención de la generación de los residuos, interpretada como la reducción de la cantidad de residuos generados, es el objetivo más importante de todas las medidas de gestión de manejo de residuos. El reciclaje, los diversos tipos de tratamiento y la disposición adecuada de los residuos son las siguientes etapas de la política. Lo que se busca es la reducción de la generación de residuos y no el confinamiento de los mismos (2).

## **¿CÓMO SE APLICA EL CONCEPTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE A LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS?**

La definición de desarrollo sustentable de la LGEEPA, (fracción XI, artículo tercero) establece "que es el proceso, evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social, que tiende a mejorar la calidad de vida y productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de los recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras".

Si bien el debate acerca del desarrollo sustentable no ha convencido a algunos economistas de que se debe modificar la naturaleza del proceso de desarrollo, ha alentado a otros ha otorgar a los recursos naturales una mayor jerarquía en la

formulación de las políticas, sin embargo, aún se requiere conocer el papel de los ecosistemas como sustentadores de vida mundiales y locales; la irreversibilidad de muchas de las consecuencias de las actividades humanas, y los valores de la calidad del ambiente que no están vinculados al uso, entre otros muchos aspectos. Alcanzar el desarrollo sostenible continuará siendo una empresa difícil, tanto para los economistas especializados en el desarrollo sostenible como para los que se ocupan de la protección del ambiente. (3).

El modelo de gestión para la industria y el sector negocios contiene factores que motivan este cambio, como: las demandas de los consumidores, el deseo de reducir los costos de operación, así como evitar las responsabilidades ambientales. La industria y el sector de negocios han hecho esfuerzos para encontrar un balance entre los intereses ambientales y los económicos generados por esta nueva forma de pensamiento (desarrollo sustentable).

En los últimos diez años refinando la ideología subyacente, varias compañías en el mundo han descubierto que el manejo ambientalmente seguro les da una ventaja competitiva. La re-instrumentación de las líneas de producción para utilizar menos compuestos químicos peligrosos, encontrar usos ingeniosos para refacciones recicladas y generar menos residuos se pueden traducir en ahorros enormes. Anteriormente a esta forma de pensamiento, los problemas ambientales, seguidos por la introducción de la basta reglamentación ambiental para controlar las grandes cantidades de contaminantes generados se enfocaron hacia el control de la contaminación de las descargas. Pero, las medidas de control, a pesar de su efectividad, no eran costo – efectivas. Dos formas para controlarla han cambiado la práctica de la manufactura; la ecología industrial y la prevención de la contaminación.

*Ecología industrial.* Los sistemas de manufactura pueden verse como ecosistemas. Es decir, los sistemas de manufactura más exitosos hacen uso eficiente de recursos, energía y capital en cada fase de la producción, justamente como los. Un sistema de manufactura sustentable funcionaría como un circuito cerrado, lo que significa que el sistema reutilizaría todos sus residuos como materia prima para el próximo ciclo, por lo que se generaría cero contaminación.

*Prevención de la contaminación.* La idea detrás de la prevención de la contaminación proviene de los principios de la ecología industrial. La prevención de la contaminación es cualquier práctica que reduzca el uso de recursos o la generación de emisiones contaminantes al aire, agua y residuos antes del reciclaje, tratamiento o control. Estas prácticas de prevención sólo reducen la cantidad de compuestos tóxicos que son descargados al ambiente al reducir la cantidad de compuestos tóxicos usados en el proceso de manufactura mismo.

La *reducción en la fuente* se puede alcanzar mediante la sustitución de materias primas, cambios en los equipos, modificación de los procesos y capacitación de los empleados. Entre más se cierre el proceso, más evidentes son los beneficios ambientales y

económicos de hacerlo. Al remanufacturar y diseñar para el ambiente, se reducen los costos, se minimiza el efecto que se tiene sobre el planeta y se complace a los usuarios o clientes. Proteger el ambiente es también bueno para los negocios. El reciclaje y los aspectos ambientales en general también son aspectos económicos importantes y los negocios y la industria juegan un papel vital en el éxito de los programas de reciclaje.

La preocupación de dejar un ambiente limpio para las futuras generaciones jugó un papel en el desarrollo de negocios y en las industrias al comienzo de la implantación de los esfuerzos sobre desarrollo sustentable, pero el darse cuenta de que el diseño de los procesos de manufactura para proteger y preservar el ambiente tiene sentido desde el punto de vista financiero está haciendo que más compañías implanten esta nueva forma de hacer negocios.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, uno de los instrumentos de la política, establece que corresponde al estado y a la sociedad prevenir la contaminación del suelo y que cada uno de los individuos es responsable de sus actos. Este señalamiento es muy vago, porque no establece claramente qué actividades contaminan el suelo ni cómo se responsabilizarán de sus acciones quienes lo contaminen.

También señala que los residuos son la principal fuente de contaminación de los suelos, pero a la fecha se carece de información para hacer esta afirmación, tampoco determina qué clase de residuos, cómo es la contaminación del suelo, si sólo se refiere a la matriz física del suelo y/o el agua subterránea. También señala que los residuos deben ser controlados en tanto constituyan la principal fuente de contaminación, mediante técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, y es necesario regular su manejo y disposición final eficiente.

Otro de los problemas que se presenta en la gestión de los residuos peligrosos es la multiplicidad de competencias en los instrumentos reglamentarios, que frecuentemente son incompatibles.

Los cambios que fueron introducidos en la Ley General en 1996, señalan que el confinamiento de los residuos debe estar sujeto a una revisión previa para identificar posibles materiales reciclables, que en la medida de lo posible debe evitarse, y cuando se lleve a cabo este debe ser técnica y económicamente factible. Cambios que resultan por demás incipientes y no hacen que las disposiciones sean aplicables ni verificables por su vaguedad.

Para diseñar una mejor política, sus instrumentos y medidas, que la hagan aplicable, es importante contar con información estratégica como: quiénes generan residuos, qué tipo de giros industriales los generan, qué tipos de residuos generan, en qué volumen, cuál es la infraestructura instalada para su adecuado manejo, dónde está localizada, entre otra información relevante, de manera que permita determinar la combinación de

tecnologías y enfoques de manejo que se necesitan en cada entidad o región, además de inducir a que los generadores conformen sus propios programas de manejo, atendiendo sus particularidades en cuanto al tipo de residuos generados y su situación geográfica.

Finalmente, la participación de la sociedad en los proyectos de desarrollo de sistemas de manejo de los residuos peligrosos ha sido totalmente negativa, este aspecto se retomará más adelante.

### ¿CUÁLES SON LOS PROBLEMAS MÁS CRÍTICOS Y EN QUÉ MEDIDA SE HAN ATENDIDO?

El tema de los residuos peligrosos, su minimización y control es cada vez más importante por las necesidades concurrentes de protección ambiental y de competitividad. Atender la problemática de los residuos peligrosos significa examinar procesos, productos, tecnologías, insumos, diseño y administración de calidad en las empresas.

**Generación.** Los residuos peligrosos, que 27,280 empresas manifestaron generar en el país durante el año 2000, fue de 3,705,846 toneladas. Los estados de la frontera norte contribuyeron con el 9.25% del total, la zona norte del país con 1.5%, la centro con 71.66%, los estados en el golfo con 14.02%, y el sureste con 3.55%. Cabe señalar que estas cifras corresponden a los manifiestos que como empresas generadoras presentan al INE y que aproximadamente un 70% de las empresas aún no cumplen con esta obligación. Tampoco se cuenta con información sobre la variación de este volumen en el tiempo. Entre otros aspectos que se pueden observar de esta información se tienen los siguientes:

- La generación manifestada para Guanajuato e Hidalgo es muy alta, tal vez se hayan incluido en los informes a los jales mineros.
- El Distrito Federal reporta generar casi el 18% de los residuos totales generados en el país, le siguen los de estados de Nuevo León, México, Tamaulipas, Veracruz y Tabasco.
- El mayor número de empresas que manifiestan generar residuos peligrosos están en el Estado de México, Distrito Federal, Baja California, Jalisco, Chihuahua, Nuevo León, Michoacán y Coahuila.

**Tipos y volúmenes.** Los tipos y volúmenes de residuos peligrosos generados aún no se han cuantificado. Esta información resulta prioritaria para la elaboración de un plan de manejo.

**Fuentes generadoras.** La generación de residuos peligrosos estimada por subsector en el país tampoco se tiene.

**Importación – exportación – retorno.** Durante 1999 se autorizó la importación de 254,537 toneladas de residuos para su reciclaje. Se exportaron para su disposición final o tratamiento 33,161 toneladas y se retornaron 981 toneladas. Esta información proviene de los manifiestos que las empresas entregan, sin embargo esta información no es verificada.

**Destino de los residuos.** La infraestructura autorizada para el manejo de los residuos peligrosos en el país se encuentra localizada principalmente en la zona centro del país (Estado de México y D.F.), mientras que hay estados que no tienen infraestructura. La capacidad instalada es de 1,376,422 toneladas por año para reciclaje. Para esta capacidad, se tiene que 0.5% son aceites, 1.75% tambores, 7.71% solventes, 20.22% metales, 20.27% combustible alterno, y 50% residuos para reciclaje energético. Para los 2 confinamientos autorizados en el país se tuvo una capacidad en 1997 de 394,000 ton.

Si comparamos la distribución geográfica de la infraestructura instalada con las fuentes de generación, se puede observar que los estados que mayor generación reportan no tienen el mayor número de empresas, lo que señala que es necesario prestar atención a la localización de las empresas prestadoras de los servicios.

La infraestructura para el reciclaje creada durante los últimos 6 años se ha incrementado casi 8 veces, el promedio anual de crecimiento ha sido 1.45 veces. La infraestructura de reuso ha crecido 2 veces, la de tratamiento 3 veces, la de incineración 2.5 veces y la de confinamiento se ha mantenido igual.

La infraestructura para el manejo de los residuos biológico-infecciosos ha crecido 9.75 veces en los últimos 4 años, un promedio de 2 veces el número de empresas por año. El 27% está constituido por incineradores, el 39% por equipo de esterilización y el 25% por equipo de radiondas. La infraestructura está localizada principalmente en el D.F. con 18 plantas, 4 en Jalisco y en el país suman un total de 54 plantas. No se tienen cifras exactas sobre la generación ni la capacidad instalada para el manejo de este tipo de residuos.

El incremento en la generación de residuos como los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales y los residuos de los equipos de control de emisiones contaminantes a la atmósfera podrían presentar nuevos problemas en el futuro cercano. Entre las razones que han impedido el desarrollo de la infraestructura para el manejo de los residuos destacan:

- Una opinión pública desinformada
- Incentivos insuficientes para el manejo de los residuos
- Normatividad incompleta
- Bajo control de calidad en la micro, pequeña y mediana industrias
- Falta de iniciativas conjuntas para el manejo de residuos industriales
- Altos costos en la concertación entre la industria y los tres niveles de gobierno
- Mercados poco desarrollados, e

- Inspección y vigilancia ineficientes

Además de estas condiciones, se pueden incluir también algunas características de la micro y pequeña industrias, que han complicado y obstaculizado todavía más el establecimiento de condiciones institucionales para favorecer un manejo ambientalmente seguro de los residuos:

- Falta de cultura industrial para el control de los procesos de generación de residuos
- Operación artesanal de una gran cantidad de industrias
- Manejo empírico de procesos, y
- Limitaciones de acceso al crédito

Además de la carencia de infraestructura para el manejo adecuado e integral de los residuos peligrosos, se suscitan controversias para su ubicación, hecho que acentúa la desinformación y la inquietud de la población, generando un clima que obstaculiza la concertación requerida.

Un análisis de la generación, manejo y minimización de los diferentes tipos de residuos peligrosos generados aún no es posible debido a la falta de información estadística. La falta de datos y su consistencia limitan el desarrollo de las proyecciones en la generación de los residuos. Sin embargo, si las tendencias observadas continúan, se incrementará la generación de los residuos en la próxima década.

## **¿ES SUSTENTABLE LA POLÍTICA EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS?**

En los EUA y en otros países desarrollados la reducción de la generación de los residuos ha llegado a ser una estrategia visible e importante, que sirve de apoyo a la meta del desarrollo sustentable, la conservación y protección de los recursos naturales y de la salud humana. Una de las razones por las que se insiste en la reducción de los residuos es que los métodos tradicionales de control de la contaminación y manejo de los residuos tienen límites, y a medida que aumentan la población y la industrialización, son menos capaces de brindar una protección eficaz; en términos de costos, para la salud y para el ambiente. Una segunda razón que hace de la reducción de los residuos el método más prometedor es que en lugar de generar costos, ofrece beneficios económicos. A medida que se presta más atención a los residuos municipales y peligrosos se han elevado los costos para su manejo, tanto para quienes los generan como para la sociedad en su conjunto, pues requieren el uso de equipo complejo y eficaz para el control de la contaminación. Los generadores de residuos se han percatado de que se pueden reducir los gastos, tanto de administración como de materias primas, si practica la prevención de la contaminación. La reducción de los residuos es capaz de producir beneficios económicos al margen de los de carácter ambiental.

La segunda etapa de la política de manejo de los residuos es el reciclaje. Este permite utilizar menos material virgen y conservar los recursos naturales, también minimiza los problemas de contaminación en industrias que convierten materias primas en productos terminados. Claro que esta medida afecta los intereses del sector primario, que produce las materias primas. En todas las sociedades se ha practicado el reciclaje, en la medida que los materiales separables pueden ser recolectados y vendidos lucrativamente, ya sea por individuos o compañías. No obstante, en general, el reciclaje de residuos peligrosos es escaso y el proceso se da mucho más frecuentemente en el caso de los residuos municipales.

La tercera etapa es el tratamiento, que tiene la finalidad de convertir los residuos en algo inocuo para el ambiente, que tenga un menor volumen y, tal vez, produzca un residuo que tenga cierto valor económico. Un problema genérico en el tratamiento de residuos es su alto costo en comparación con la opción de llevarlos a los tiraderos.

Otro problema que ha contribuido a elevar los costos del tratamiento es la contaminación generada por los métodos mismos, que a su vez es necesario controlarla.

La última etapa, y la opción menos deseable, es la disposición en rellenos sanitarios o confinamientos controlados. A pesar de la atención que se les presta a la reducción, reciclaje y el tratamiento de residuos, esta sigue siendo la forma predominante de manejo de residuos en todo el mundo. Aun cuando se conoce muy bien lo que esto implica para el agua del subsuelo y superficial y el suelo mismo, la presencia de tierra disponible para estas actividades a bajo costo suele dar lugar a la disposición generalizada de residuos. Los problemas de la disposición en la tierra se han atendido sobre todo con la aplicación de severos reglamentos cuyo objeto es volver esta práctica más segura y consecuentemente han elevado el costo de este tipo de disposición.

En conclusión, el volumen de los residuos seguirá aumentando en una brusca escalada, a menos que los esfuerzos para reducirlos avancen más deprisa que la generación misma. La disposición de la mayor parte de los residuos se seguirá realizando en el suelo. A la luz de estas condiciones y tendencias, los creadores de políticas le dan cada día más importancia al uso de las fuerzas de mercado para atacar los problemas de los residuos, sobre todo por medio de su reducción y el reciclaje. El mensaje básico es que la reducción y el reciclaje no son enemigos del crecimiento económico, pues en verdad fomentan el desarrollo sustentable. Entonces, ¿cuáles son las razones de que esta política no tenga el éxito que se ha planeado en la teoría?

También es necesario contar con reglamentos y normas capaces de crear el ambiente adecuado para fomentar la reducción de los residuos, su reciclaje y tratamiento, y métodos bien proyectados para su disposición (en este orden). Asimismo se requieren enfoques no regulatorios para alentar el apego a la política, con clara preferencia por la reducción y el reciclaje de los mismos.

Además es necesario considerar que el mercado se constituirá como el mecanismo más poderoso de regulación, por lo que se desarrollarán nuevas formas de regulación ambiental con fines comerciales, ya que sólo es posible pretender alcanzar el desarrollo sustentable si el desarrollo económico se relaciona íntimamente con la protección ambiental.

En este sentido, se prevé que los mercados serán cada vez más abiertos, competitivos y globales, lo cual impulsará la innovación tecnológica y la eficiencia. La competencia obligará a las corporaciones a adoptar la normatividad ambiental en forma voluntaria y a hacer un uso más eficiente de los recursos, prestando especial atención a los ciclos de vida de los productos. Al mismo tiempo, las transnacionales se verán obligadas a incorporar en sus procesos productivos normas ambientales más estrictas.

Los mercados abiertos deberán evitar las fallas y enviar las señales sobre los precios de los bienes y los servicios apropiadas, los cuales deberán reflejar los costos ambientales de su producción, uso, reciclaje y disposición final. El aprovechamiento de los recursos naturales frecuentemente está afectado por señales del mercado inapropiadas que repercuten en un uso ineficiente de los recursos. Los costos reales de los recursos renovables y no renovables deberán reflejarse. De esta forma, se mejorará el manejo de los recursos, al proveer las señales del mercado correctas, la reglamentación apropiada y se favorezca a la iniciativa privada.

El mercado de bienes y servicios también tomará en cuenta la eco-certificación y la aplicación de normas ISO de calidad ambiental. Se considerarán como eco-eficientes sólo las corporaciones que prevengan la contaminación a través de buenas prácticas de mantenimiento, sustitución de materiales y productos limpios, y se esfuercen por alcanzar un uso más eficiente de los recursos. También se requiere desarrollar una conciencia ambiental y nuevos valores éticos, a través de la educación ambiental. Cada vez será mayor la participación de los grupos sociales y de los medios masivos de comunicación en la solución de problemas ambientales. El manejo y el intercambio de información serán cada vez más eficientes mediante el desarrollo de la tecnología digital e informática.

Se requerirán sistemas regulatorios globales homólogos más racionalizados, con reglas claras y verificables, sistemas legales transparentes y honestos así como administraciones más eficientes.

Las asociaciones de largo plazo y la inversión directa proporcionan excelentes oportunidades para la transferencia de la tecnología necesaria para alcanzar el desarrollo sustentable. Este concepto de cooperación tecnológica se basa principalmente en las iniciativas privadas, pero puede mejorarse substancialmente con el apoyo gubernamental y académico.

Para transitar hacia el desarrollo sustentable debemos avanzar más rápido en estas direcciones, evaluando y ajustándonos conforme aprendemos. Este proceso requerirá

que se dirijan los esfuerzos para realizar los cambios necesarios y romper con los patrones que hasta la fecha se han seguido. Conforme los líderes de la sociedad unan fuerzas para traducir la visión en acción, se romperá la inercia y la cooperación reemplazará a la confrontación.

## **¿QUÉ SE HA LOGRADO?**

Las acciones de la Dirección General de Materiales, Residuos y actividades Riesgosas del Instituto Nacional de Ecología, se orientaron a frenar las tendencias de deterioro del ambiente, y a sentar las bases para su restauración y recuperación con el propósito último de impulsar y asegurar el desarrollo económico y social de México con un enfoque de sustentabilidad. (4)

De conformidad con lo anterior, se diseñaron líneas estratégicas de acción como la modernización de la regulación ambiental y la promoción de la vigilancia eficaz del cumplimiento de las normas, la consolidación del sistema de información ambiental, la búsqueda de la descentralización de la gestión hacia los gobiernos locales, la presencia activa en el contexto internacional, el fomento a la participación ciudadana, la promoción de la infraestructura de manejo de residuos y la diversificación productiva.

En cuanto a la mejora reglamentaria se reformó la Ley General, se elaboró un proyecto de reglamento en materia de materiales y residuos peligrosos y actividades consideradas como altamente riesgosas, se trabajó en 6 normas más y en la modificación de 4 más. Por otra parte se contribuyó a la consolidación del sistema de información ambiental con información sobre el manejo de los residuos peligrosos. Se progresó en materia de fomento a la participación ciudadana y se tuvo una presencia activa en el contexto internacional. En materia de gestión se fortaleció la capacidad de los gobiernos federal y locales. Asimismo, se incrementó en forma importante la infraestructura de servicios de manejo de residuos peligrosos

## **¿QUÉ FALTA POR HACER?**

Entre los factores a considerar uno de los principales es capitalizar el conocimiento derivado de las experiencias nacionales y de otros países para aprender de los errores cometidos y de los éxitos alcanzados con la adopción de esquemas innovadores basados en el sentido común y en la combinación de instrumentos de gestión obligatorios y voluntarios. Todo ello sin olvidar las implicaciones de la globalización de la economía y las resultantes de los tratados sobre los problemas globales.

Es necesario modernizar la normatividad existente por una tendente a introducir enfoques preventivos, que considere las diferentes circunstancias de las regiones en las que se vaya a aplicar. Asimismo, se deberían aprovechar otra clase de instrumentos que inducen a la innovación tecnológica y liberan la creatividad de los agentes sociales

para resolver los problemas de una forma más rápida, económica y aceptable desde la perspectiva ambiental y social, además acorde con las circunstancias y necesidades de la comunidad a regular en un punto geográfico específico.

Para lograr tener una buena normatividad también es necesario contar con información buena, que permita sustentar las decisiones. Estos sistemas deben ser capaces de determinar el desempeño y resultados de las políticas para reducir los efectos en el ambiente y en la salud. Además se requiere que la sociedad esté educada y se necesita contar con profesionales que sean capaces de atender los problemas que se susciten durante su aplicación.

No se ha logrado disminuir la generación de residuos, aunque las estadísticas muestran que el reciclado se ha incrementado considerablemente como resultado de los nuevos enfoques regulatorios y los no regulatorios. Por lo que es preciso desarrollar una política pública más centrada en la prevención de la generación de residuos.

Esta nueva situación implica que la gestión de los materiales y de los residuos peligrosos debe unirse, pues la prevención del empleo de los primeros evita la generación de los segundos. Por otra parte, una gestión de los residuos municipales y peligrosos dividida no es viable económica, social, ni ambientalmente, ya que en su manejo aplican los mismos principios de prevención, minimización, manejo integral y manejo ambientalmente seguro. ¿No estoy muy de acuerdo

En este mismo sentido la política debe tener un enfoque multimedios, que prevenga la transferencia de contaminantes de un medio a otro, lo que además permite reforzar la importancia de la adopción de métodos y tecnologías más modernas y limpias

La redefinición de la política podría considerar los siguientes aspectos:

- Diagnóstico integral y permanente de la gestión de los residuos. El diagnóstico debe incluir los efectos causados por la contaminación cruzada o multimedios, entre los procesos industriales, la atmósfera, el agua y el suelo. Pero, no tener los inventarios no impide que se implante una estrategia para el adecuado manejo de los residuos peligrosos.
- Integrar la gestión de los materiales y de los residuos peligrosos, así como la de los diferentes tipos de residuos
- Las políticas deben adoptar enfoques para la prevención en todas las esferas de manejo, la vinculación efectiva entre los instrumentos (evaluación de impacto y riesgo, ordenamiento ecológico), diseño y aplicación de instrumentos regulatorios y no regulatorios que induzcan la innovación y aplicación de medidas costo-efectivas, la promoción y el apoyo a la desconcentración y descentralización, fomento a la participación pública, establecimiento de alianzas, desarrollo y aplicación de indicadores de desempeño y de resultados de las políticas y participación en los foros internacionales.

- La modernización del marco jurídico y el apoyo a la reforma de las legislaciones locales, el fortalecimiento de los mecanismos de autorregulación, así como la coherencia y congruencia entre las políticas nacionales y los compromisos internacionales.
- Debe haber un mayor énfasis en la minimización y manejo integral de residuos peligrosos en zonas prioritarias la promoción del reciclado para residuos como los acumuladores usados, los envases vacíos de plaguicidas, las pilas usadas, las llantas usadas y los aceites lubricantes gastados.
- Educación y comunicación para la opinión pública, la comunidad regulada, los inversionistas y en particular para los políticos (las decisiones se toman en un ambiente político)
- Fortalecimiento institucional (recursos humanos capacitados, coordinación entre las tres instancias de gobierno y las diferentes dependencias responsables, e inclusión de los instrumentos económicos en las políticas de gestión, entre otros).

A pesar de que el concepto de la prevención de la generación es ampliamente aceptado, los volúmenes de residuos que se generan, la diversidad de tipos y los riesgos asociados con su manejo señalan la importancia de buscar en la prevención de la generación de los residuos el componente esencial de la estrategia para el desarrollo sustentable y la evaluación del programa de prevención de la generación de residuos en términos ambientales, económicos y sociales. (5)

### BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. (July 1994), *UNCTAD/UNEP Trade and Environment Seminar, module III*, page 23,
2. (1996), *Programa para la Minimización y Manejo Integral de Residuos Industriales Peligrosos en México 1996 – 2000*.
3. David W. Pearce y Jeremy J. Warford, (1994), *World Without End. Economics, Environment and Sustainable Development*. Banco Mundial
4. (Septiembre 2000), *Evolución de la política Nacional de materiales peligrosos, residuos y actividades altamente riesgosas. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000*. INE.
5. (7 de Julio de 2000), *Strategic Waste Prevention. Core messages from the OECD reference manual (ENV/EPOC/PPC/20005/FINAL)*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS**

**MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y  
PELIGROSOS**

**TEMA**

**PROGRAMA DE MINIMIZACION**

**EXPOSITOR: Q. IRMA CRUZ GAVILAN GARCIA  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

# PROGRAMAS DE MINIMIZACIÓN

**Q. Irma Cruz Gavilán García**  
**Jefe de Laboratorio de la Unidad de Gestión Ambiental**  
**Facultad de Química, UNAM**

Se entiende por **Minimización de los residuos y emisiones** de un proceso productivo en una industria, la adopción de **medidas organizativas y operativas** que permitan disminuir - hasta niveles económica y técnicamente factibles - la cantidad y peligrosidad de los subproductos y contaminantes generados (residuos y emisiones al aire o al agua) que precisan un tratamiento o eliminación final. Esto se consigue por medio de su **reducción en el origen** y, cuando ésta no es posible, el reciclaje de los subproductos en el mismo proceso o en otros, o la **recuperación** de determinados componentes o recursos que contienen.

Existe unanimidad en que la minimización constituye la opción ambientalmente prioritaria para resolver el problema de los residuos y emisiones de las empresas, y también una brillante oportunidad económica para reducir los costos productivos y lograr otras mejoras inducidas y, por tanto, aumentar su competitividad.

*"La Minimización de residuos y emisiones es nuestra  
mayor esperanza para conservar el medio ambiente y  
curar nuestra tierra enferma".*

*Necesitamos el apoyo de la industria y los gobiernos para asegurar la Minimización*

*Director Ejecutivo  
Programa de las Naciones Unidas  
para el Medio Ambiente (PNUMA)*

La **legislación** en este campo es cada vez más exigente, y en ocasiones sólo se puede satisfacer adoptando medidas de minimización. El **control** de su cumplimiento es cada día más estricto, manteniendo el principio "de la cuna a la tumba".

El consiguiente aumento del **costo** de tratamiento y eliminación, resulta acentuado por nuevos impuestos a que se ven sometidos estos sistemas. Frente a esto, las medidas de minimización suponen ahorros de los gastos de eliminación, disminuyen el consumo de materiales y son, con frecuencia, inversiones muy rentables; aunado a que los apoyos económicos de asistencia técnica a la minimización son cada día mayores.

La creciente preocupación de la sociedad por estas cuestiones hace que la apuesta de una empresa por la Minimización pueda reportarle una **mejor imagen**. En países donde existe una mayor transparencia en la información sobre los residuos y emisiones que produce cada empresa, éste aspecto, suele ser el principal **factor motivador** de la adopción de opciones de minimización, seguido por el económico.

Gran parte de las medidas de minimización suelen reportar mejoras de la **calidad** de los productos y del ambiente de trabajo, con sensibles repercusiones en la productividad.

Las industrias han asumido que el problema de sus residuos y emisiones les **compete** a ellas, y se dan cuenta de que prefieren solucionarlo mediante la optimización de sus procesos de fabricación, donde tienen auténtica experiencia, en lugar de tratar de eliminarlos al final del proceso productivo, que es una actividad extraña para ellos.

## Objetivos de un Programa de Minimización

Los objetivos de cada empresa en materia de minimización dependerán del entorno legal, social y económico en que desarrolle su actividad, la importancia que los ciudadanos conceden al Medio Ambiente, etc.; pero siempre deben ser:

- **consistentes** con el resto de objetivos de la empresa;
- **flexibles**, para poder adaptarlos a una realidad cambiante;
- **cuantificables**, para conocer hasta qué puntos se alcanzan;
- **comprensibles** para todos los empleados;
- **alcanzables** con los medios materiales y humanos disponibles, en un plazo razonable

Por ejemplo, una empresa puede fijar como objetivo eliminar por completo el uso de compuestos químicos que dañan la capa de ozono en tres años, mientras que otra empresa puede estar más interesada en minimizar sus residuos y emisiones un 25% en cuatro años.

## **BENEFICIOS Y COSTOS**

Los beneficios de la minimización sólo pueden entenderse cuando se contempla objetivamente el **impacto real** de la generación y gestión de los residuos y emisiones en la empresa, incluyendo:

- costos **directos**,
- costos **ocultos** de gestión,
- costos **intangibles**,
- costos de las responsabilidades **futuras**.

### a) Costos directos

A menudo, al analizar las inversiones destinadas a la gestión de los residuos y las emisiones en las empresas, sólo se consideran **los costos directos**:

- recolección y transporte de los residuos;
- costo directo del tratamiento y/o eliminación;
- depuración de las emisiones al aire y el agua;
- sueldos de los trabajadores asignados a estas actividades;
- costo de materias primas consumidas en exceso;
- seguros de operación y transporte;
- impuestos sobre los residuos y emisiones finales, si existen; etc.

### b) Costos ocultos de gestión

Sin embargo, a veces por inercia o porque algunos costos son difíciles de determinar, muchas empresas incluyen total o parcialmente, los costos imputables a la gestión de los residuos y/o las emisiones entre los "gastos generales" o las nóminas. De esta forma, queda **enmascarado** el auténtico costo de su gestión.

Por ejemplo, en muchas ocasiones no se imputa a la gestión de los residuos y emisiones el costo de la obtención de permisos; las horas de operario o las dedicadas al trabajo administrativo (declaraciones anuales, bitácoras de seguimiento y otros requerimientos legales) o el costo de los análisis que es preciso realizar.

Si se eliminara o redujera la generación de residuos y emisiones, muchos de los costos citados podrían **reducirse** notablemente.

### c) Costos intangibles

La minimización de residuos y emisiones puede suponer un beneficio indirecto, a veces más importante que el ahorro debido a la disminución de los costos directos y los costos ocultos. Este beneficio puede ponerse de manifiesto en aspectos tan importantes como:

- el **efecto positivo en las ventas** que puede representar la percepción del público de que la empresa cuida y valora el medio ambiente y trata de reducir el impacto que causa su actividad. O al revés, la **pérdida de mercado** a causa de la mejor imagen ambiental de los competidores;
- la mejora en las condiciones de **seguridad e higiene** de los trabajadores, cuando disminuye el volumen de materiales peligrosas en la planta;
- la implementación de Buenas Prácticas y la adopción de tecnologías menos contaminantes, que se traducen en un aumento de la **productividad** y la **calidad** de los productos fabricados.

Además, debe tenerse en cuenta que la minimización facilita el cumplimiento de la **legislación** existente y permite a la empresa estar mejor situada, para afrontar normas más estrictas futuras.

Por desgracia, cuando los administradores no pueden cuantificar alguna partida que interviene en los costos, suelen optar por no considerarla, cuando muchas veces estas partidas deberían constituir los **criterios básicos** que se deberían analizar para tomar decisiones en materia de minimización.

#### d) Costos de las responsabilidades futuras

Por último, la Minimización reduce el **riesgo** de que los contaminantes generados por la empresa y los productos peligrosos que maneja puedan afectar al medio ambiente o a terceras personas.

La **responsabilidad** de la empresa sobre los productos peligrosos que utiliza y sus residuos y emisiones, implica que debe pagar la **reparación** de los daños que éstos puedan ocasionar al medio ambiente o a terceros, además de las posibles multas o sanciones que pudieran afectarla.

Las ventajas citadas y los beneficios - incluso de índole económica - que la Minimización conlleva son muy importantes, pero debe quedar claro que la implementación de un Programa de Minimización es una **labor ardua** que puede requerir una inversión importante, sobre todo en **horas de trabajo** del personal asignado a este cometido.

### VIABILIDAD ECONÓMICA

Al analizar la viabilidad económica de un programa de minimización se debe tener en cuenta, además de la **rentabilidad**, aspectos como el riesgo de la inversión, la dificultad para financiar el proyecto, las ayudas económicas existentes, etc. Pero cuando la financiación lo permite, las consideraciones de rentabilidad suelen ser determinantes al optar por una opción u otra en la empresa.

Al analizar la **rentabilidad** de una inversión, se **comparan** los **ingresos** de las alternativas estudiadas con los gastos (inversiones, costos de explotación y otros costos) que la alternativa conlleva. Cuando se trata de introducir cambios con relación a una situación existente, como ocurre en la mayor parte de los programas, la rentabilidad se calcula considerando la **diferencia** entre los ingresos y gastos del proyecto que se desea implementar, y los que conlleva el mantener la situación existente.

Al estudiar la rentabilidad de un proyecto conviene considerar siempre dos hipótesis para cada alternativa de minimización, una pesimista y otra optimista. De esta forma se puede tener en cuenta la sensibilidad del análisis ante posibles errores en las hipótesis de cálculo.

Si se concluye que la inversión supera los estándares de rentabilidad exigidos en la empresa, no debería oponerse nada a su aprobación.

Las inversiones, gastos e ingresos que determinan el flujo de caja de cada opción manejada - incluyendo la situación existente - al analizar su viabilidad económica, son:

- El **capital** o desembolso inicial necesario para las diferentes alternativas en estudio, teniendo en cuenta los beneficios que son posible obtener.

- **Los gastos operativos y de mantenimiento.**
- **Los ingresos**

En el estudio económico pueden incluirse **todas** las partidas citadas o sólo las **que varían** con relación a la opción de base.

El análisis de rentabilidad puede hacerse en monedas constantes, sin considerar la inflación; o considerando la inflación, en monedas corrientes. Debe emplearse el mismo criterio en todo el proceso y utilizar el indicador de referencia adecuado en cada caso.

### ASPECTOS INTANGIBLES

Tras valorar las ventajas **técnicas** y **económicas** de las diferentes opciones, deberían considerarse los aspectos intangibles de los proyectos analizados, tales como:

- mejora en la calidad de los productos;
- impacto sobre el medio ambiente;
- efecto sobre la salud de los trabajadores;
- mejora de las condiciones laborales;
- posibles responsabilidades futuras a causa de los residuos y emisiones generados en cada proyecto analizado:
  - ⇒ accidentes durante el transporte de los residuos,
  - ⇒ fugas o derrames en áreas de almacenamiento,
  - ⇒ contaminación del suelo,
  - ⇒ impacto en empresas o viviendas cercanas,
  - ⇒ sanciones;
- influencia en la imagen de la empresa;
- etc.

No se puede incurrir en el **error** de pensar que estos intangibles, por el hecho de apoyarse en criterios **cualitativos** son menos importantes que la factibilidad económica o la rentabilidad. Estos criterios pueden ser **determinantes** para aceptar alternativas de minimización que aparentemente no tienen una rentabilidad aceptable.

### ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE PROYECTOS DE MINIMIZACIÓN

Al analizar la rentabilidad de las inversiones en proyectos de minimización, se compara la situación existente en la planta con las alternativas propuestas. La rentabilidad se calcula a partir de la diferencia entre los ingresos y gastos de cada proyecto, con los de la situación de partida.

Por tanto, el procedimiento que debe seguirse es:

- a) Determinar las inversiones, ingresos y gastos, que representa seguir con el sistema que se utiliza **en la actualidad** en la planta, y que se vería afectado por las alternativas propuestas. Con esto, se conoce el **flujo de caja** que le supondrá a la empresa mantener la alternativa actualmente utilizada.
- b) Análogamente para cada uno de los **Proyectos de Minimización** cuya rentabilidad se desea conocer.
- c) **Restar** de cada uno de los flujos de caja calculados en el punto (b), el flujo de caja (a).
- d) Aplicar cualquiera de los procedimientos habitualmente utilizados en el cálculos de rentabilidad de inversiones: el **período de retorno**, el **valor actual neto** o la **tasa interna de rentabilidad**; al flujo de caja diferencial obtenido en el apartado precedente.

A continuación se presentan las partidas más importantes que suelen considerarse al analizar las inversiones, los gastos operativos y de mantenimiento, los ingresos y los costos ocultos de gestión. Estas partidas deben tenerse en cuenta al calcular los flujos de caja de los proyectos de minimización y de la alternativa existente.

Algunas de estas partidas pueden incluirse indistintamente como ingresos o gastos. Por ejemplo, la materia prima se ha incluido como gasto, pero si hubiera un ahorro de materia prima, al calcular el flujo diferencial el importe de esta partida aparecería restando, lo que reflejaría que es un ingreso.

## **BIBLIOGRAFIA**

Manual de Minimización de Residuos y Emisiones Industriales,  
TOMO I, Plan de Minimización, Consejería de Medio Ambiente y Ordenamiento del Territorio de la  
Junta de Castilla, Fundación Privada Institut Ildelfons Cerdà  
Barcelona, España 1992



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS**

**MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y  
PELIGROSOS**

**TEMA**

**OPERACIÓN DE CONFINAMIENTOS CONTROLADOS DE  
RESIDUOS PELIGROSO**

**EXPOSITOR: ING. SALVADOR OROZCO VARGAS  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

# **OPERACIÓN DE CONFINAMIENTOS CONTROLADOS DE RESIDUOS PELIGROSOS**

Salvador Orozco Vargas

Gerente Ambiental. Seguridad y Salud  
Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.  
Bosque de Duraznos 65-207 Col. Bosques de las Lomas, México, D.F.  
Tel. (5)2452366

## **RESUMEN**

En la jerarquización para realizar el manejo de residuos peligrosos el confinamiento controlado, también conocido como disposición final, se ubica como la opción final, recomendada una vez que se han realizado en forma exitosa otros tratamientos que abaten el nivel de peligrosidad de aquellos

Esto indica que aquellos materiales solidificados, estabilizados, tratados química y térmicamente pueden ser depositados en las celdas de seguridad para evitar que impacten el ambiente.

No obstante lo anterior el confinamiento presenta desventajas, tal es el caso del incremento del volumen del material contaminado dispuesto en celda, así como el uso del suelo para alojar residuos y no para actividades ambientalmente amigables.

Por lo anterior en México se ha desalentado el empleo del confinamiento como primera opción, no obstante es el manejo con el marco normativo más completo y por esta razón a menudo se considera la alternativa más segura para lograr el cumplimiento ambiental.

## **OPERACION DE CONFINAMIENTOS CONTROLADOS DE RESIDUOS PELIGROSOS**

Para realizar las operaciones en un confinamiento controlado, una vez cumplida la NOM-055-ECOL/1993 (Requisitos del sitio), se deberán realizar las obras complementarias para realizar el manejo de los residuos peligrosos.

Las NOM-056-ECOL/1993, NOM-057-ECOL/1993 y NOM-058-ECOL/1993 establecen los requerimientos constructivos y operativos (obras complementarias, celdas y operación del sitio), sin embargo una secuencia lógica del proceso de recepción, asignación de tratamientos, operaciones de manejo y programas de cierre nos permitirán entender mejor el porque de estos requerimientos.

Si bien las celdas de seguridad son los elementos más importantes en un confinamiento controlado, ya que en estas se depositan los residuos, estas no podrían funcionar en forma aislada y sin orden. No se trata de un sitio en donde se puedan depositar a libre albedrío los residuos que han sido embarcados en un transporte por el generador.

Resulta indispensable en la operación el controlar el acceso de materiales, una vez realizado el contacto con el generador, se prepara el perfil de los residuos (muestreo y análisis), se define tratamiento y destino, con esta información se prepara la cotización del servicio.

Una vez que el cliente acepta las condiciones comerciales se tramita el No. Clave de Aceptación (NCA), una vez obtenido este número se prepara el embarque y se realiza su transportación hasta el confinamiento controlado.

En la actualidad en México solo opera comercialmente un sitio autorizado, aunque ha habido otros dos en operación.

El sitio con una extensión de 1300 Ha, de las cuales 600 Ha son área de amortiguamiento, cuenta con caseta de vigilancia, área administrativa, báscula, laboratorio, enfermería, taller de mantenimiento, comedor, baños y vestidores, generadores de energía eléctrica (motores diesel).

A la entrada del sitio, en la caseta de vigilancia, se verifica el NCA y se le permite el acceso al Centro, en la ventanilla de recepción se reciben los manifiestos, si la documentación está correcta se le permite pasar a la báscula y de ahí al área de distribución.

En el área de distribución se efectúa la descarga de los residuos y posteriormente se realiza la inspección visual de todos los contenedores y se muestrea el 10% de estos. Las muestras se envían al laboratorio en donde se efectúan una serie de pruebas sencillas (screening) de acuerdo al perfil del residuo, si se encuentran desviaciones se realizan análisis más complejos.

Tanto el personal de la instalación como el externo (incluyendo visitantes) deberá de utilizar el equipo de protección adecuado (en función del área operativa en donde se encuentre).

Una vez descargada la unidad del transporte (que nunca ingresa a celdas) se inspecciona y si hubiera señales de derrames se pasa al área de descontaminación (limpieza) para que salga del sitio libre de contaminación. A la salida se le entrega su copia de los manifiestos debidamente requisitada (firmada y sellada)

Las muestras colectadas en el área de distribución se procesan en el laboratorio. Si el resultado de los análisis es satisfactorio se envía al tratamiento asignado desde el perfil. Si se encuentran discrepancias (diferente o mayor peligrosidad) se le asigna un nuevo tratamiento (laboratorio y gerencia técnica).

Una vez determinado el tratamiento este se realiza en las fosas (cazuelas) para este fin, una vez tratado el residuo (estabilizado o reducida su peligrosidad) se traslada a la celda de confinamiento hasta las coordenadas asignadas y se procede a su confinamiento.

En la operación en la celda se tienen dos frentes por cada nivel, uno para material a granel y el otro para material envasado (tambores, bidones, porrones, etc.). No se confinan fluidos (líquidos o gases) ya que pone en peligro la estabilidad de la celda (ingeniería civil). Los residuos depositados incluso después de haber sido estabilizados deberán ser compatibles.

Como parte de los procedimientos operativos se tiene la descontaminación del personal de la planta, para esto todos los trabajadores que realizan tareas en áreas activas, que como parte de su equipo de protección usan trajes TYVEK, al final de su turno o cuando salen del área activa desechan su traje y pasan a ducharse al área de baños y vestidores.

Las celdas cuentan con un sistema de captación de líquidos y lixiviados, este cuenta con pozos de monitoreo para captar lixiviados conducidos por los colectores sobre la membrana y otro para los que pudieran penetrar la membrana de impermeabilización. Se realizan muestreos periódicos en estos pozos para ser analizados por un laboratorio externo, si existieran lixiviados estos se llevarían al tratamiento correspondiente para después de estabilizados se realice su disposición final.

También se tiene un sistema de venteo de acuerdo a lo especificado en la norma.

Una vez alcanzada la capacidad de la celda será cubierta y reforestada.

Una vez alcanzada la vida útil del confinamiento se aplicará el plan de cierre que incluye el monitoreo permanente del sitio.

## REFERENCIAS

*NOM-055-ECOL/1993 De los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radiactivos.*

*NOM-056-ECOL/1993. De los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento e residuos peligrosos.*

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

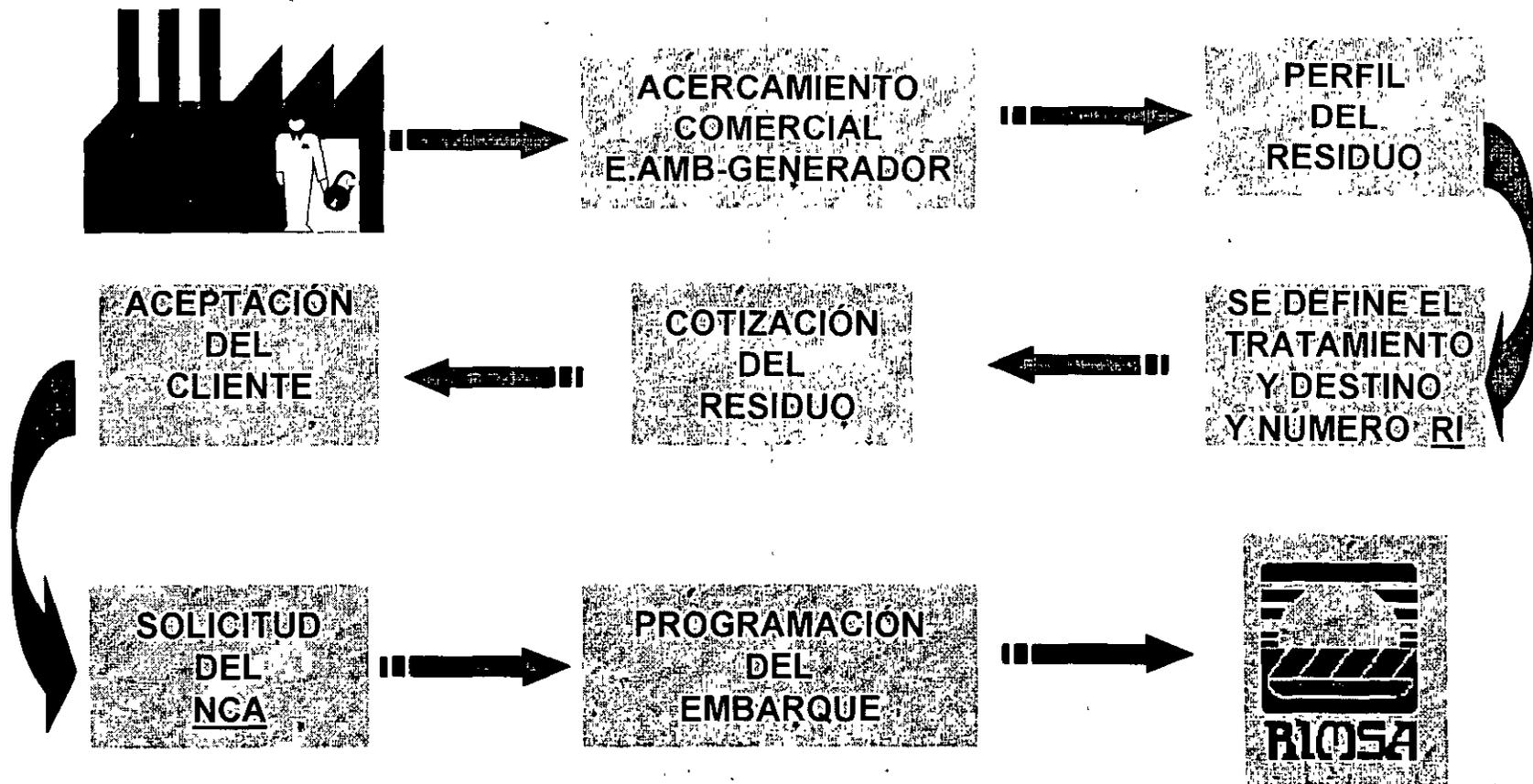
*NOM-058-ECOL/1993. De los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.*



# OPERACION DE CONFINAMIENTOS CONTROLADOS

Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.

# DIAGRAMA DE FLUJO DE ACEPTACIÓN DE RESIDUOS



# OBRAS COMPLEMENTARIAS DE UN CONFINAMIENTO CONTROLADO DE RESIDUOS PELIGROSOS

AREAS DE ACCESO Y ESPERA

DRENAJE

CERCA PERIMETRAL

ENERGIA ELECTRICA

CASETA DE BALANZA

SEÑALAMIENTOS

CASETA DE PESAJE Y  
BASQUILA

POZOS DE MONITOREO

AREA DE AMORTIGUAMIENTO

PANEL DE MANTENIMIENTO

AREA ADMINISTRATIVA

ALMACENAMIENTO TEMPORAL

ENFERMERIA

AREA DE EMERGENCIA

BANOS Y VESTIDORES

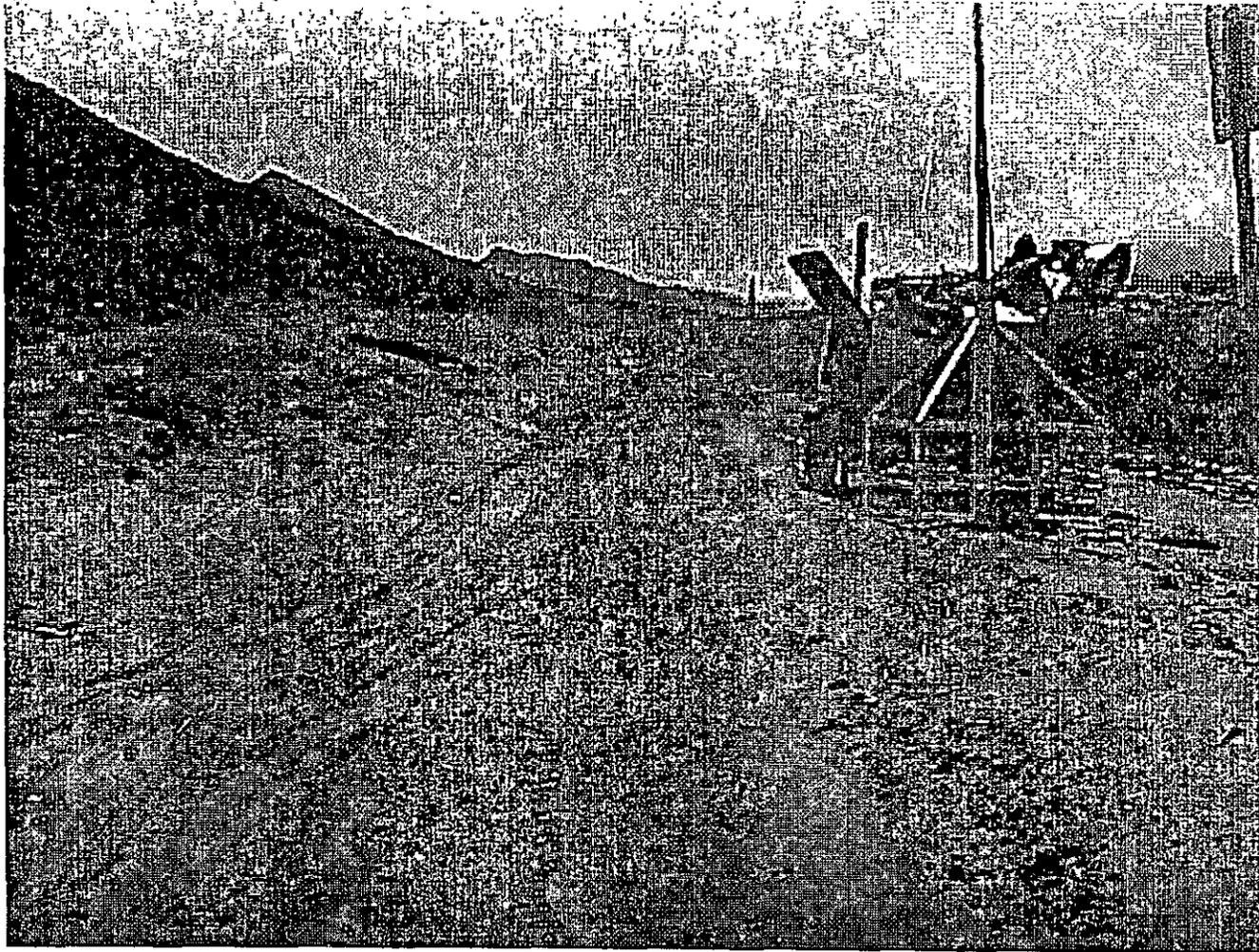
AREA DE LIMPIEZA

LOCALIZACION DE ACCESOS

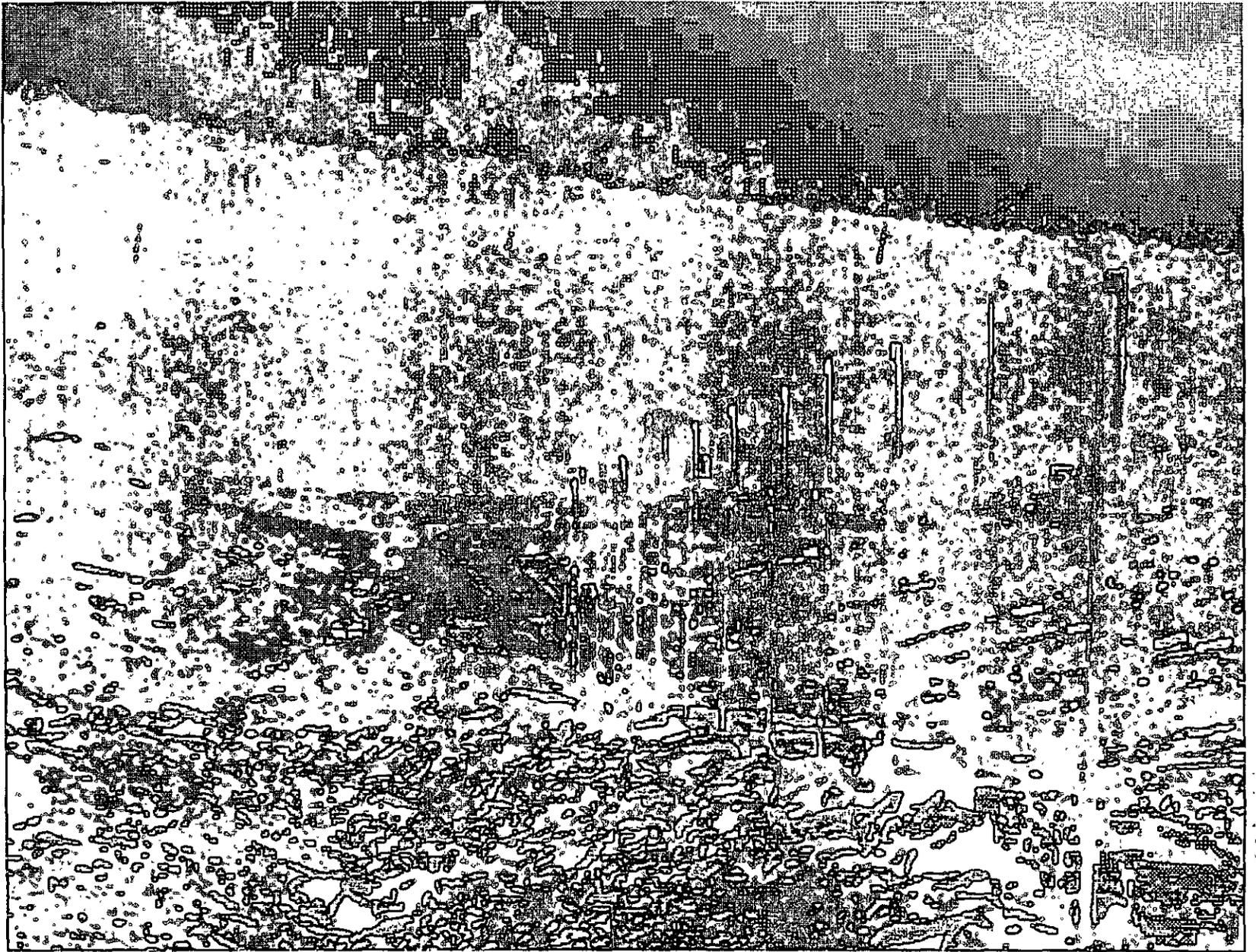
Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



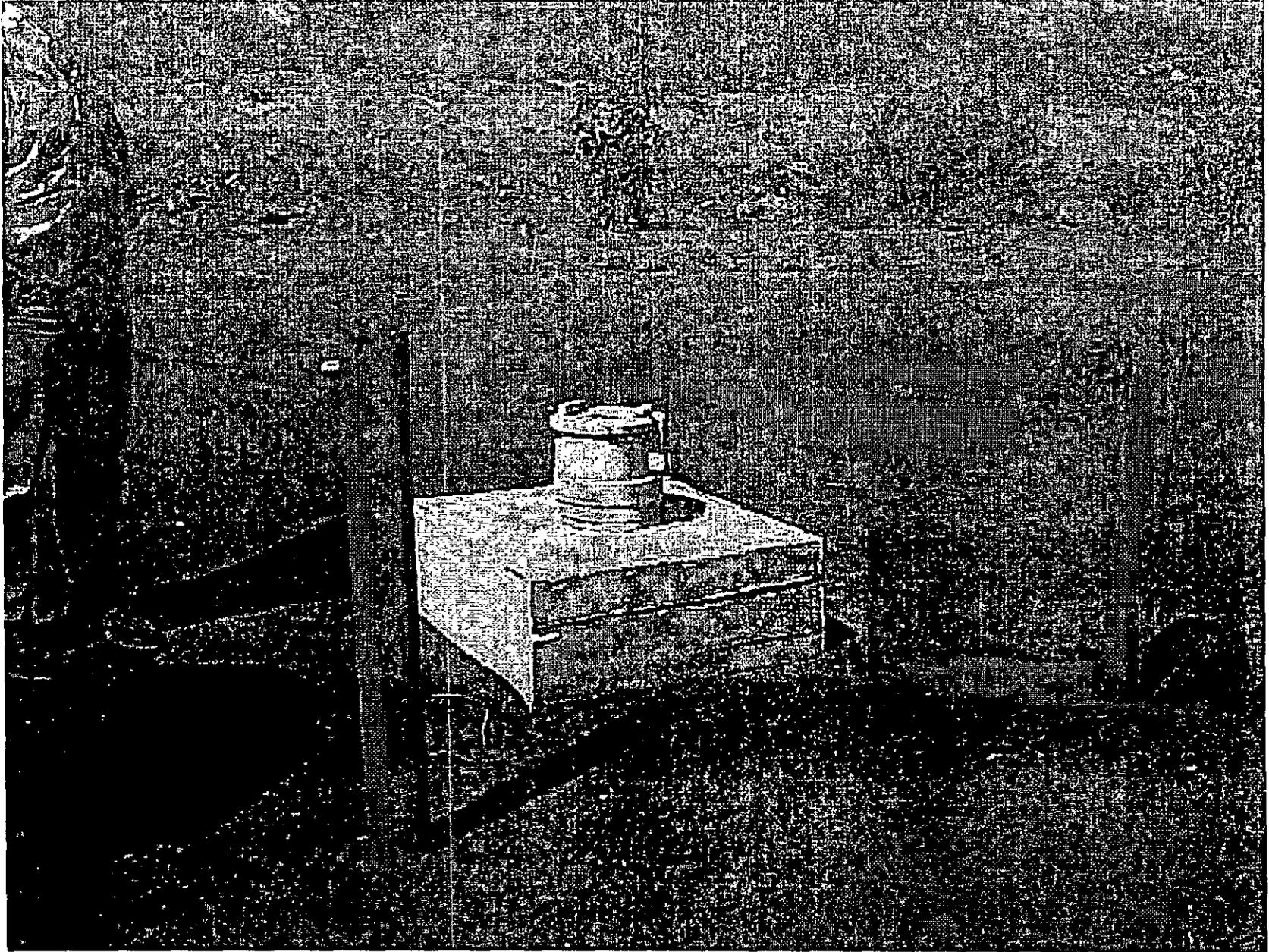
Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



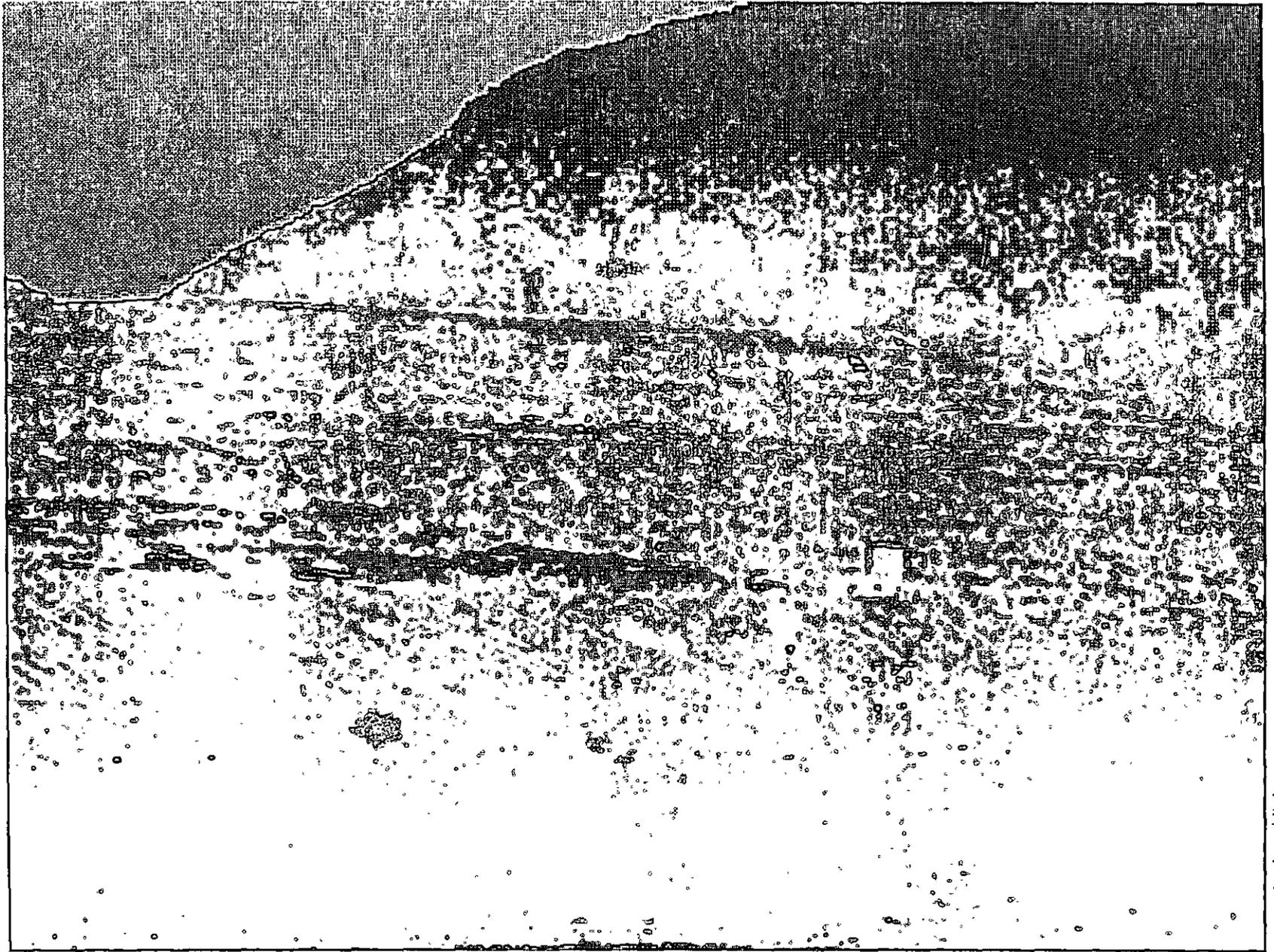
Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



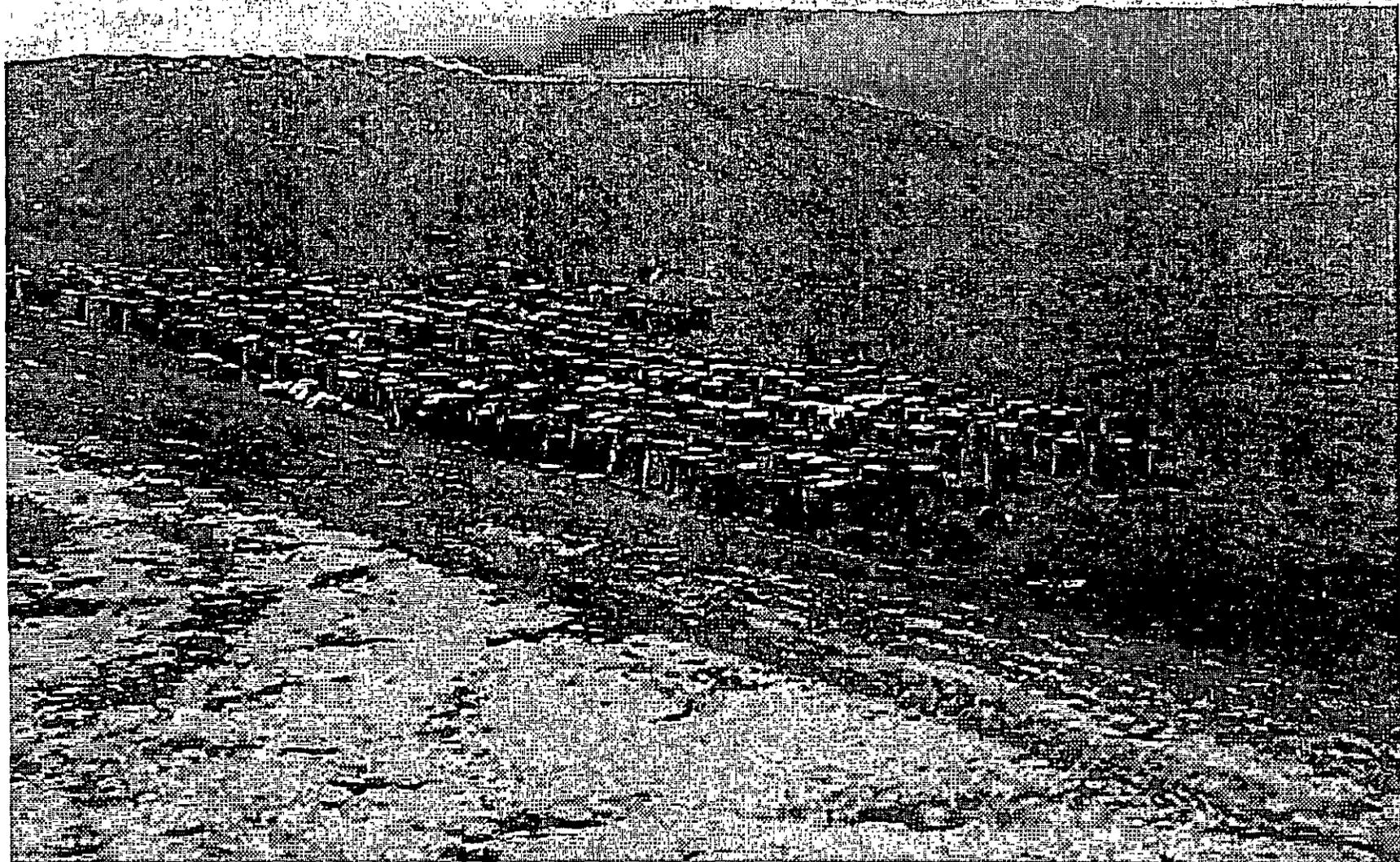
Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



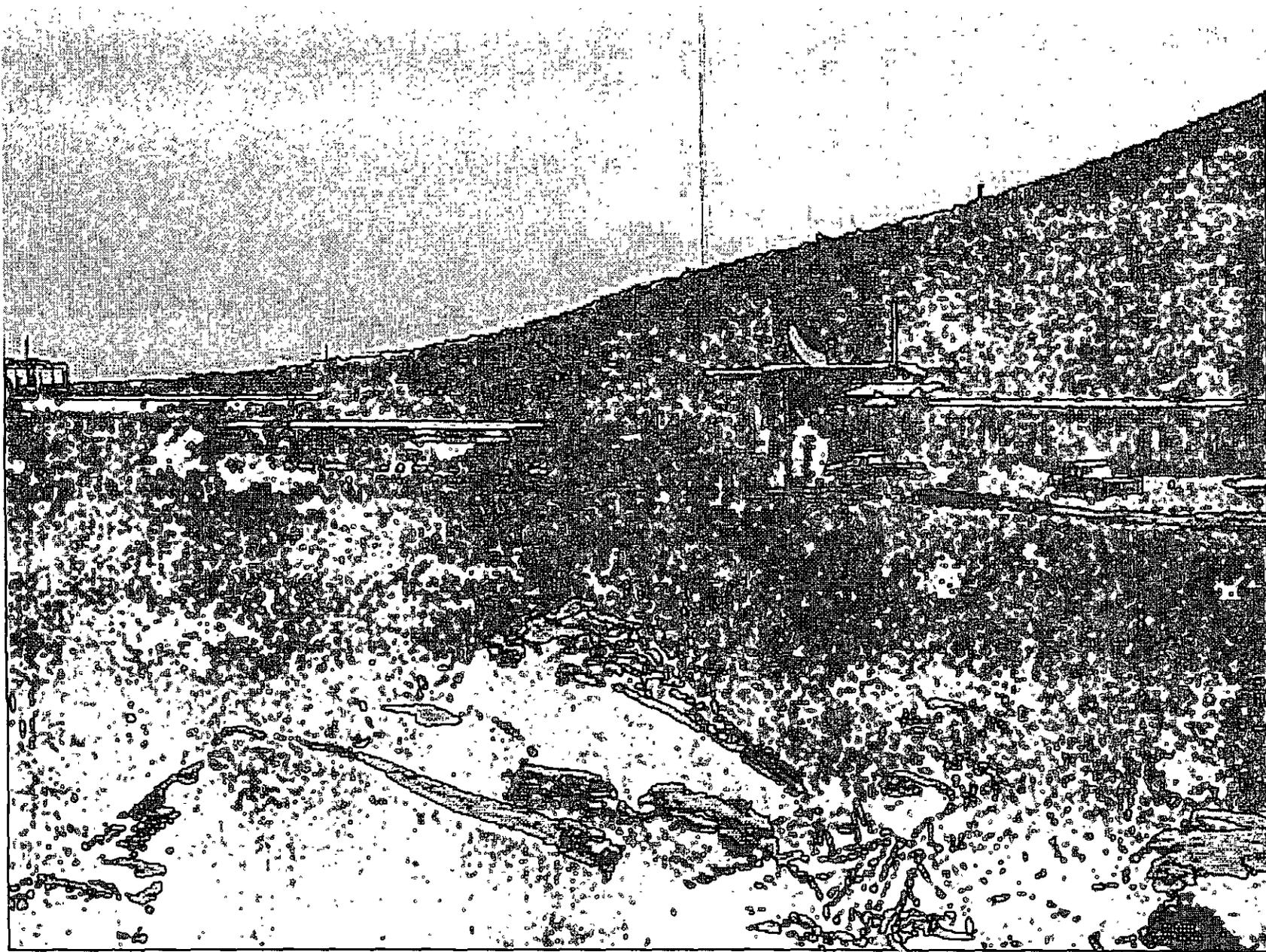
Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V



Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



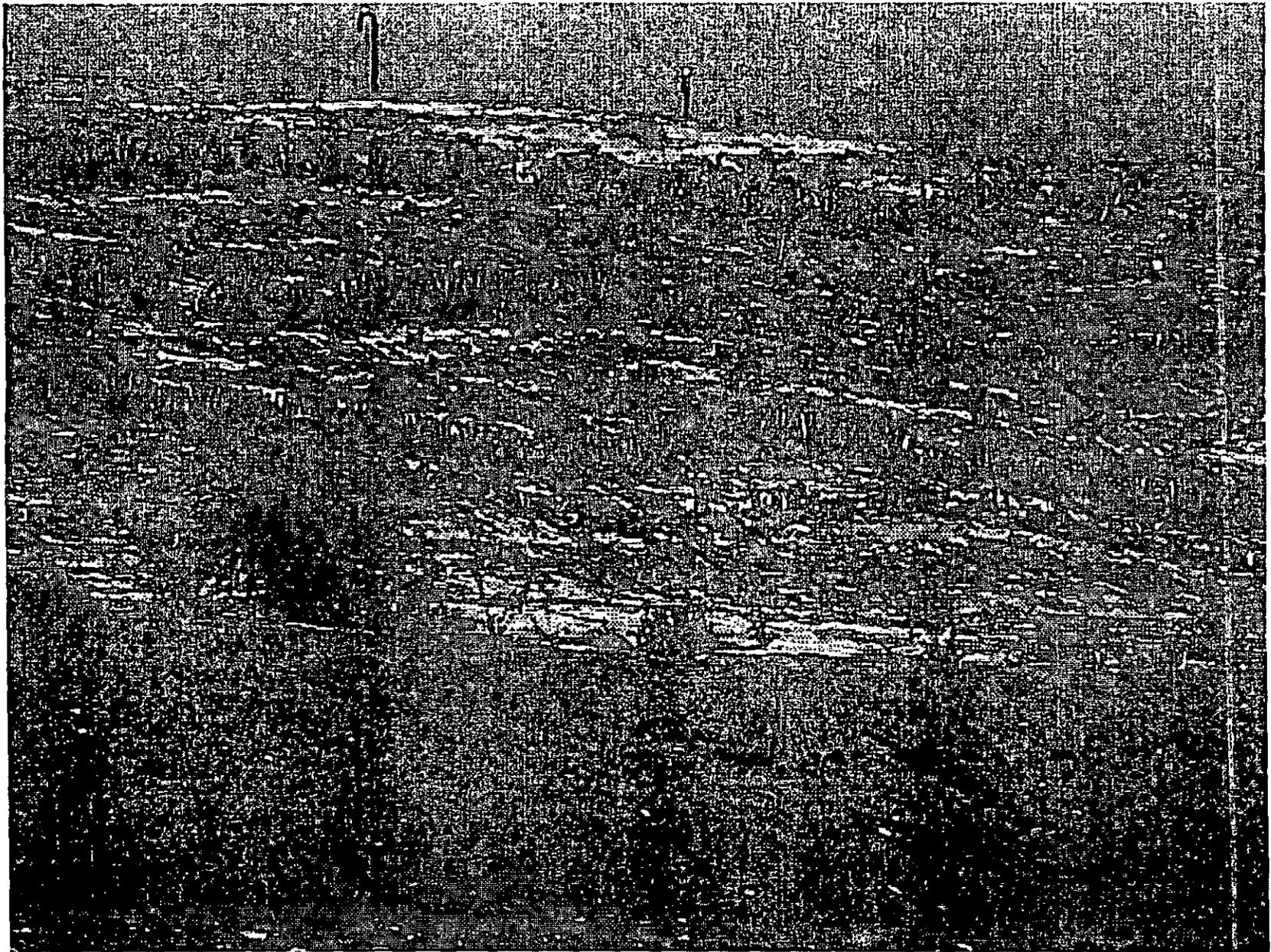
Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



Fotografía cortesía de Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS**

**MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y  
PELIGROSOS**

**TEMA**

**DEFINICION Y CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS**

**EXPOSITOR: DRA. ELVIRA SANTOS SANTOS  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

## DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS

Dra. Elvira Santos Santos  
Facultad de Química, UNAM

### *Definición de los residuos peligrosos*

El primer elemento en el que se sustenta la gestión de los residuos peligrosos, es justamente su definición, pues ella determina el tamaño del universo de residuos sujetos a regulación y control en base a su peligrosidad

Para poner en contexto la definición de residuo peligroso en México, se planteará lo que ocurre al respecto en otros países y cuáles son las tendencias actuales en relación con la clasificación de estos residuos.

El término residuo peligroso ganó aceptación alrededor de 1970 en Estados Unidos de América (EUA), como resultado de un estudio que dio lugar a una iniciativa legislativa. Antes de ello, los residuos que ahora conocemos como peligrosos se les denominaba como residuos especiales industriales ó residuos químicos, esto todavía ocurre en países Europeos y en Japón. El término residuo peligroso por sí mismo es ambiguo, por lo que cualquier programa legislativo primeramente debe proporcionar una definición para determinar qué es y qué no es un residuo peligroso en un país dado.

El desarrollo de una definición legal de residuo peligroso, puede requerir considerables esfuerzos, dar lugar a muchos desacuerdos y constituirse en un proceso de continua afinación y precisión. Esto es lo que ha experimentado la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), desde la promulgación en 1976 de la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA por sus siglas en Inglés), que regula a los residuos sólidos y peligrosos, la cual en los primeros diez años fue enmendada alrededor de veinte veces.

De acuerdo con RCRA, un residuo peligroso es *“un residuo sólido, o combinación de residuos sólidos, que por su cantidad, concentración, o sus características físicas, químicas o infecciosas:*

- (A) puede causar o contribuir significativamente a un incremento de la mortalidad o de padecimientos serios irreversibles o de enfermedades incapacitantes reversibles, o*
- (B) puede, representar un peligro potencial sustantivo a la salud humana o al ambiente al ser inadecuadamente tratado, almacenado, transportado, o dispuesto, o manejado de otra forma.”*

Por lo general, las excepciones contenidas en la legislación americana respecto a residuos peligrosos particulares, derivan de necesidades pragmáticas para facilitar el manejo costo-efectivo de los mismos o de influencias político-económicas, y no se relacionan necesariamente con su peligrosidad inherente. Otras naciones han tenido experiencias similares, por lo que cada una ha desarrollado su propia definición para identificar y clasificar los residuos peligrosos a un nivel particular de detalle necesario para sustentar sus procedimientos legales, sin embargo, algunas de estas definiciones carecen de rigor científico ya que cada una de ellas refleja las políticas ambientales y sociales de los diferentes gobiernos. Estas últimas en un momento dado han contribuido a la gran diversidad de definiciones y clasificaciones, lo cual dificulta hacer comparaciones entre países respecto a la generación y clasificación de este tipo de residuos

En México, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), promulgada en 1988 y enmendada en diciembre de 1996, en su Artículo 3º, contiene dos definiciones aparentemente distintas.

Así, por ejemplo, define a los materiales peligrosos como

***“Elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezcla de ellos, que en cualquier estado físico representan un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas”*** (características CRETIB)

Resalta en esta definición el hecho de que se considera que los residuos peligrosos son un tipo de materiales peligrosos (que cuando no se les concede valor se les desecha). Asimismo, en ella se encierran otros dos conceptos importantes y diferentes al de peligro (representado por las características CRETIB) y el de riesgo, derivado éste último de la probabilidad de exposición a ellos como generalmente una consecuencia de su forma de manejo

A la vez, la LGEEPA define como residuo peligroso:

***“Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente”.***

Esta última definición resulta innecesaria dada la anterior y, además, introduce confusión al sustituir el término riesgo por el de peligro, así como al mencionar en el primer caso sus implicaciones para el ambiente, la salud o los recursos naturales, y en el segundo para el equilibrio ecológico o el ambiente

Aunado a lo expuesto, si se compara esta definición de residuo con la establecida por la legislación americana, se pone en evidencia que en México la definición está basada en

características peligrosas inherentes a las sustancias contenidas en los residuos, en tanto que en Estados Unidos se combinan los conceptos de peligrosidad y riesgo (puede causar, contribuir o representar), puesto que incluyen en ella factores tales como la cantidad y forma de manejo de los residuos, que son los que contribuyen a que generen riesgos a la salud y al ambiente, junto con sus propiedades, físicas, químicas (las cuales no se especifican) e infecciosas.

Sin embargo, en el segundo párrafo del Artículo 15° de la LGEEPA, se asienta que:

*“El Reglamento y las normas oficiales mexicanas, contendrán los criterios y listados que clasifiquen los materiales y residuos peligrosos identificándolos por su grado de peligrosidad y considerando sus características y volúmenes”.*

Esto último, abre la posibilidad de incorporar en los listados de la NOM destinada a clasificar los residuos peligrosos, por sus características CRET, y además fijar los volúmenes que las hagan riesgosas. Aspecto este último, que se complementa con el señalamiento del tercer párrafo del mismo Artículo, en el cual se plantea que:

*“La Secretaría expedirá las normas oficiales mexicanas en las que se establecerán los requisitos para el etiquetado y envasado de materiales y residuos peligrosos, así como para la evaluación de riesgo e información sobre contingencias y accidentes que pudieran generarse por su manejo, particularmente tratándose de sustancias químicas”.*

Con ello, queda abierta la posibilidad de contar con una normatividad para evaluar los riesgos de los residuos peligrosos, aspecto en el cual se deberá considerar la relación entre su peligrosidad y el volumen que se maneje, la magnitud de las exposiciones y además factores que involucra la evaluación de su riesgo, en relación con su manejo.

### ***Clasificación de los residuos peligrosos***

Una vez analizada la legislación en lo relativo a lo que es o se considera como un residuo peligroso y los alcances de su regulación, su clasificación con base en sus características peligrosas, en particular las tóxicas, es el punto de partida o la base de las medidas regulatorias tendientes a prevenir o reducir sus riesgos, entre las que se encuentran principalmente:

- Su etiquetado y marcado
- Su envasado
- Su almacenamiento
- Su transporte
- Las diferentes modalidades de tratamiento
- La posibilidad o no de disponer de ellos en confinamientos controlados.

Actualmente, se está trabajando en el seno de diversos organismos multilaterales (como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico: OCDE, o el Programa de las

Naciones Unidas para el Medio Ambiente: PNUMA) para establecer clasificaciones y listados de residuos peligrosos armonizados; tanto por motivos de seguridad, como comerciales. Esto último en razón de que muchos países comercian con residuos reciclables a partir de los cuales se pueden recuperar materiales secundarios, en el contexto de un desarrollo sustentable orientado a aprovechar al máximo el valor de dichos materiales y a reducir el volumen de desechos que van a parar a confinamientos.

El establecimiento en el marco de las Naciones Unidas, del Convenio de Basilea para controlar el movimiento transfronterizo y la disposición final de los residuos peligrosos, suscrito por México, y la prohibición de la exportación de residuos peligrosos hacia países en desarrollo no miembros de la OCDE, ha sido un factor decisivo para desarrollar una clasificación armonizada de estos residuos a nivel mundial

La Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-001-1988, que por primera vez se promulgó para clasificar a los residuos peligrosos, constituyó una traducción parcial de las disposiciones al respecto del Código Federal de Regulaciones (CFR 40, parte 261) de los Estados Unidos y se incluyeron en ella algunos errores conceptuales, no se incorporó la noción de constituyente tóxico o de toxicidad aguda, además de que sus listados no estuvieron fundamentados y comprendieron sustancias adicionales a las referidas en el CFR, así como límites máximos permisibles (LMP) inconsistentes para sustancias como los compuestos orgánicos. Tal parece que la norma se diseñó con el objeto de confinar los residuos peligrosos, más no de promover su reciclado o tratamiento.

Cabe llamar la atención sobre el hecho de que la LGEEPA define como residuo a:

***“Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó”.***

Tal definición, limita considerablemente la posibilidad de facilitar el reciclado, en la medida que no reconoce la posibilidad de que el residuo de un proceso pueda constituir una materia prima de otro proceso, dentro de una misma instalación o para otra empresa. Estas limitaciones respecto al reciclado son paradójicas, pues antes de la promulgación del Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos y de las Normas Oficiales Mexicanas al respecto, ya se había establecido como política la prevención de la generación de los residuos, su reuso y reciclado, dejando como tercera opción su tratamiento y como última su confinamiento

En la revisión de esta norma, que dio lugar a la NOM 052-ECOL-1993, se lograron aciertos como la incorporación del procedimiento para la identificación de los residuos peligrosos y la corrección de los LMP, pero los listados no mencionan cuál es el constituyente tóxico por el cual se listan los residuos, y se agregaron criterios de reactividad e infectividad que no pueden ser medidos por no existir métodos para ello. También, se cambió la presencia de Cromo por

Cromo Hexavalente, el cual es incompatible con el proceso de lixiviación, por lo cual su medición no es confiable.

Un aspecto preocupante y contrario a lo que establece la normatividad de Estados Unidos al respecto, es el hecho de que en el inciso 5.2 de la norma, se declara que un residuo peligroso listado puede exceptuarse si al realizar el análisis CRETIB, no sobrepasa ninguno de los LMP, lo cual ha permitido que un gran número de empresas busquen exceptuar sus residuos como peligrosos en base a lo dispuesto, lo cual no constituye un sustento científicamente válido, con el consecuente riesgo para el ambiente, sobre todo, si se considera que el análisis CRETIB fue desarrollado sólo con el propósito de evaluar la posible lixiviación de sustancias tóxicas en las condiciones que prevalecen en un tiradero de basura.

También, se conservaron diversos de los aspectos negativos de la norma anterior, como la ausencia de mención a los métodos analíticos para verificar su cumplimiento, la falta de conceptos sobre los constituyentes tóxicos y la toxicidad aguda de los residuos. Aunado a ello, y sin explicación, se incluyó un anexo completo (el 4) con un listado específico para la Industria de Pinturas.

Todas las consideraciones antes expuestas, deberán tomarse en cuenta en la revisión y adecuaciones a dicha norma.

La característica de constituyente peligroso de un residuo, basada en sus componentes tóxicos, ha sido mal interpretada en la normatividad mexicana relativa a la clasificación de los residuos peligrosos, desde la publicación de la NOM CRP-001 en 1988, ya que en ésta sólo se consideró el contenido de algunas sustancias (51) en el lixiviado acético del residuo y se omitieron 2 conceptos torales para su adecuada interpretación, los cuales aparecen en la fuente que se tomó como base y que, por causas que no se conocen, no se tomaron en cuenta; estos dos conceptos son:

- 1.- El concepto de constituyente peligroso
- 2.- Los productos químicos fuera de especificaciones

El primero es la piedra angular de la identificación de un residuo peligroso, ya que si un residuo contiene una sustancia tóxica y persistente que se puede lixiviar, entonces representa un alto riesgo si es dispuesto inadecuadamente. En la normatividad norteamericana este concepto es el más importante, y con base en él, se han identificado alrededor de 300 sustancias químicas que se encuentran en el Apéndice VIII del CFR y son la base para listar a los residuos que las contengan (todos los residuos de la lista K y F del CFR con la clave T).

Además, son la base para el segundo concepto importante, que son los listados de productos químicos fuera de especificaciones y de los materiales contaminados por ellos, los cuales están ordenados en 2 listados (el P y el U del CFR), en la NOM 001 de 1988 y en la NOM 052 de 1993, estos conceptos y sus correspondientes listados nunca fueron tomados en cuenta y por ende dejaron un vacío muy importante al definir la característica de toxicidad al ambiente por

considerar solamente la presencia de 51 sustancias (1988) y 53 en la de 1993 en el lixiviado del residuo

Lo anterior, implica que la presencia de alguna otra sustancia tóxica (aún más tóxica o persistente y bioacumulable que cualquiera de la lista, como por ejemplo el DDT, el Benzoantraceno, la Bencidina o las Policlorodibenzodioxinas: PCDDs y los Policlorodibenzofuranos: PCDFs) que no esté en la Tabla de la prueba CRET1 de la NOM 052 no importa para determinar si un residuo es peligroso, y por lo tanto puede ser depositado en el suelo o en un tiradero de basura. Asimismo, todas las sustancias o productos químicos que se han vuelto obsoletos, caducos o fuera de especificaciones, pudieran no ser clasificados como peligrosos aún cuando sean altamente tóxicos, ya que no están incluidos en ninguna parte de la normatividad mexicana.

A lo antes expuesto, hay que agregar que la lista de 53 sustancias de la NOM 052, es más grande que la del CFR de donde fue copiada, la cual es de 39 y no se justificó en forma pública el porque de esta diferencia.

En la revisión de la versión de dicha norma, que se ha venido realizado en el Instituto Nacional de Ecología desde fines de 1999 por un grupo de trabajo, se identificaron estas deficiencias y se propuso en primer lugar, tomar en cuenta el concepto de constituyente peligroso e incluir los listados 1 y 2 (equivalentes a los F y K del CFR y complementados con residuos identificados por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, PROFEPA, que son importantes en México), así como explicar el por que los residuos habían sido listados (a que constituyente peligroso corresponde la T). Además, se propuso la inclusión del listado 3 de sustancias y productos químicos caducos, obsoletos o fuera de especificaciones: el cual equivale a los P y U del CFR, a fin de respaldar lógicamente y técnicamente la presencia de los residuos listados

En lo que respecta a la medición de sustancias tóxicas en el lixiviado de los residuos peligrosos, para determinar la peligrosidad de residuos no listados, existe una gran diferencia entre las realidades de los otros dos países Norteamericanos (EUA y Canadá) con respecto a la realidad Mexicana. Ya que, en esos países, y principalmente en los EUA, se le ha dado desde hace más de 20 años una gran importancia a la prevención de la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas a través de normas y reglamentos que especifican que es lo que se puede depositar en el suelo a través de su origen y contenido de sustancias tóxicas totales y lixiviables (Restricciones a la Disposición en Suelos de la EPA publicadas en 1984: LDR por sus siglas en Inglés) y de disposiciones sobre como se deben construir y aislar los rellenos sanitarios con objeto de evitar el flujo de sus lixiviados al subsuelo (Regla D de la EPA publicada en 1992), en la cual las especificaciones constructivas y de dispositivos para el control y tratamiento de lixiviados, y monitoreo del subsuelo, son casi equivalentes entre un relleno sanitario de residuos sólidos municipales y de un confinamiento de residuos industriales peligrosos

El citado enfoque, tiene una lógica preventiva en la cual, en lugar de disminuir el riesgo de daño al medio ambiente y la salud a través de sólo identificar y clasificar los residuos peligrosos a través de las sustancias tóxicas presentes en ellos, por medio de análisis químicos (prueba CRET1 o su equivalente TCLP de la EPA), lo hacen al tener listados la mayoría de los residuos peligrosos que se producen en la industria, así como, al controlar y prohibir la disposición en el suelo de residuos industriales y de residuos peligrosos tratados (LDR de la EPA) además de controlar los rellenos sanitarios, donde pudieran accidentalmente depositarse residuos peligrosos que no están listados en su normatividad. En los Estados Unidos existen miles de rellenos sanitarios, los cuales cumplen con las especificaciones de la EPA para residuos industriales peligrosos.

En México, contrariamente a los países vecinos del norte, existen muy pocos rellenos sanitarios operando como tales (no más de 10), los cuales no son monitoreados ni controlados para detectar la presencia de sustancias tóxicas que pudieran contaminar el medio ambiente o migrar a las aguas subterráneas; tampoco existe normatividad sobre el monitoreo de lixiviados en dichos sitios, ni sobre el control de la disposición en el suelo de residuos (cualquiera), y la gran mayoría de los residuos sólidos municipales van a dar a tiraderos a cielo abierto, lo que pudiera considerarse como una disposición directa al suelo.

La situación descrita, hace ver algunos los conflictos que pueden surgir al tratar de copiar la normatividad de las Agencias Ambientales de Canadá (Environment Canada) y de Estados Unidos (EPA) sin entender sus fundamentos y las bases científicas en las que se sustenta, para adaptarla a las circunstancias del territorio nacional. Aunado a lo cual, se muestra el grave riesgo en el que se puede incurrir, de que los residuos peligrosos no clasificados como tales, sean inadecuadamente dispuestos en el suelo (lo cual ya ha ocurrido durante los pasados 12 años de existencia de la NOM 052 y su antecesora).

Al mismo tiempo, lo descrito previamente plantea la urgente necesidad de utilizar la experiencia y los datos científicos desarrollados por medio de numerosos estudios, que significaron millones de dólares gastados por la EPA, como referencia para identificar las medidas que pueden ser apropiadas a nuestra realidad, adaptándolas a las circunstancias técnicas, económicas y sociales del País, para que las normas al respecto sean factibles de cumplir.

Tal es el caso del Cuadro X en el cual, debido a lo mencionado anteriormente, se somete a la consideración, la posibilidad de que se agreguen alrededor de 130 nuevas sustancias a medir cuando un residuo es peligroso:

- a) se quiere exceptuar de su manejo como RP,
- b) es un RP tratado y se quiere demostrar que ya no es peligroso, ó
- c) si no está listado y es desconocida su peligrosidad

En la normatividad de la EPA, lo anterior se manejaría principalmente bajo la regla del LDR, la cual incluye la medición de más de 250 sustancias químicas, con límites muy parecidos y en numerosos casos menores que los de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (mucho más estrictos que los límites máximos para agua potable).

Un residuo que cumple con los límites expuestos en el Cuadro I implicaría un riesgo muy bajo de contaminación al suelo y a las aguas subterráneas si fuera dispuesto en el suelo, además, no se medirían el total de las sustancias en la mayoría de los casos, ya que primeramente se analizarían los procesos industriales que producen el residuo y sólo se medirían los grupos de sustancias que pudieran presentarse lógicamente en el residuo. Solo en el caso de que una industria produjera un residuo en el cual el generador no conoce las materias primas, ni el proceso industrial, entonces se deberían medir todos los constituyentes del Cuadro I (altamente improbable).

Este Cuadro, de incluirse en la normatividad nacional, permitiría identificar los RP (que no estén listados debido a que son procesos riesgosos que no existen en Estados Unidos) a través de la determinación de sus constituyente peligrosos, lo cual además prevendría la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas al evitar la disposición inadecuada de residuos peligrosos mal clasificados por no estar en los listados y porque sólo se les haga la antigua prueba CRETIB.

El cuadro X, está compuesto por 180 sustancias químicas, de las cuales 17 son metales, y para las cuales se establecieron límites máximos permisibles (LMP) en el lixiviado de un residuo (mg/L) y en el residuo total (mg/kg). para el caso de la caracterización de residuos desconocidos o de querer exceptuarlos como RP.

La selección de las sustancias está basada en un estudio que la EPA realizó en 1996 ("*Hazardous Waste Characteristics Scoping Study*" EPA, noviembre, 1996), con el objeto de detectar las deficiencias de la definición de las características que hacen a un residuo peligroso (CRETI) y proponer las modificaciones necesarias para actualizar los conceptos y hacer más segura esta normatividad. Lo anterior, tomando en cuenta los avances de la ciencia y de la técnica que a partir de la década de 1980 se han dado, principalmente en lo que respecta a la modelación toxicológica y de transporte y destino ambiental de las sustancias tóxicas, y con base en ello, diagnosticar si la normatividad de residuos peligrosos en los EUA (RCRA) seguía siendo adecuada.

En el estudio citado, se determinó que la lista de los compuestos químicos de la característica de toxicidad (39) estaba obsoleta no sólo en número, sino también se constató que las concentraciones establecidas no protegían adecuadamente al medio ambiente y a la salud. Los valores utilizados en los 80s, partieron en el caso de los carcinógenos de un riesgo de 1 caso de cáncer en  $10^5$  personas y se utilizó el valor del percentil 85 para estimar los LMP. Además, se emplearon modelos toxicológicos que han sido superados actualmente, que no tomaron en cuenta los efectos sobre el medio ambiente, sino sólo los efectos a la salud humana.

En el multicitado estudio, se recalcularon bajo las nuevas técnicas de modelación toxicológica y de transporte en el medio ambiente, los valores LMP para los mismos compuestos, tomando además en cuenta la toxicidad ambiental, y no solo a la salud humana. Los resultados obtenidos fueron los siguientes, de los 39 compuestos de la lista del TCLP:

- 4 casos son iguales o mayores que los de los 80s
- 9 casos son entre 1 a 10 veces menores
- 12 casos son entre 10 y 100 veces menores
- 5 casos son entre 100 y 1000 veces menores
- 6 casos son mas de 1000 veces menores

Lo anterior se debió a tres causas principales

- 1.- Se utilizó para los carcinógenos un factor de 1 caso de cáncer en  $10^6$  personas en lugar de  $10^5$ , lo cual significa un valor 10 veces menor, y se utilizó el valor del percentil 90 en lugar del 85 utilizado anteriormente, lo cual puede significar un factor entre 2 y 10 veces menor
- 2.- Los datos de toxicología actuales son diferentes a los de los 80s como es el caso para el pentaclorofenol, p-Cresol, plomo y el bario.
- 3 - Los modelos de simulación para predecir la atenuación para aguas subterráneas son diferentes y en la mayoría de los casos más conservadores.

Se calcularon los LMP para 129 sustancias químicas aparte de las 39 ya sancionadas, las cuales se listaron en un reglamento que está en vías de aprobación por el Congreso de EUA que se llama "*Hazardous Waste Identification Rule*" (HWIR). La selección de estas sustancias fue realizada después de un estudio donde se caracterizaron 69 rellenos sanitarios de residuos industriales no peligrosos y se determinó que existían en los lixiviados de estos rellenos la presencia de sustancias altamente tóxicas que provenían de residuos depositados que habían sido clasificados como NO Peligrosos indebidamente.

Lo anterior fue identificado como un grave error, sin embargo y debido a la reglamentación sobre las especificaciones de construcción, control y monitoreo de los rellenos sanitarios de residuos industriales no peligrosos y de residuos sólidos municipales, se infiere que el riesgo puede no ser muy alto.

Al analizar los valores del cuadro X, se puede observar que principalmente en el caso de los carcinógenos, los valores son muy bajos, en algunos casos muy cercanos a los límites de detección de los métodos analíticos

Por lo anterior, se realizó un ejercicio de multiplicar los valores de la tabla del HWIR por un factor entre 10 y 100 (10x calculado aumentando el riesgo de  $10^{-6}$  a  $10^{-5}$  y en algunos casos otro factor de 10x debido a la diferencia de los percentiles), los valores obtenidos son

perfectamente medibles por los métodos que se utilizan actualmente para el análisis CRETIB (volátiles, semivolátiles, plaguicidas y metales) y siguen teniendo un margen de riesgo aceptable internacionalmente (entre  $10^{-6}$  y  $10^{-5}$ )

Además de la modificación anterior, se eliminaron algunos compuestos como las Policlorodibenzo-p-dioxinas y los Policlorodibenzofuranos y algunas sustancias orgánicas sintéticas que se utilizan como fármacos (Cloruro de Bencilo, Dietilstilbestrol, Glycidilaldehido, Safrol, Estricnina, Acetato Fenilmercurico, acetofenona, entre otros) y algunos plaguicidas que no se utilizan en México (2 etoxietanol, 3 metilcolantreno, clorobenzilato, epiclorhidrina y formaldehido entre otros), con lo cual quedaron 94 sustancias.

Asimismo, en este estudio se incluye una polémica sobre otras sustancias sancionadas por otros reglamentos como el de la calidad del agua potable, reglamentos sobre residuos peligrosos de otros estados de los EUA como California, Texas y otros del noreste de los EUA y se concluye que existen otros compuestos químicos que deben ser incluidos a la lista anterior.

Por lo que siguiendo la metodología utilizada por la EPA para calcular los LMP con base en los criterios o normas de agua potable (Ver Anexo 1), se seleccionaron los compuestos restantes para hacer coherentes los listados de los mismos que existen en México en Agua (Lineamientos de Calidad del Agua de la CNA, Criterios Ecológicos de Calidad del Agua del INE y Normas de Calidad del Agua Potable de la SS), para que todas las sustancias normadas en los reglamentos y lineamientos anteriores, se encuentren también en el cuadro X.

Lo anterior tiene una base técnica y práctica muy importante, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas que se utilizan para bebida, ya sea directa o indirectamente, es debida principalmente a 3 razones. 1) las descargas de aguas residuales contaminadas, 2) los escurrimientos superficiales de suelos contaminados por materiales y residuos peligrosos y 3) la contaminación de los acuíferos por la lixiviación de sustancias tóxicas a partir de la disposición inadecuada de residuos sólidos municipales y residuos peligrosos, por lo que, se debe esperar que las normatividades de contaminación del suelo, aguas residuales y residuos peligrosos tengan listados coherentes

En resumen, el cuadro X incluye 180 sustancias, de las cuales 53 provienen de la Tabla CRETIB de la NOM 052 ECOL 1993 con las modificaciones de concentración pertinentes, 94 se seleccionaron de la tabla HWIR, 5 de los LMP para lixiviados de RP del Estado de California de los EUA, 10 de las normas de agua potable de los EUA, 6 de los Lineamientos de Calidad de Agua Potable de la OMS-ONU, 4 de las normas de agua potable de Canadá y 8 de los Criterios de Calidad del Agua Ambiente de los EUA

Se incluyó el LMP para residuos totales como ya se mencionó anteriormente, estos valores se obtuvieron multiplicando el valor del LMP en el lixiviado por 20, este factor es el valor de la dilución que se realiza en la prueba de lixiviación, por lo que se supone que si un residuo

contiene alguna sustancia del cuadro X y se lixivia totalmente sobrepasando el LMP, su valor en el residuo total, tendría que ser mayor que el que se presenta en el cuadro X

Todos los valores obtenidos en el cuadro X son medibles por tecnología ya disponible en México (solo falta calibrar algunos estándares no incluidos actualmente, pero fácilmente disponibles en el mercado) y son valores lógicos tomando en cuenta los valores anteriores en compuestos parecidos.

Como se dijo previamente, la construcción del cuadro I con los listados de residuos tóxicos y sus límites máximos permisibles, es una propuesta que se debe discutir en el contexto de la realidad nacional, partiendo del hecho de que algunos de los datos que sirvieron de base para construirla aún están siendo evaluados por el Congreso de los Estados Unidos para su aprobación

## ANEXO 1

### PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES (LMP) EN EL LIXIVIADO PARA DETERMINAR LA CARACTERISTICA DE TOXICIDAD DE UN RESIDUO INDUSTRIAL

Los LMP incluidos en la NOM 052 ECOL 1993, para los 52 constituyentes peligrosos, fueron calculados por la EPA basados en los límites máximos permisibles para agua potable multiplicados por un factor de atenuación con un valor de 100 (Ej el LMP en agua potable para el plomo era de 0.05 mg/L, el LMP en el lixiviado era de 5.0, el de Bario era de 10 mg/L y en el lixiviado era de 100 mg/L, el de Heptacloro era de 0.00008 mg/L y en el lixiviado era de 0.008 mg/L, etc ) Una discusión detallada de este factor de atenuación se presenta en el 55 FR 11827, de Marzo 29, 1990.

Este factor de atenuación se calculó mediante un modelo matemático en el cual durante los años 80s se modelaron las posibles interacciones entre el lixiviado de un relleno sanitario, el suelo (por sus características de absorción), biodegradabilidad y transporte, tomándose el caso más desfavorable, para las 39 sustancias analizadas, estos factores variaban entre 85 a 120, por lo que se optó por utilizar el 100 como factor común.

Los valores de los LMP en agua potable se determinaron en la EPA de acuerdo a los resultados de estudios toxicológicos en modelos animales y epidemiológicos en poblaciones humanas que han sido desarrollados y probados a partir de 1973. (*"Guidelines and Methodologies Used in the Preparation of Health Effects Assessment Chapters of the Consent Decree Water Criteria Documents"* 45FR79347, *"Draft Water Quality Criteria Methodology Revisions: Human Health"* 63FR43755, *"Guidelines for Deriving Numerical National Water Quality Criteria for the Protection of the Aquatic Organisms and their Uses"* EPA 822/R-85-100).

Estos criterios, se basan en 2 grandes tipos de efectos

- 1.- Efectos tóxicos agudos y crónicos
- 2.- Efectos carcinógenos

En el primer caso, se determinan en primer lugar las dosis tóxicas en modelos animales tanto agudas como crónicas, posteriormente se determinan los Dosis de Referencia (DRef), las cuales son "un estimado (con tal vez con un error de un orden de magnitud) de la exposición diaria de la población humana, la cual incluye subgrupos sensibles la cual no representa un riesgo apreciable de efectos sobre la salud durante el equivalente al transcurso de una vida humana" (EPA, 1994)

Para determinar los DRef se utilizan las dosis que no presentan un efecto adverso observable sobre la salud (NOAEL por sus siglas en Inglés). Estos NOAEL se multiplican por factores de incertidumbre (FI) que reflejan las diferencias entre los datos de las toxicidades determinadas en los modelos animales y factores de modificación debidos a la comparación ente los modelos animales y el ser humano, dichos factores van de 1 a 10,000. Normalmente estos factores se derivan de la siguiente forma:

- 1 - Se multiplica por 1, 3 ó 10 cuando se extrapola de estudios realizados en humanos, con el fin de compensar las diferencias en sensibilidad entre los diferentes seres humanos (x10).
- 2 - Se multiplica por un factor adicional de 1, 3 ó 10 cuando se utilizan datos de toxicidad a largo plazo obtenidos en modelos animales por no existir datos en humanos (x100)
- 3 - Se utiliza un factor adicional de 1, 3 ó 10 cuando se utilizan datos de toxicidad aguda o a corto plazo obtenidos en modelos animales por no existir datos en humanos o en animales a largo plazo (x1000)
- 4 - Se utiliza otro factor adicional de 1, 3 ó 10 cuando el DRef se deriva del LOAEL (dosis mínimas en las que se presenta un efecto adverso observable), en vez del NOAEL (x10,000).
- 5.- El factor de modificación (FM) se aplica ocasionalmente basado en la fuerza de las bases de datos toxicológicos utilizados y el juicio profesional, puede variar entre 1 y 10

Una vez multiplicados los factores FI X FM, la dosis que no provoca un efecto adverso observable NOAEL, se divide entre el valor resultante, para obtener la Dosis de Referencia Dref, como sigue

$$DRef \text{ (mg/kg/día)} = NOAEL / (FI \times FM)$$

Después de haber obtenido los Dref, se valora cuanto de estas dosis se ingiere por alimentos, aire y agua y con estos datos se fija la concentración máxima permisible en agua.

$$LMP \text{ mg/L} = DRef [P/(ID + (IP*FB) + IA + AR)]$$

- P = Peso de un ser humano (70 kg para un adulto)  
 ID = Ingestión diaria de agua (2L para un adulto)  
 IP = Ingestión de peces, 0.0178 Kg/d  
 FB = Factor de bioacumulación de la sustancia normalizado por lípidos en L/kg  
 IA = Ingestión por alimentos mg/d  
 AR = Ingestión por vía respiratoria mg/d

Ejemplo para el 2,4 D.

Datos

$$\text{NOAEL} = 0.5 \text{ mg/kg/d}$$

$$\text{FI} = 500$$

$$\text{FM} = 2$$

$$\text{IA} = 0$$

$$\text{IR} = 0$$

Cálculo del LMP:

$$\text{DRef} = 0.5 / (500 * 2) = 0.0005 \text{ mg/kg/d}$$

$$\text{LMP mg/L} = 0.0005 [70 / (2 + (0.0178 * 1) + 0 + 0)] = 0.0173 \text{ mg/L}$$

En el caso de los carcinógenos se utiliza una metodología diferente, la cual esta basada preferentemente en estudios epidemiológicos en poblaciones humanas o en su defecto en modelos animales donde se determina por métodos estadísticos y probabilísticos la concentración en agua que puede causar un riesgo de 1 caso de cáncer en  $10^4$ ,  $10^5$  o  $10^6$  personas

La ecuación del modelo lineal que se utiliza es

$$\text{LMPc} = (\text{Riesgo} * P) / [q * (\text{ID} + (\text{IP} * \text{FB}) + \text{IA} + \text{AR})]$$

donde:

$$\text{Riesgo} = 10^{-4}, 10^{-5} \text{ o } 10^{-6}$$

$$P = \text{Peso de un ser humano (70 kg para un adulto)}$$

$$q = \text{Factor de potencia carcinógena del compuesto}$$

$$\text{ID} = \text{Ingestión diaria de agua (2L para un adulto)}$$

$$\text{IP} = \text{Ingestión de peces. 0.0178 Kg/d}$$

$$\text{FB} = \text{Factor de bioacumulación de la sustancia normalizado por lípidos en L/kg}$$

$$\text{IA} = \text{Ingestión por alimentos mg/d}$$

$$\text{AR} = \text{Ingestión por vía respiratoria mg/d}$$

Existen variaciones a este modelo como el de multietapas y el de punto de quiebre no lineal, las modificaciones se dan principalmente en el tipo de ecuación utilizada

La metodología anterior ha sido utilizado por la EPA, Environment Canada y la Organización Mundial de la Salud para fijar sus concentraciones máximas permisibles en agua potable

## CUADRO X

### CONSTITUYENTES PELIGROSOS EN EL RESIDUO Y EN EL EXTRACTO PECT

<b>NOMBRE</b>	<b>No. CAS</b>	<b>LMP PECT mg/L</b>	<b>LMP RESIDUO mg/kg B.S.</b>
<b>CARBAMATOS</b>			
Aldicarb sulfona	1646-88-4	1.000	20 000
Carbaryl	63-25-2	7.000	140 000
Carbofuran	1563-66-2	4 000	80 000
Oxamilo	23135-22-0	20 000	400.000
<b>PLAGUICIDAS FOSFORADOS</b>			
Dalapón		20.000	400.000
Dialato	2303-16-4	2.600	52 000
Diazinon		1.400	28.000
Dimetoato	60-51-5	7.700	154.000
Dinoseb	88-85-7	0.700	14.000
Disulfoton	298-04-4	0.131	2.620
Forato	298-02-2	1.060	21.200
Kepona	143-50-0	2 100	42.000
Metilparatión	298-00-0	6.620	132.400
Molinato	2212-67-1	0.600	12 000
Paratión	56-38-2	1.280	25.600
Picloram		50 000	1000.000
Trialato	2303-17-5	23.000	460.000
<b>HERBICIDAS CLORADOS</b>			
Acido 2.4.5-Triclorofenoxiacetico/2.4,5-T	93-76-5	1 000	20 000
Acido 2.4-Diclorofenoxiacetico/2.4-D	94-75-7	10.000	200.000
Silvex/2.4.5-TP	93-72-1	1.000	20.000
<b>METALES</b>			
Antimonio	7440-36-0	0.530	10.600
Arsenico	7440-38-2	5.000	100.000
Bario	7440-39-3	200.000	4000.000
Berilio	7440-41-7	0.750	15.000
Cadmio	7440-43-9	1 000	20.000
Cobalto	7440-48-4	80.000	1600.000
Cobre	7440-50-8	5.910	118.200
Cromo (Total)	7440-47-3	5.000	100 000
Mercurio	7439-97-6	0.200	4.000
Molibdeno	7439-98-7	18 300	366.000
Niquel	7440-02-0	5.000	100 000
Plata	7440-22-4	5.000	100.000

Plomo	7439-92-1	1.500	30 000
Selenio	7782-49-2	1.000	20.000
Talio	7440-28-0	0.192	3 840
Vanadio	7440-62-2	3 710	74.200
Zinc	7440-66-6	38 400	768.000
<b>PLAGUICIDAS CLORADOS</b>			
Alacloro		0.200	4 000
Aldrin	309-00-2	0.140	2.800
alfa-Hexaclorociclohexano		0 014	0.284
Atrazina	1912-24-9	0.300	6.000
beta-BHC	319-85-7	0 021	0.420
Bifenilos Policlorados (suma de todos los BPCs)	1336-36-3	2 500	50.000
Clordano (isomeros alfa y gama)	57-74-9	0 030	0.600
DDT, DDE, DDD	50-29-3	0 100	2 000
Dieldrin	60-57-1	0.059	1.180
Endosulfan I	959-98-8	9 400	188 000
Endosulfan II	33213-65-9	11.000	220.000
Endosulfan sulfato	1031-07-8	11 000	220.000
Endotal	145-73-3	10.000	200.000
Endrin	72-20-8	0.020	0.400
Epiclorohidrina	106-89-8	3 350	67.000
gama-BHC	58-89-9	0.400	8.000
Heptacloro	76-44-8	0 008	0 160
Heptacloro epoxido	1024-57-3	0 008	0 160
Hexaclorobenceno	118-74-1	0.130	2.600
Hexaclorobutadieno	87-68-3	0 500	10.000
Metoxicloro	72-43-5	10 000	200 000
Mirex		2.100	42.000
Simazina	122-34-9	0 400	8.000
Toxafeno	8001-35-2	0 500	10.000
<b>COMPUESTOS ORGANICOS SEMIVOLATILES</b>			
1,2,4,5-Tetraclorobenceno	95-94-3	0 317	6 340
1,2,4-Triclorobenceno	120-82-1	6.850	137.000
1,3,5-Trinitrobenzeno	99-35-4	0 300	6.000
1,3-Fenilenediamina	108-45-2	3 000	60 000
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	1.500	30.000
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	400 000	8000 000
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	2 000	40.000
2,4-Diclorofenol	120-83-2	1 800	36.000

2,4-Dimetilfenol	105-67-9	54.000	1080.000
2,4-Dimetilfenol	105-67-9	11.900	238.000
2,4-Dinitrofenol	51-28-5	1.050	21.000
2,4-Dinitrotolueno	121-14-2	0.130	2.600
2,6-Dinitrotolueno	606-20-2	0.640	12.800
2-Clorofenol	95-57-8	3.200	64.000
2-Cloronaftaleno	91-58-7	170.000	3400.000
2-Etoxietanol	110-80-5	14.700	294.000
3,3'-Dimetoxibenzidina	119-90-4	0.102	2.040
4,6-Dinitro-o-cresol	534-52-1	1.340	26.800
7,12-Dimetilbenzo[a]antraceno	57-97-6	0.003	0.055
Acenafteno	83-32-9	4.900	98.000
Acetofenona	96-86-2	6.400	128.000
Alilo, cloruro de	107-05-1	0.742	14.840
Anilina	62-53-3	0.170	3.400
Benzidina	92-87-5	0.007	0.136
Benzilico, alcohol	100-51-6	15.000	300.000
Benzo(a)antraceno	56-55-3	0.004	0.086
Benzo(a)pireno	50-32-8	0.007	0.141
Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	0.007	0.132
Benzilo, cloruro de	100-44-7	11.300	226.000
bis(2-Cloroetil) éter	111-44-4	0.050	1.000
bis(2-Cloroisopropil) éter	39638-32-9	0.190	3.800
bis(2-Etilhexil) ftalato	117-81-7	0.044	0.880
Butilbenzil ftalato	85-68-7	64.000	1280.000
Clorobenzilato	510-15-6	0.570	11.400
Dibenz(a,h)antraceno	53-70-3	0.006	0.127
Dietil ftalato	84-66-2	54.000	1080.000
Difenilamina	122-39-4	2.600	52.000
Dimetil ftalato	131-11-3	30.000	600.000
Di-n-butil ftalato	84-74-2	25.200	504.000
Fenol	108-95-2	14.400	288.000
Fluoranteno	206-44-0	1.740	34.800
Fluoreno	86-73-7	3.400	68.000
Hexaclorociclopentadieno	77-47-4	0.521	10.420
Hexaclorofeno	70-30-4	0.005	0.103
Indeno (1,2,3-c,d) pireno	193-39-5	0.002	0.048
Isoforona	78-59-1	1.620	32.400
m-Cresol	108-39-4	200.000	4000.000
m-Dinitrobenceno (1,3-Dinitrobenceno)		0.640	12.800
Naftaleno	91-20-3	2.700	54.000
n-Dioctil ftalato		0.200	4.000

Nitrobenceno	98-95-3	2.000	40.000
n-Nitrosodietilamina	55-18-5	0.003	0.064
n-Nitrosodifenilamina	1116-54-7	5.000	100.000
n-Nitrosodifenilamina	1116-54-7	0.460	9.200
n-Nitrosodimetilamina	62-75-9	0.003	0.068
n-Nitroso-di-n-butilamina	924-16-3	0.036	0.720
n-Nitrosodi-n-propilamina		0.017	0.340
n-Nitrosometiletilamina	10595-95-6	0.007	0.136
n-Nitrosopirrolidina	930-55-2	0.068	1.360
o-Cresol	95-48-7	200.000	4000.000
p-Cloroanilina	106-47-8	1.600	32.000
p-Cresol	106-44-5	20.000	400.000
Pentaclorobenceno	608-93-5	0.543	10.860
Pentaclorofenol	87-86-5	5.000	100.000
Pireno	129-00-0	1.690	33.800
Piridina	110-86-1	5.000	100.000
<b>COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES</b>			
1,1,1,2-Tetracloroetano	630-20-6	10.000	200.000
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	30.000	600.000
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	1.300	26.000
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	1.200	24.000
1,1-Dicloroetano	75-34-3	0.500	10.000
1,1-Dicloroetileno	75-35-4	0.700	14.000
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	3.400	68.000
1,2-Dibromo-3-cloropropano	96-12-8	0.011	0.228
1,2-Dicloroetano	107-06-2	0.500	10.000
1,2-Dicloropropano	78-87-5	0.230	4.600
1,3-Dicloropropileno	542-75-6	0.085	1.700
1,4-Dioxano	123-91-1	0.136	2.720
2-Nitropropano	79-46-9	0.019	0.380
Acetato de Etilo	141-78-6	114.000	2280.000
Acetona	67-64-1	60.000	1200.000
Acetonitrilo	75-05-8	3.000	60.000
Acrilamida	79-06-1	0.038	0.760
Acilonitrilo	107-13-1	5.000	100.000
Acroleina	107-02-8	0.248	4.960
Benceno	71-43-2	0.500	10.000
Bromodiclorometano	75-27-4	6.000	120.000
Bromoformo	75-25-2	0.180	3.600
Bromometano (bromuro de metilo)	74-83-9	3.700	74.000

Bromuro de Metileno	74-95-3	1 900	38 000
cis-1.2 Dicloroetileno		6.400	128 000
cis-1.3-Dicloropropileno	10061-01-5	0.485	9.700
Clorobenceno	108-90-7	100.000	2000.000
Clorodibromometano	124-48-1	0.430	8.600
Cloroformo	67-66-3	6.000	120 000
Clorometano (Cloruro de Metilo)	74-87-3	0.959	19.180
Cloropreno (2 Cloro-1.3-butadieno)	126-99-8	5.150	103 000
Cloruro de Metileno	75-09-2	8.600	172.000
Cloruro de Vinilo	75-01-4	0.200	4.000
Diclorodifluorometano	75-71-8	11.900	238 000
Disulfuro de Carbono	75-15-0	14.400	288.000
Estireno	100-42-5	10.000	200 000
Etilbenceno	100-41-4	81.000	1620.000
Etilmetacrilato	97-63-2	6.600	132 000
Hexacloroetano	67-72-1	3.000	60 000
Isobutanol	78-83-1	36.000	720 000
m-Diclorobenceno	541-73-1	4.300	86.000
Metanol	67-56-1	300.000	6000.000
Metiletilcetona	78-93-3	200.000	4000.000
Metilisobutilcetona	108-10-1	3.000	60 000
Metilmetacrilato		8.100	162.000
o-Diclorobenceno	95-50-1	60.000	1200 000
p-Diclorobenceno	106-46-7	7.500	150.000
Tetracloroetileno	127-18-4	0.700	14 000
Tetracloruro de Carbono	56-23-5	0.500	10.000
Tolueno	108-88-3	14.400	288.000
trans-1.3-Dicloropropileno	10061-02-6	0.245	4.900
Tricloroetileno	79-01-6	0.500	10 000
Tricloromonofluorometano	75-69-4	16.000	320.000
Xilenos (todos los isómeros)	1330-20-7	22.400	448.000

## EJERCICIOS

### PROPÓSITO DE LOS EJERCICIOS

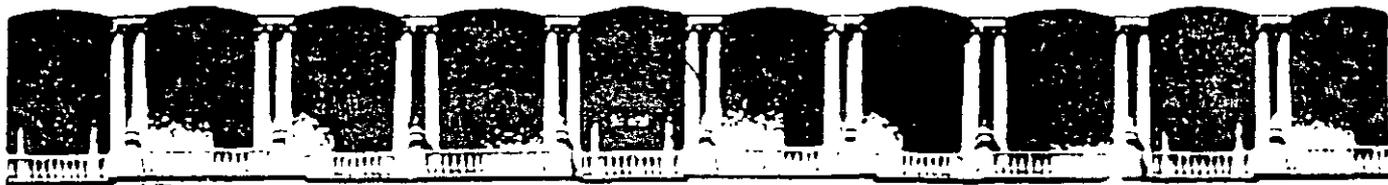
- Reafirmar el conocimiento sobre la definición de residuos peligrosos
- Reafirmar la importancia del entendimiento claro de la definición y clasificación de residuos peligrosos

1. ¿Qué factores deben considerarse al elaborar una definición de residuo peligroso?
2. En México el estado físico de un residuo (sólido, líquido, gas o sólido), es importante para establecer si éste es peligroso o no?
3. ¿Qué propósito tiene el clasificar a los diferentes residuos de acuerdo a sus características (CRETI)? ¿Qué problemas presenta éste tipo de clasificación?
4. a) Compare la definición de residuo peligroso de la EPA, RCRA y LGEEPA?  
b) ¿Cuáles son sus similitudes y diferencias?
5. Indique las razones para considerar o no a los siguientes productos como residuos peligrosos
  - Un carro tanque de ácido sulfúrico fumante
  - Disolventes residuales de limpieza de partes
  - Marcadores radioactivos usados en un laboratorio de investigación (\*mercurio, \*suelos contaminados de un derrame de gasolina)
6. ¿Explique cuáles el papel del ciudadano?

## BIBLIOGRAFÍA

### FALTA INSERTAR OTRAS CITAS

Environmental Statutes. 1998 Edition. Govenrment Institutes, Rockville, Maryland, E.U A.  
Firestone, D.B. y Reed F.C., Environmental law for non lawyers AoRo Press, South  
Royalton, Vermont, E.U A., 1993.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

## **MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

### **TEMA**

## **TRATAMIENTO FISICOQUIMICO DE RESIDUOS PELIGROSOS**

**EXPOSITOR: M. EN C. GERARDO MARTINEZ  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

## Tratamiento fisicoquímico de residuos peligrosos.

M. en C. Gerardo Martínez

LAFQA, Instituto de Geografía, UNAM

### 1. Introducción.

En general el tratamiento de residuos peligrosos implica el uso de varias tecnologías antes de su disposición final. El propósito de éstas tecnologías es la modificación de alguna o varias de sus propiedades físicas, químicas o biológicas; reducir el volumen o inmovilizar uno o varios de sus componentes tóxicos.

La elección de la tecnología de tratamiento más apropiada dependerá del residuo en cuestión. Dependerá de muchos factores, incluyendo la normatividad y costos. Por otra parte, es muy común que exista más de una solución para un problema en particular; sin embargo, ninguna ruta de tratamiento ofrece una seguridad absoluta.

Los tratamientos que utilizan procesos fisicoquímicos involucran el uso de reacciones químicas para transformar las corrientes residuales peligrosas en sustancias menos peligrosas. Así mismo, utilizan operaciones físicas para facilitar su separación. Una de las características más atractiva de este tipo de procesos es que fomenta la recuperación y el reuso de sustancias químicas. De ésta manera es posible la obtención de subproductos útiles a partir de materiales de desecho altamente contaminantes y efluentes residuales que no provocan problemas ambientales.

### 2. Generalidades.

#### 2.1 Residuo peligroso.

Se define residuo peligroso como aquel residuo o combinación de residuos, los cuales debido a sus características físicas, químicas, o infecciosas; su cantidad y o concentración puede provocar los siguientes trastornos:

Causar o contribuir a incrementar la mortalidad o enfermedades serias.

Ocasionar riesgos a la salud humana y en general al ambiente cuando son tratados, almacenados, transportados o dispuestos inadecuadamente.<sup>1</sup>

De acuerdo al normatividad mexicana<sup>2</sup> un residuo peligroso es aquel que presenta una o más de las características indicadas en la siguiente tabla.

Característica	Indicador
Corrosividad	pH
Reactividad	Aquellos residuos que pueden sufrir cambios en violentos y o generar gases en condiciones de temperatura y presión

	normales.
Explosividad	Un residuo es explosivo si presenta alguna de las siguientes propiedades: a) Es más sensible a golpes que el dinitrobenceno. b) Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante a condiciones normales.
Toxicidad	Niveles exigidos en la norma oficial
Inflamabilidad	Es la característica de un residuo que debido a la presencia de cierto compuesto puede ocasionar incendio durante el transporte, almacenamiento o disposición.

## 2.2 Clasificación de residuos peligrosos.

La siguiente clasificación es una propuesta realizada por el Banco Mundial, la ONU y el Programa de Naciones Unidas para el Mejoramiento del Ambiente (1989). Une los diferentes tipos de residuos con las categorías industriales que los generan.

Residuo	Características
Inorgánicos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Ácidos y bases (álcalis): Principalmente provienen de la preparación de superficies y acabado de metales.</li> <li>2) Cianuros: Provenientes en su mayoría del acabado de metales y del tratamiento de ciertos aceros a elevadas temperaturas.</li> <li>3) Asbestos: Se generan a partir de residuos de recubrimientos de estaciones de energía, plantas de manufactura industrial, fábricas de gas, astilleros, hospitales y establecimientos educacionales.</li> <li>4) Varios metales: La fuente generadora más importantes es la industria minera en general y las relacionadas con ésta industria.</li> </ol>
Orgánicos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Solventes halogenados: Originados en operaciones de limpieza. Presentan alta movilidad y alta toxicidad.</li> <li>2) Solventes no halogenados. Utilizados en una amplia variedad de empresas.</li> <li>3) Bifenilos policlorados. Se utilizan en transformadores y capacitores, como fluidos hidráulicos y de transferencia de calor.</li> <li>4) Residuos de pinturas y resinas.</li> <li>5) Residuos de biocidas.</li> <li>6) Hidrocarburos.</li> </ol>

Orgánicos putrescibles.	1) Provenientes de la producción de aceites. 2) Desperdicios de rastros y otros provenientes de animales.
Residuos poco peligrosos pero de gran volumen	Aquellos que presentan bajo riesgo, pero que en grandes volúmenes pueden ocasionar problemas. Como ejemplo, los lodos provenientes de perforación de pozos petroleros.
Diversos	Debido a la gran variedad de procesos, existe un número de residuos no clasificados. Ejemplos: residuos biológicos infecciosos, compuestos químicos y fármacos que han caducado, etc.

### 3. Procesos fisicoquímicos utilizados en el tratamiento de residuos peligrosos.

De acuerdo a la química del proceso utilizado el tratamiento fisicoquímico de los residuos peligrosos se puede clasificar de la siguiente manera:

- Precipitación química.
- Neutralización.
- Hidrólisis.
- Fotólisis.
- Procesos de oxido reducción.
- Deshalogenación.
- Ozonificación
- Estabilización/Solidificación.
- Intercambio iónico.

#### 3.1 Precipitación química.<sup>3</sup>

La precipitación química es un proceso por el cual una sustancia soluble se convierte en insoluble ya sea por medios químicos o por cambios en la composición del solvente para disminuir la solubilidad de las sustancias presentes en él. Los sólidos precipitados pueden separarse por operaciones físicas, como por ejemplo, sedimentación y/o filtración.

##### 3.1.1 Aplicación a los residuos peligrosos.<sup>4</sup>

El principal campo de aplicación de la precipitación química es la remoción de metales tóxicos solubles que puedan convertirse en insolubles. Esto implica que las matrices sean acuosas o puedan ser llevadas a acuosas.

Los principales metales precipitables son: arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, talio y zinc.

Las fuentes principales de residuos que contienen metales son las industrias de galvanizado y pulimiento de metales, acero y metales no ferrosos, pigmentos

inorgánicos de minería y las industrias electrónicas, así como también se generan de la limpieza de los sitios con residuos peligrosos, por ejemplo, como el lixiviado o el agua subterránea contaminada.

**3.1.2 Descripción del proceso.**

En el proceso de precipitación química se adiciona un precipitante químico al metal contenido en el residuo acuoso, esto se lleva a cabo en un tanque de reacción con agitación. Los metales disueltos se convierten en insolubles por una reacción química entre los compuestos metálicos solubles y el precipitante. Los sólidos suspendidos resultantes se separan por sedimentación en un clarificador. Para mejorar la remoción de los sólidos suspendidos se puede realizar una floculación, con o sin un coagulante químico. <sup>4</sup>

Es importante para los objetivos de esta tecnología de tratamiento considerar las de solubilidades de los compuestos inorgánicos comunes. Por lo general esta información se encuentra disponible en manuales de constantes fisicoquímicas.

Existen diferentes precipitantes químicos para la remoción de metales pesados de los residuos acuosos. La precipitación de hidróxidos utilizando cal como precipitante es el método más empleado, la mayoría de los metales también pueden precipitarse como sulfuros y algunos de ellos como carbonatos. Un agente reductor como el borhidruro de sodio puede reducir y precipitar metales en su estado elemental.

A continuación se presenta una descripción de estos procesos de precipitación:

Proceso de precipitación	de	Características
- Precipitación hidróxidos.	de	El uso de hidróxidos es extensamente aplicable, esto se debe a dos razones: <sup>5</sup> 1. Hay diferencias grandes entre las solubilidades de los hidróxidos metálicos. 2. La utilización de reguladores de pH permite ajustar el pH a un valor predeterminado y constante con objeto de efectuar la separación. La precipitación de hidróxidos utiliza como precipitante el hidróxido de calcio (cal) o hidróxido de sodio (sosa cáustica) para remover los metales como hidróxidos metálicos insolubles.
- Precipitación sulfuros. <sup>6</sup>	de	La separación de los cationes por precipitación como sulfuros se fundamenta en los mismos principios que la separación como hidróxidos.  Una desventaja de la precipitación de sulfuros es la generación de ácido sulfhídrico gaseoso (tóxico), para evitar su evolución se debe cuidar mantener un pH

		superior a 8.
- Precipitación de carbonatos.	de	Para algunos metales, por ejemplo, cadmio y plomo; la precipitación de carbonatos puede producir concentraciones de metal en el efluente comparables con aquéllas realizadas por precipitación de hidróxidos con los beneficios de un pH y una densidad de operación bajos y un lodo más filtrable.
- Precipitación borhidruro sodio. <sup>7</sup>	por de	El borhidruro de sodio es un agente reductor que puede emplearse para separar metales de la solución como metal elemental insoluble. Efectivo para la remoción de plomo, mercurio, níquel, cromo, cadmio y metales preciosos como el oro, plata y platino.
- Cementación. <sup>8</sup>		El proceso puede utilizarse para remover y recuperar iones metálicos reducibles de corrientes residuales acuosas por medios electroquímicos, generando el correspondiente elemento en su estado metálico. El uso de la cementación ofrece ventajas económicas importantes en comparación con otros métodos en situaciones en que el metal precioso como el oro, plata o cobre puede recuperarse empleando materiales reductores de desecho <sup>9</sup>
- Otros procesos de precipitación.	de	Existen otros procesos de precipitación que pueden considerarse para tratar residuos que contienen compuestos metálicos específicos, especialmente donde los residuos tienen un metal particular y se desea su recuperación.

### 3.1.3 Consideraciones en el uso de la precipitación.

Se deben considerar los siguientes puntos:

- Análisis costo-efectividad.
- Pruebas comparativas y preliminares de laboratorio.<sup>4</sup>
- Uso de Cal vs. Sosa cáustica.
- Calor de reacción.
- Efecto de interferentes o agentes enmascarantes.
- Procesos de Coagulación y Floculación.<sup>3</sup>

### 3.2 Neutralización.

Muchas operaciones de manufactura y proceso producen efluentes que son ácidos o alcalinos en su naturaleza. La neutralización de una corriente residual excesivamente ácida o básica es necesaria en una variedad de situaciones, <sup>6</sup> por ejemplo:

- 1) Para prevenir la corrosión de metales y/o daño a otros materiales de construcción.
- 3) Para proteger la vida acuática y el bienestar de los seres vivos.
- 4) Como un tratamiento preliminar.
- 5) Para proporcionar un pH neutral a aguas de reciclado, proceso o de alimentación a calderas.

Este tratamiento no produce una destrucción efectiva del residuo, pero disminuye su peligrosidad y lo hace más apropiado para un tratamiento adicional y una consiguiente disposición segura en el ambiente.

La neutralización es simplemente la interacción de un ácido con una base.

### 3.2.1 Principios de operación.

Es factible que la neutralización se lleve a cabo en tanques, lagunas, columnas absorbedoras etc., en operaciones discontinuas o de flujo continuo, dependiendo en parte del volumen y velocidad del flujo.

La adición del agente neutralizante es monitoreada y ajustada por mediciones y control del pH.

### 3.2.2 Campo de aplicación.

En la siguiente tabla se enumeran algunas industrias que utilizan este proceso.

INDUSTRIA	pH DE SUS AGUAS RESIDUALES
Pulpa y papel	Acido y básico
Productos lácteos	Acido y básico
Textiles	Básico
Farmacéuticos	Acido y básico
Curtido y acabado de piel	Acido y básico
Refinamiento del petróleo	Acido y básico
Molienda de granos	Acido y básico
Frutas y vegetales	Acido y básico
Bebidas	Acido y básico
Materiales plásticos y sintéticos	Acido y básico
Decapado de acero	Acido
Subproductos de coque	Básico

Acabado de metales	Acido
Compuestos químicos orgánicos	Acido y básico
Compuestos químicos inorgánicos	Acido y básico
Fertilizantes	Acido y básico
Productos de gas industrial	Acido y básico
Productos de cemento	Acido y básico
Generación eléctrica y de vapor	Acido y básico

### 3.3 Hidrólisis.

La hidrólisis como proceso químico se ha utilizado en la industria de la manufactura del jabón. La adición de un álcali para neutralizar grasas calientes en la producción del jabón aún se utiliza. Los procesos que involucran la hidrólisis son comunes en la industria, aún cuando tienen diferentes acepciones (por ejemplo, la hidrólisis de grasas se denomina saponificación). Los procesos hidrolíticos tienen aplicaciones de manufactura comercial, como diversas industrias alimenticias, papeleras y petroquímicas.<sup>6</sup>

El agua por sí sola puede llevar a cabo la hidrólisis, la mayoría de los procesos comerciales emplean presiones y temperaturas elevadas para promover la reacción. Los ácidos, álcalis y enzimas se usan comúnmente como catalizadores, aunque el álcali también puede participar como un reactante estequiométrico. Las reacciones hidrolíticas pueden agruparse en cinco clases:

1. Hidrólisis pura con agua sola.
2. Hidrólisis con ácido acuoso, diluido o concentrado.
3. Hidrólisis con álcali acuoso, diluido o concentrado.
4. Fusión de álcali con poca o sin agua libre, pero a elevadas temperaturas, la reacción es la misma que la clase 3.
5. Hidrólisis con enzimas como catalizador.

#### 3.3.1 Aplicación para el tratamiento de residuos.

Como proceso de tratamiento para residuos peligrosos, la hidrólisis se puede aplicar a una amplia variedad de formas físicas. Puede adaptarse al manejo de líquidos, gases y sólidos. Con pocas excepciones, la hidrólisis no parece ser promisoria para la disposición de materiales inorgánicos; sin embargo, es de gran importancia para compuestos orgánicos aromáticos y alifáticos, tales como ésteres, éteres, carbohidratos, ácidos sulfónicos, compuestos halogenados, fosfatos y nitrilos.

Una desventaja potencial de la hidrólisis es la posibilidad de formación de productos de reacción indeseables. Frecuentemente, será necesario conducir una investigación preliminar (a escala laboratorio) de la reacción, para determinar la temperatura, presión, tiempo de reacción, agente hidrolizante y concentración apropiadas. También deben estudiarse las rutas de reacción más probables y la toxicidad de cualquier producto suspendido.

### **3.4 Fotólisis.<sup>10,11</sup>**

El proceso fotoquímico ocurre continuamente en la atmósfera y en la superficie de la tierra. Es un proceso ambiental natural que se presenta diariamente, degradando numerosos compuestos orgánicos en la superficie de suelo, en la atmósfera y en varios cuerpos de agua. La radiación ultravioleta que llega a la superficie de la tierra está limitada a longitudes de onda mayores de 295 nm, ya que el oxígeno atmosférico absorbe las longitudes inferiores.

El equipo fotoquímico consiste de dos componentes: Un recipiente que contiene el material a irradiar y una fuente de luz. De esta manera es posible la degradación de compuestos vía procesos fotoquímicos.

#### **3.4.1 Aplicaciones.**

La fotólisis se emplea como método de destrucción de ciertos herbicidas y plaguicidas, debido a que el uso extenso de éstos ha llegado a infiltrarse en el agua subterránea. Probablemente, una de las reacciones más importantes en la degradación de plaguicidas es la reacción de fotodeshalogenación, debido a que muchos de los materiales de interés están halogenados y muchos de ellos son recalcitrantes.

La fotólisis de muchos compuestos aromáticos conduce a una fragmentación incompleta del anillo. Algunos de los productos de la fotólisis de plaguicidas pueden presentar problemas toxicológicos potenciales (aún cuando se piensa que son menos tóxicos que el material original). En consecuencia se debe contar con un proceso de tratamiento secundario que mineralice los fotoproductos. Se pueden utilizar sistemas microbianos para realizar la destrucción completa de algunos fotoproductos generados por la radiación ultravioleta.

### **3.5 Procesos de oxido reducción.<sup>12, 13</sup>**

Las reacciones de oxidación-reducción son aquéllas en las cuales el estado de oxidación de un reactante aumenta mientras el estado de oxidación del otro disminuye a través de un intercambio de electrones dentro de un sistema definido.

Las reacciones de oxido-reducción 'redox' tienen un papel importante en el tratamiento de residuos, debido a que se utilizan en el tratamiento de residuos que

contienen trazas de metal y de residuos tóxicos inorgánicos tal como los residuos que contienen metales, sulfuros, cianuros y cromo y también en el tratamiento de algunos compuestos tales como fenoles, plaguicidas, etc.

Ya que estos procesos de tratamiento involucran reacciones químicas, generalmente los reactantes están en solución.

### 3.5.1 Aplicaciones.

La oxidación química se usa ampliamente para tratar residuos peligrosos y no peligrosos. La tecnología está bien establecida y representa un medio seguro de tratamiento que es fácilmente monitoreado y controlado. Aún cuando la oxidación química es más apropiada para el tratamiento de líquidos también se puede usar para suspensiones y lodos.

Los residuos orgánicos que se han tratado por oxidación química son: fenoles, aminas, mercaptanos y clorofenoles.

Algunos reactivos oxidantes utilizados son:

Hipoclorito de sodio.

Peróxido de hidrógeno.

Hipoclorito de calcio.

Permanganato de potasio.

Ozono.

La reducción química se puede utilizar para el tratamiento de constituyentes de residuos peligrosos. En el tratamiento de residuos generales la reducción más aplicada es la del cromo (VI) a cromo (III). Aunque la reducción química puede llevar a los metales a su estado elemental para su recuperación, este proceso tiene aplicaciones limitadas.

Dos de los reductores más ampliamente utilizados son el dióxido de azufre (para residuos de Cr(VI)) y el borhidruro de sodio (para tratar plomo, mercurio, plata, cadmio a niveles de mg/L). También es empleado el borhidruro para tratar cetonas, ácidos orgánicos y amidas, además de que se ha propuesto su uso para deshalogenación de contaminantes orgánicos.

### 3.6 Deshalogenación.<sup>14</sup>

La aplicación de las reacciones de deshalogenación química para el propósito de desintoxicación o destrucción de compuestos peligrosos es relativamente reciente. Se puede clasificar a los compuestos orgánicos, para fines de la deshalogenación, como compuestos halo-alifáticos y halo-aromáticos. Esta clasificación implica que el halógeno (por ejemplo, flúor, cloro, bromo o yodo) está enlazado covalentemente a un átomo de carbón alifático o aromático. La naturaleza de este enlace químico determina el tipo de compuesto químico requerido para el rompimiento del enlace.

Otros métodos químicos para la deshalogenación de los compuestos orgánicos involucran la química de la fundición de sales, radiación ultravioleta y otras fuentes de radiación, oxidación húmeda, reducción catalítica a elevadas temperaturas (300 a 600 °C) e incineración.

Dentro de las aplicaciones de ésta tecnología, el problema más conocido es quizá el de los compuestos bifenilos policlorados (PCBs). Los PCBs se utilizaron ampliamente en cambiadores de calor, dieléctricos y en el medio hidráulico.

### 3.7 Ozonificación <sup>15, 16</sup>

El ozono es un gas inestable, de olor picante. Es un isótopo del oxígeno en el cual tres átomos de oxígeno se combinan para formar una molécula de ozono (O<sub>3</sub>).

Dentro de las aplicaciones del ozono al agua residual y aire

El ozono se ha utilizado por más de 80 años para la desinfección del agua potable municipal. También se utilizan sistemas de ozono con luz UV y/o carbón para impedir la formación de trihalometanos (THM) y la remoción de los compuestos orgánicos halogenados para agua potable.

El potencial de oxidación del ozono le confiere la capacidad de reaccionar rápidamente con un gran número de compuestos orgánicos y que pueda destruir bacterias y virus.

Las aplicaciones industriales y a residuos peligrosos del ozono son las siguientes:

Acuicultura	Compuestos químicos orgánicos
Cervecerías	Pintura y barnices
Torres de enfriamiento	Refinerías de petróleo
Cianuros y cianatos	Productos farmacéuticos
Electro galvanizado	Fenoles
Alimentos y productos semejantes	Fotoprocesado
Hospitales	Plásticos y resinas
Manufacturas inorgánicas	Pulpa y papel
Hierro y acero	Jabones y detergentes
Curtiduría de cuero	Textiles
Minería	

Algunas de las ventajas de usar el ozono incluyen:

Generación en el sitio a partir de aire, se usa inmediatamente, no requiere de almacenamiento o manejo de oxidantes fuertes; se detiene la generación interrumpiendo la potencia y requiere de poco mantenimiento.

Es un oxidante muy fuerte, reacciona con una gran variedad de compuestos orgánicos, también lo hace con compuestos inorgánicos incluyendo metales; no

forma compuestos orgánicos clorados, los remanentes reaccionan con componentes o se convierten en oxígeno; se necesita de un tiempo de reacción corto si la mezcla es adecuada, las dosis son menores en comparación con otros oxidantes; hace a algunos compuestos orgánicos más biodegradables:

Se requiere de condiciones de temperatura y pH menos críticas que otros oxidantes; los efluentes tratados son normalmente ricos en oxígeno.

Algunas desventajas de la utilización de ozono son:

Tiene un elevado costo de capital en comparación con otros sistemas oxidantes; el costo de operación depende de los costos de la electricidad.

No degrada los compuestos orgánicos clorados de bajo peso molecular, el gas de salida debe recibir un tratamiento si tiene ozono presente.

### 3.8 Estabilización/Solidificación. <sup>17</sup>

En el manejo de residuos peligrosos, la solidificación/ estabilización es un término normalmente utilizado para designar una tecnología que emplea aditivos para reducir la movilidad de los contaminantes, haciendo así al residuo aceptable a los requerimientos actuales de disposición en el suelo.

La solidificación y estabilización son procesos de tratamiento designados para mejorar el manejo de residuos y las características físicas, disminuir el área superficial a través de la cual los contaminantes se pueden transferir o infiltrar, limitar la solubilidad o desintoxicar los constituyentes peligrosos.

Para un entendimiento más claro de la tecnología es necesario conocer los términos que se emplean. A continuación se dan algunas definiciones:

- Solidificación: Es un proceso en que ciertos materiales se adicionan al residuo para generar un sólido. Puede o no presentar enlaces químicos entre el contaminante tóxico y el aditivo.
- Estabilización: La estabilización se refiere a un proceso por el que un residuo se convierte a una forma químicamente más estable. El término comprende la solidificación y el uso de una reacción química para transformar el componente tóxico a nuevos componentes o sustancias no tóxicas. Los procesos biológicos no están considerados.
- Fijación química: La fijación química denota la transformación de contaminantes tóxicos a nuevas formas no tóxicas.
- Encapsulación: La encapsulación es un proceso que comprende el recubrimiento total o cercamiento de una partícula tóxica o un aglomerado de residuos con una cierta sustancia (el aditivo o el aglutinante). La microencapsulación se refiere al encierro de partículas individuales. La macroencapsulación a la contención en una recubierto de una aglomeración de partículas residuales o materiales microencapsulados.

#### 3.8.1 Clasificación de los procesos estabilización/solidificación

Los sistemas de solidificación, estabilización o fijación actuales pueden agruparse en las siguientes clases de procesos:<sup>18</sup>

- 1) Solidificación por medio de adición de cemento.
- 2) Solidificación por medio de adición de cal u otros materiales puzolánicos.
- 3) Fijación de residuos en materiales termoplásticos como betún, parafinas o polietileno .
- 4) Micro-encapsulación.
- 5) Macro-encapsulación de residuos en una cubierta inerte.

Los primeros dos métodos son comúnmente empleados para una gran mayoría de residuos inorgánicos. Los siguientes están reservados para residuos radioactivos o aquéllos con un alto contenido orgánico.

Proceso	Características
Cementación	Las técnicas basadas en cementación generalmente utilizan Cemento Portland (CP) con aditivos para mejorar las características físicas y reducir el lixiviado proveniente del residuo solidificado resultante.
Cal	La cal y los materiales puzolánicos en combinación producen matrices cementosas que atrapan al residuo física y químicamente. Las puzolanas se definen como materiales que no producen cementación por sí mismos, contienen constituyentes que en combinación con cal a temperatura normal y en presencia de agua forman compuestos insolubles estables. Pueden utilizarse materiales naturales, incluyendo el polvo volcánico y las cenizas y las puzolanas artificiales como arcillas quemadas, la lutita, mortero quemado y la ceniza fina.

### 3.9 Intercambio iónico.<sup>9</sup>

Es un proceso que implica el intercambio de iones reversible entre las fases líquida y sólida. Los iones sostenidos por fuerzas electrostáticas en grupos funcionales cargados en la superficie de un sólido insoluble se reemplazan por iones de carga similar en una solución. El intercambio iónico es estequiométrico, reversible y selectivo en la remoción de especies iónicas disueltas. Los materiales de intercambio iónico deben tener sitios ión-activos en toda su estructura, alto rendimiento, selectividad por las especies iónicas, capacidad de regeneración, estabilidad física y química y baja solubilidad.

El intercambio iónico es muy útil en el tratamiento de los residuos peligrosos. Algunas aplicaciones comunes son, la desolación, la separación de amonio y el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, donde por medio del

proceso de intercambio iónico, los iones de metales pesados se concentran en el regenerado gastado. El ablandamiento de agua por intercambio de iones sodio por calcio y magnesio es comúnmente practicado en el tratamiento de agua.

### 3.9.1 Tipos de intercambiadores

Existen intercambiadores con sitios cargados negativamente, llamados intercambiadores catiónicos debido a que admiten iones cargados positivamente. Los intercambiadores aniónicos tienen sitios cargados positivamente y atraen iones negativos. Las resinas de intercambio canónico que tienen sitios reactivos de ácidos fuertes, como los grupos sulfónicos (-SO<sub>3</sub>H), remueven cationes fácilmente. Las resinas de intercambio canónico de ácidos débiles que tienen grupos carboxílicos (-COOH) remueven cationes como CA<sup>2+</sup> y Mg<sup>3+</sup> pero tienen una capacidad limitada para remover Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>.

Los intercambiadores aniónicos son polímeros que incluyen intercambiadores de base débil y base fuerte. El grupo funcional es una amina. Los intercambiadores de base fuerte remueven la alcalinidad del agua por substitución de iones cloro.

### 3.9.2 Aplicaciones

En operaciones de galvanizado de metales, se utilizan resinas de intercambio aniónico para recuperar ácido crómico de aguas de enjuague, también para intercambiar cianuro y complejos de cianuro metálico.

Comercialmente, se han demostrado los procesos de recuperación de compuestos químicos provenientes de los baños de electrogalvanizado ácido-cobre, ácido-zinc, níquel, estaño, cobalto y cromo. El proceso también se utiliza para purificar soluciones del galvanizado y así, dar un período de vida más largo.

## 4.0 Evaluación de los procesos fisicoquímicos para el tratamiento de residuos peligrosos.

- La elección de la metodología de tratamiento para un residuo en específico depende de muchos factores, entre los cuales se deben considerar:
- Naturaleza del residuo.
- Estado físico.
- Concentración de contaminante.
- El equipo a emplear.
- El proceso.
- La efectividad.
- Costo de la tecnología.

Considerando los puntos anteriores y tomando como referencia el siguiente cuadro se puede evaluar cual es la mejor opción de tratamiento para un residuo dado. Es

necesario recordar que la elección de cierto proceso implica el estudio a fondo del residuo en cuestión.

## 5. Bibliografía.

1. USEPA (1991) "Overview and Guide to Information Sources", Innovative Treatment Technologies, EPA/540/9-911002.

2. NOM-053

3. ULLINANF- M.J. y L.W. Jones (1986) "Handbook for Stabilization/Solidification of Hazardous Waste", USEPA Hazardous Waste Engineering Research Laboratory, Cincinnati Ohio, Junio.

4. CHUNG N.K. (1989) "Standard handbook of hazardous wastes" Ed. McGraw-Hill, New York, pp. 7.21-7.29.

5. AYRES G. H., (1970) "Análisis químico cuantitativo." Ed. Harla S.A. de C.V., México D.F., pp. 41 y 42.

6. KIANG Y.H. y A-A. Metry., (1982) "Hazardous Waste Processing Technology" Ed. Ann Arbor Science, Michigan, pp 486-487, 499-501.

7. LINDSAY M. J. y M.E. Hackman (1985), "Sodium Borohydride Reduces Hazardous Waste" 40aya. Conferencia anual de Residuos Industriales, U.S.A., pp.107.

8. LEA F. M. (1970) "The chemistry of the cement", Edward Anton LTD. U.S-A. pp. 225.

9. WENTZ C.A. (1989) "Hazardous Waste Management", MC Graw-Hill Publishing Co., New York.

10. CALVERT, J.G. y Pitts, J.N. (1966), "Photochemistry", Ed. Wiley, New York, pp 25.

11. KEARNEY, P.C. y Mazzochi, P.H. (1989) "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment" Photolysis, Ed. Me Graw-Hill, New York, pp. 7.33-7.39.

12. FOCHTMAN E.G. (1989), "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal", Ed. McGraw-Hill, New York, pp 7.41-7.49.

13. HIGGINS T.E. (1989) "Hazardous Waste Minimization Handbook.", Lewis Publishers, Michigan, pp 88-90.

14. OKU. A., y H. Kataoka.(1978), 'A complete dechlorination of polychlorinated byphenyl by sodium naphthalene, Chemistry and Indus", U.S.A., 4:841, noviembre.
15. EVANS F.L. (1977) 'Ozone in Water and Wastewater Treatment", Ann Arbor Science, Michigan, pp 85-87.
16. NOVAK F. C. (1989) 'Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal', Ozonation, Ed. McGraw-Hill, New York, pp 7.65-7.75.
17. MALON-E P. G. y L. W. Jones (1982)\*"Guide to the Disposal of Chemically Stabilized and Solidified Waste", USEPA, Office of Water and Waste Management, SW-872, Washington, D. C., September pp. 235.
18. POON C. S., C. J. Peters y R. Perry.(1983), 'Youth of stabilization processes in the control of toxic wastes", Effluent and Water Treatment Journal 23 (11), Noviembre, New York., pp 451.



Ing. Mario Francisco Moran Laguna

Tema:  
Tratamiento de los residuos peligrosos  
Una alternativa-combustibles alternos

### CUESTIONARIO

1. Nombre:
2. Dependencia:
3. Experiencia en residuos sólidos industriales y peligrosos:
4. Expectativas del curso en residuos sólidos y peligrosos:

Fecha de elaboración: 28/06/2001

SIIDECFT PAGO A PROFESORES

CA 040 PLANEACIÓN Y PROYECTO DE CARRETERAS.

DEL: 18/06/2001 AL 22/06/2001

NOMBRE DEL PROFESOR	NO TRAMITE	CONCEPTO	HORAS CLASE	COSTO POR HORA	HONORARIOS	IVA	SUBTOTAL	ISR	IVA	TOTAL
DR OCTAVIO A RASCON CHAVEZ		IMPARTICION DEL CURSO	2.00	300	600.00	90.00	690.00	60.00	60.00	570.00
ING JORGE ARMANDO RAJAGO MARTIN		IMPARTICION DEL CURSO	3.00	300	900.00	135.00	1,035.00	90.00	90.00	855.00
ING FERNANDO ROMERO MAGAÑA		IMPARTICION DEL CURSO	3.00	300	900.00	135.00	1,035.00	90.00	90.00	855.00
ING MANUEL ZARATE AQUINO		IMPARTICION DEL CURSO	4.50	300	1,350.00	202.50	1,552.50	135.00	135.00	1,282.50
TOTALES:			40.00		15,000.00	2,250.00	17,250.00	1,500.00	1,500.00	14,250.00

ELABORO: ING HILARIO GONZALEZ CRUZ

REVISO: C.P. LILIA ROJAS MENDEZ

AUTORIZO: M. EN I. ALBERTO MORENO BONETT



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS**

## **MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

### **TEMA**

**"TRATAMIENTO TERMICO DE RESIDUOS PELIGROSOS, UNA  
ALTERNATIVA -COMBUSTIBLES ALTERNOS"**

**EXPOSITOR: ING. MARIO FRANCISCO MORAN LAGUNES  
ING. SERGIO RODRÍGUEZ GUTIERREZ  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

## **RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

### **“TRATAMIENTO TÉRMICO DE RESIDUOS PELIGROSOS, UNA ALTERNATIVA -COMBUSTIBLES ALTERNOS-“**

Ing. Mario Francisco Morán Lagunes

Ing. Sergio Rodríguez Gutiérrez

Cooperativa La Cruz Azul, S.C.L.  
Torres Adalid No. 517  
Col del Valle C.P. 03100, México, D.F.

#### **RESUMEN**

La industria del cemento se caracteriza por ser una de las mas grandes consumidoras de combustibles fósiles, ocupando el cuarto lugar en esta materia, siendo superada únicamente por la industria Siderúrgica, Petrolera y Azucarera; así mismo en nuestro país en la actualidad se generan alrededor de 12'000,000 de toneladas de residuos al año y ante la carencia de infraestructura para su manejo adecuado el Horno Cementero se convierte en una alternativa ecológicamente viable para coadyuvar en la solución de este grave problema.

Los proyectos de combustible alternos tienen como objetivo primordial la utilización de combustibles formulados a base de residuos peligrosos, generados por los diferentes tipos de industria, así como de basura; para reciclarlos térmicamente obteniendo de ellos su calor potencial, al mismo tiempo que se apoya a nuestro país y a las autoridades asignadas para ello en el control de la contaminación ambiental, preservando para generaciones futuras los combustibles fósiles, logrando además producir cemento con precio y calidad competitivos.

## ANTECEDENTES

A partir del año 2000 en la Republica Mexicana se producirán aproximadamente 12 millones de toneladas de Residuos Peligrosos, agudizando el problema de contaminación ambiental que actualmente ya representan y avizorando un futuro aterrador fácilmente imaginable.

La solución más drástica es producir menos basura y la más práctica es reciclarla; pero ambas resultan sólo parcialmente aplicables e involucran una toma de conciencia muy difícil de alcanzar por nuestra sociedad. La incineración o destrucción por el fuego, también constituye una técnica orientada a la solución ideal: desaparecerla.

Si analizamos las características de la basura, definiéndola en los términos más simples " desecho doméstico ", podríamos considerar que esta conformada de la siguiente manera:

25 a 30 % de humedad

35 a 40 % de material orgánico combustible (plásticos, papel, envases, cáscaras, etc).

30 a 35 % de material inorgánico incombustible (sílice, metales, vidrio, latas, etc).

En el horno cementero, la humedad se elimina, la materia orgánica se quema o se descompone, generando calor y gases inertes. La fracción residual está conformada principalmente por los 4 constituyentes principales del cemento: sílice, fierro, alúmina y calcio, pudiendo por lo tanto integrarse como materia prima en el proceso; el resto de impurezas, tales como el sodio, potasio, azufre, etc., se encuentran en proporciones mínimas, asimilables sin mayores inconvenientes.

Los Proyectos de Combustibles Alternos tienen como objetivo primordial, la utilización de combustibles formulados a base de residuos peligrosos, de los diferentes tipos de industria y de la basura, para destruirlos térmicamente y de esta manera ayudar a nuestro país y a las autoridades asignadas para ello, en el control de la contaminación ambiental, además de la conservación de los combustibles fósiles, y que a su vez por medio de la recuperación y aprovechamiento de su energía térmica, mantener el proceso de elaboración de cemento.

La creciente disponibilidad y sus aparentes ventajas térmicas y económicas de los combustibles alternos, están creando un interés en muchas partes del mundo para aprovechar el potencial de estos nuevos combustibles en la industria cementera.

Algunas compañías, tales como Blue Circle y Ashgrow, tienen plantas que ya llegaron a la meta de cero costos de los combustibles, en función de que dichas plantas están adyacentes a rellenos sanitarios, donde los desperdicios generan una gran cantidad de gas metano que es canalizado a la planta, la cual cobra por la destrucción térmica de estos compuestos, el uso de otros combustibles como la

llanta que han contribuido para alcanzar un costo neto de combustibles igual a cero.

En los últimos años, el uso de combustibles alternos a base de residuos peligrosos se ha convertido en una práctica común en los Estados Unidos y Europa, con lo que se ha logrado disponer de una gran cantidad de residuos de manera definitiva. Pero mientras que el escenario suena increíblemente atractivo, los retos económicos, legislativos y técnicos que tales programas requieren no deben pasarse por alto.

En el mundo actual el aseguramiento a largo plazo de las fuentes de energía no solo es un problema de costos, sino de supervivencia, ya que no sólo hablamos de rentabilidad sino más bien de viabilidad y convicción ecológica.

Es evidente que las fuentes tradicionales de energía son finitas ( gas, combustible, gasolina, petróleo ), por lo cual su consumo debe ser lo más racional posible, tratando de alargar su disponibilidad el mayor tiempo posible.

También es evidente que gran parte de la no incineración de las mencionadas fuentes tradicionales de energía, así como de la transformación del petróleo en productos no biodegradables ( solventes, llantas, plásticos, etc ), incrementó la generación de residuos, los cuales se convierten en focos de contaminación si no se les da una disposición o tratamiento final adecuado.

La disposición de residuos es en la actualidad un gran problema para nuestro país, ya que no contamos con métodos completamente desarrollados, económicos y definitivos para su tratamiento final, así como una infraestructura de recolección y manejo adecuado de estos materiales.

La industria mundial del cemento ha venido desarrollando importantes avances en este campo, tal como el programa iniciado desde 1982 por Blue Circle y que está orientado a la sustitución de combustible fósil por basura, logrando salvar 33,000 TM de carbón.

Estas investigaciones han sido continuadas por la empresa Japonesa Chichibu Onoda Cement Corp., la cual entre 1994 y 1995 instaló una planta piloto, para integrar los residuos nocivos y peligrosos principalmente constituidos por cloro, como materia prima para la fabricación de cemento. El resultado obtenido de este proyecto ha sido limitado, ya que presenta inconvenientes para la operación de los hornos cementeros por la volatilidad de los cloruros.

Tomando como experiencia lo anterior y pensando en el futuro, cuando el problema ecológico alcance niveles dramáticos, el enfoque tiene que ser distinto y debe estar basada en los siguientes conceptos:

La instalación debe diseñarse para combinar la incineración de residuos y la producción de cemento como dos procesos integrados.

La característica de dosificación de las materias primas deberá manejarse en función de los residuos a tratar térmicamente, debiendo tener la versatilidad necesaria para adecuarse a las variaciones de composición de los mismos.

El sistema de tener capacidad para "engullir" los residuos sin ningún tipo de procesamiento o con un mínimo de clasificación previa, ya que lo contrario resulta poco costoso.

La Cooperativa La Cruz Azul, S.C.L., decidió participar activamente en el convenio INE – Industria Cementera, para la creación de programas que coadyuven al reciclaje térmico de residuos industriales peligrosos y no peligrosos; los cuales previamente deberán ser tratados para convertirlos en un combustible alternativo, aprovechando los avances tecnológicos de países altamente industrializados y desarrollando tecnologías propias.

## **ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS**

En la actualidad se cuentan con las siguientes alternativas técnicamente comprobadas para la disposición de residuos peligrosos a saber:

**Reuso:** Es cuando el residuo peligroso se convierte en materia prima para otro proceso diferente del que lo generó, por ejemplo; la utilización de arenas de fundición en la fabricación de crudo para clinker cementero.

**Reciclamiento:** Es cuando por medio de un proceso, se recuperan algunos materiales contenidos en los residuos peligrosos, quedando nuevamente como materia virgen; generalmente son procesos costosos, por ejemplo; la regeneración del thiner. Generalmente son procesos costosos.

**Confinamiento:** Es cuando se almacena en lugares aprobados y con medidas de seguridad previamente autorizadas los residuos peligrosos, y se renuncia completamente a cualquier beneficio adicional que pudiese proporcionar el residuo. También tiene un costo considerable por flete y por la celda de confinamiento.

**Incineración:** En esta opción se destruyen térmicamente los residuos peligrosos en un hogar con combustión y emisiones controladas, solo que se requiere utilizar un energético fósil para la destrucción de los residuos, perdiéndose la opción de reaprovechar el poder calorífico de los mismos.

**Horno cementero:** Se aprovecha al máximo el poder calorífico del residuo, además de que por la temperatura alcanzada en el proceso, se garantiza la disposición de todos los compuestos peligrosos, ya sea porque se integran a la molécula de clinker o por que se destruyen térmicamente.

## **Combustible alternativo**

Todo combustible que no es catalogado como combustible convencional y cuyo poder calorífico es superior a 3000 Kcal/Kg.

Generalmente es un combustible derivado de una mezcla controlada de varias corrientes de residuos, líquidos o sólidos, que es elaborado y certificado por una planta formuladora bajo autorización, reglas y especificaciones establecidas y aprobadas por la autoridad competente.

Los combustibles alternos formulados con base en residuos, se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- a) Aquellos considerados de calidad superior que proporcionan una contribución térmica positiva a los requerimientos de calor de los procesos y tienen generalmente una calidad constante (por ejemplo, aceites gastados, lodos de pintura, solventes, residuos del petróleo, etc.).
- b) Aquellos que no son auto-térmicos, es decir, que requieren de una fuente de calor adicional para causar su combustión pero que ofrecen una contribución neta positiva al proceso de fabricación del clinker, por ejemplo, papel y cartón contaminados, madera, tierras impregnadas, llantas, etc.
- c) Aquellos que no tienen poder calorífico y que requieren de la destrucción térmica para ser eliminados; lo que significa que pueden ser susceptibles de ser incorporados al proceso de fabricación del clinker, ya que no afectan al proceso, a la calidad del producto ni generan emisiones tóxicas.

## **Clasificación Genérica de Residuos**

Los residuos mencionados anteriormente, se pueden clasificar de manera genérica en cinco grandes grupos:

1. De origen vegetal o productos naturales
2. De origen o productos sintéticos
3. De fácil descomposición y ligeramente tóxicos
4. De difícil descomposición y altamente tóxicos (hidrocarburos poliaromáticos, BPC's, clorados alicíclicos con componentes aromáticos).
5. Otros (basura doméstica, suelos impregnados, partes de autos triturados, etc.)

## **Tipos de Residuos Utilizados como Combustible Alterno**

- Sólidos: Textiles impregnados con hidrocarburos y pinturas, material de empaque contaminado, aserrín, madera usada, resinas, natas de pintura, plásticos (puros y mezclados), poliéster (PET), poliuretano, espuma PUR, hule natural y sintético, cartón y papel contaminado, tonner, tierras impregnadas de

hidrocarburos, hidrocarburos sólidos, lodos secos, carbón activado gastado, residuos de caucho, filtros de papel o de fibras textiles, cuero, etc.

- Líquidos: Mezcla de solventes agotados (tolueno, acetato de etilo, metil-isobutil-cetona, cloruro de metileno, dicloroetano y tricloroetano, etc.), alcoholes, pintura, tintas, lacas y barnices, aceite lubricante usado o gastado, aceites aislantes no clorados, aceites de motor y transmisión, mezclas de aceite mineral, otros aceites lubricantes, emulsiones, fondos de columnas de destilación, breas y demás residuos del petróleo, grasas, ceras y parafinas, lodos acuosos, lodos de papel (incluyendo de papel usado).

- Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Municipales

- Llantas usadas

Los combustibles alternos, en forma individual o a partir de la formulación o mezcla llevada a cabo, deben considerar las especificaciones de la normatividad aplicable y que se encuentran descritas en la tabla No. 1.

<b>Tabla No. 1 ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS DE LOS COMBUSTIBLES ALTERNOS</b>	
Poder calorífico	> 5,000 kcal/kg para líquidos > 4,000 kcal/kg para sólidos
Cloro	< 2%
Azufre	< 1%
Humedad (Las plantas en Mexico normalmente no reciben residuos con mas del 15 % de humedad)	< 50%
pH	4 – 11
Cenizas	< 20%
PCB's	< 50 mg/L
Contenido total de metales	< 1.48%
• Antimonio	5 – 200 mg/L
• Arsénico	< 100 mg/L
• Bario	< 6,000 mg/L
• Cadmio	< 500 mg/L
• Cromo hexavalente	< 3,000 mg/L
• Mercurio	< 50 mg/L
• Níquel	<100 mg/L
• Plata	< 100 mg/L

<b>Tabla No. 1 ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS DE LOS COMBUSTIBLES ALTERNOS</b>	
• Plomo	< 4,000 mg/L
• Selenio	< 100 mg/L
• Talio	< 100 mg/L
• Vanadio	<1,000 mg/L
• Zinc	< 1,500 mg/L

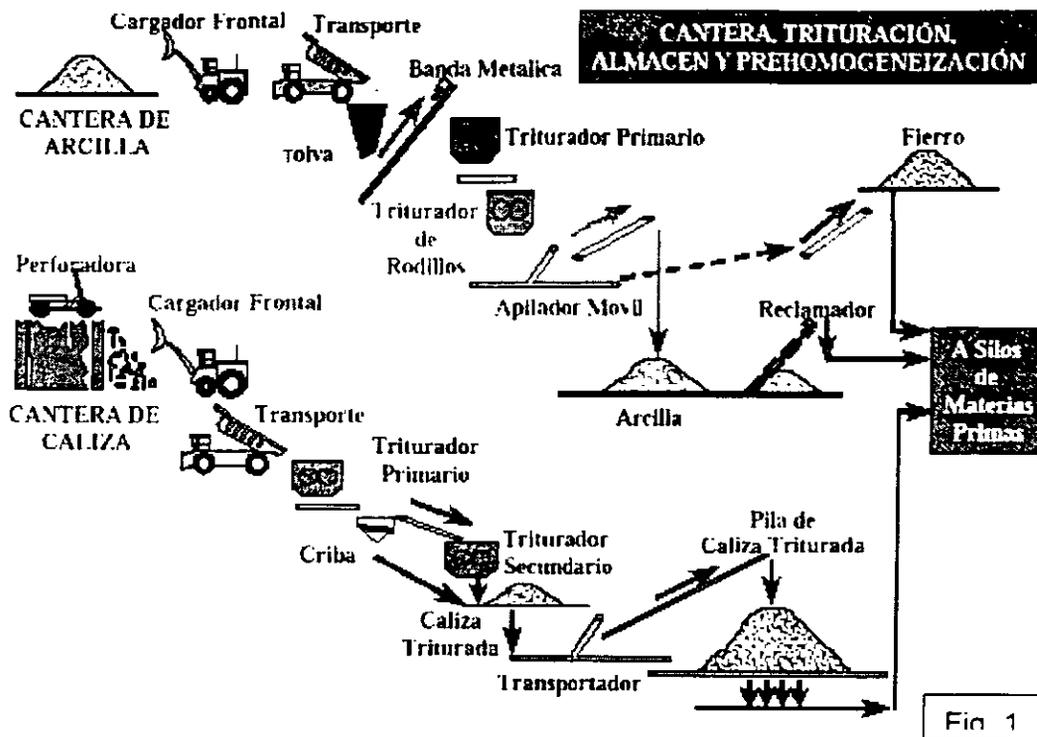
En la tabla No. 2 muestra un comparativo entre el poder calorífico de los combustibles convencionales y los combustibles alternos mas usados para la fabricación de cemento.

<b>Tabla No. 2 Cuadro comparativo del poder calorífico de Combustibles Convencionales VS Combustibles Alternos</b>	
<i>Tipo de Combustible</i>	<i>Poder Calorífico Aproximado (Kcal/kg)</i>
<b>Combustibles Convencionales Utilizados de acuerdo a la NOM-085-ECOL-1994</b>	
• Gas Natural <sup>1</sup>	12,000
• Combustóleo Pesado	9,500
• Coque de Petróleo	7,900
• Gasóleo	10,000
• Diesel <sup>2</sup>	9,800
• Carbón	6,000
<b>Combustibles Alternos</b>	
• Aceite Usado	5,700 – 8,600
• Llantas	5,000 – 7,200
• Sólidos	1,100 – 5,000
• Lodos de perforación	600 – 700
• Combustible Formulado	7,000
• Madera	3,900

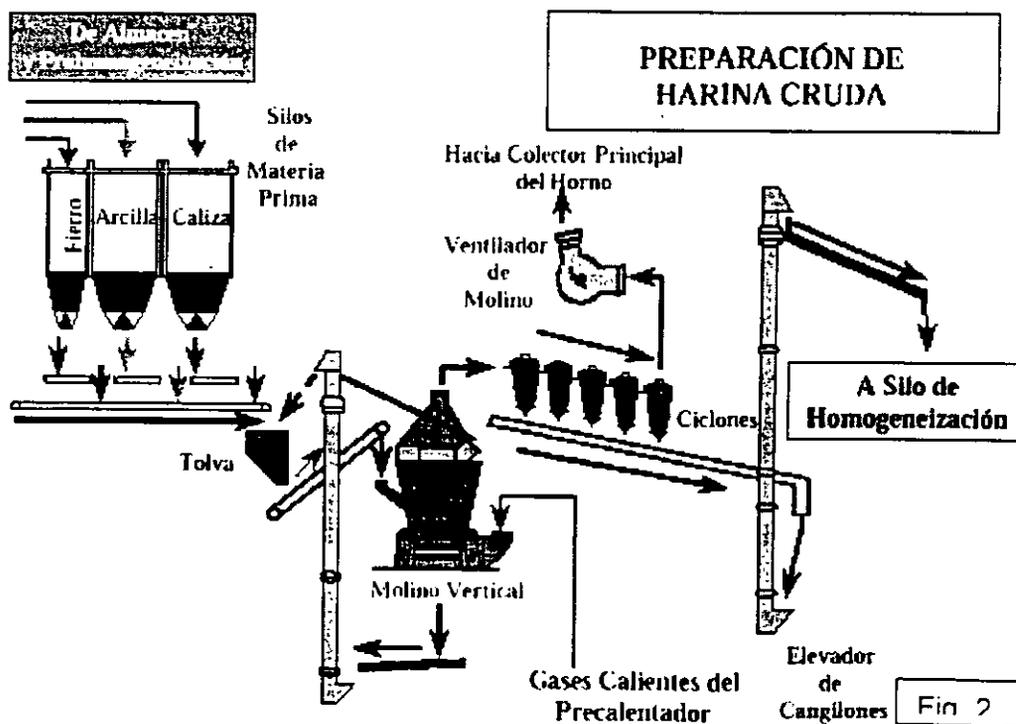
## **LA INDUSTRIA DEL CEMENTO Y EL USO DE LOS COMBUSTIBLES ALTERNOS**

El proceso de la fabricación del cemento se conforma de las siguientes etapas

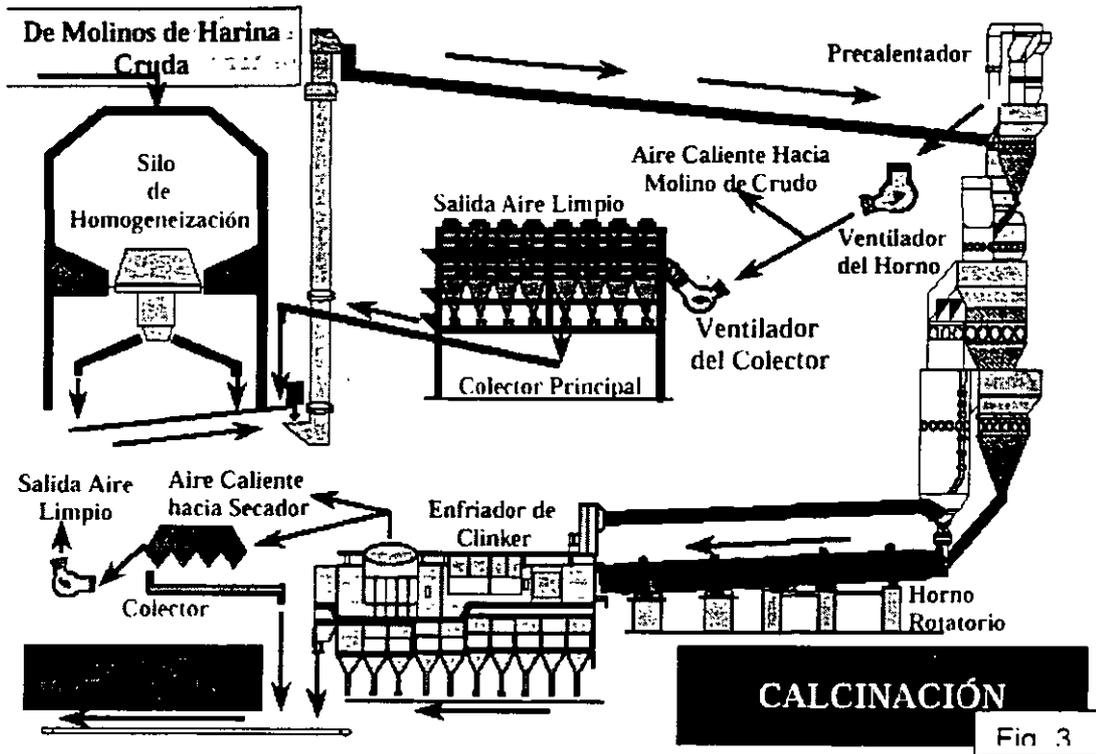
i. Extracción de las materias primas básicas (figura No. 1)



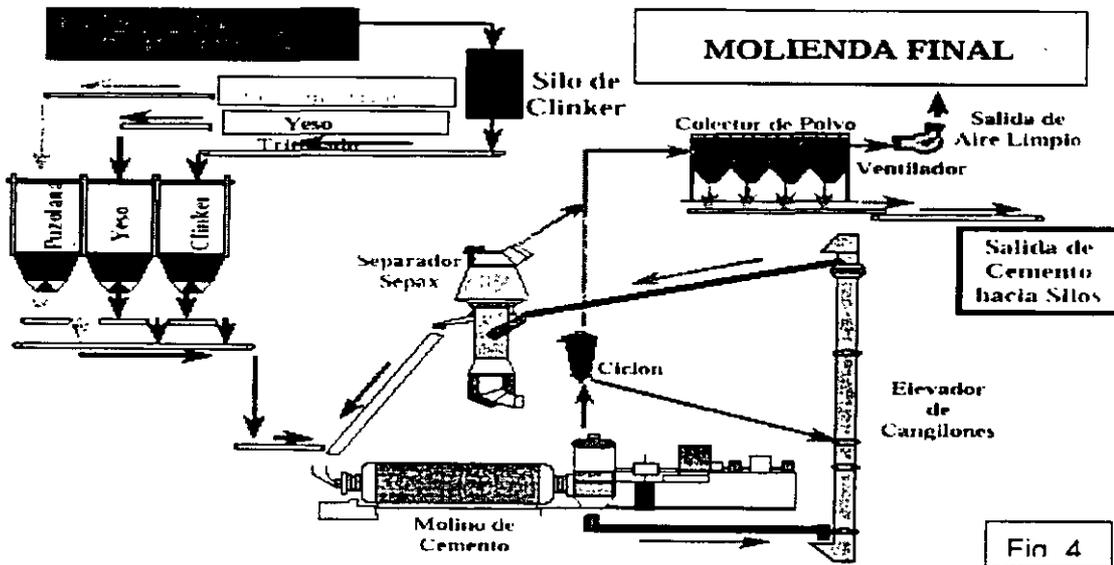
ii. Trituración, pre-homogeneización, dosificación de las materias primas y molienda de la "harina cruda" (figura No. 2)



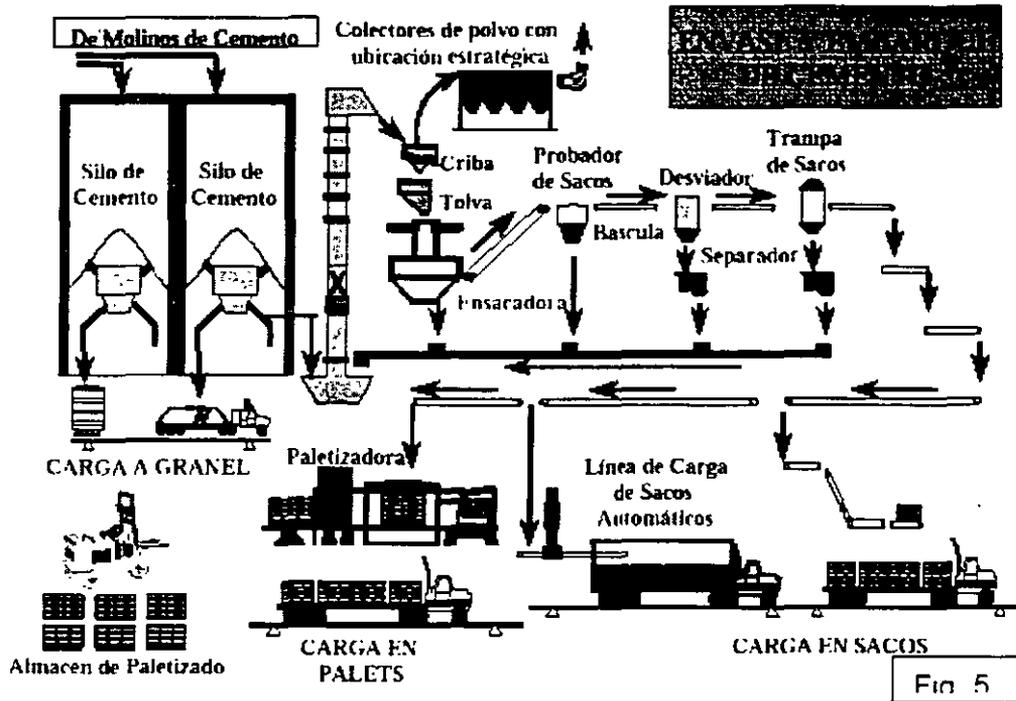
iii. Calcinación y fabricación del clinker (figura No. 3)



iv. Molienda del cemento (figura No. 4)



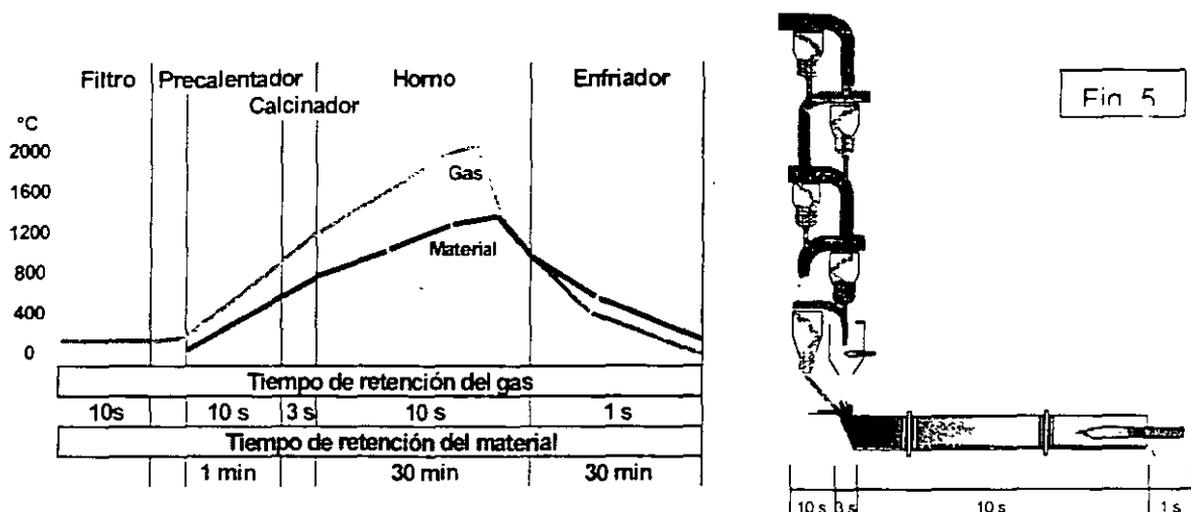
v. Envase y embarque del cemento (figura No. 5)



Las características que hacen a un horno cementero apto para la destrucción térmica de residuos en forma de combustibles alternos

- Temperatura de operación del horno.
- Alta turbulencia de los gases de combustión.
- Largo tiempo de residencia de los gases de combustión.
- Inercia térmica.
- Atmósfera oxidante.
- Ambiente alcalino inherente del proceso.
- Vitrificación de metales en el clinker.
- Proceso que no genera residuos.

La figura No. 6 muestra el comportamiento de los gases y del material a lo largo del proceso, mostrando claramente las temperaturas y tiempos de retención, destacando que:



Las temperaturas de flama alcanzan los 2,000 °C.

Los gases de combustión tienen tiempos de residencia mayor de 10 seg a temperaturas superiores a los 1,200 °C.

Los sólidos alcanzan temperaturas de más de 1,400 °C en la zona de clinkerización del horno.

### Ventajas de usar combustibles alternos en los hornos de clínker

- Las condiciones de temperatura, turbulencia, tiempo de residencia y exceso de oxígeno superiores al mínimo necesario, destruyen a los compuestos orgánicos que se encuentran en los combustibles alternos y los convierten en gases de combustión.
- El horno requiere de una operación muy estable para mantener la producción de clínker con alta calidad lo que minimiza la producción de gases contaminantes, a partir de una mala combustión.
- Los compuestos clorados generados por la combustión de desechos industriales son capturados por los álcalis contenidos en la mezcla cruda formando sales como los cloruros y sulfatos.
- Los compuestos con metales pesados se transforman, debido a la temperatura y atmósfera oxidante, en óxidos metálicos. Finalmente, a través del proceso de vitrificación, el átomo metálico queda integrado a la estructura cristalina del clínker.

- La emisión de los metales volátiles en la chimenea principal, se diluyen en las partículas de polvo arrastradas desde el horno además son atrapadas por los equipos de desempolvado de los gases de combustión los cuales tienen muy alta eficiencia.
- La sustitución de combustibles no renovables es notablemente elevada.
- La existencia de las plantas cementeras evita tener que efectuar inversiones en incineradores y su localización geográfica a lo largo del país facilita la logística del manejo de los residuos peligrosos.

## Marco Regulatorio

### Norma Oficial Mexicana NOM-040-ECOL-1993

Que entre sus puntos mas importantes establece los niveles máximos permisibles de emisión de partículas a la atmósfera originadas por las fuentes fijas, mismas que están referidas en las tablas 3 y 4.

Tabla 3

Niveles máximos permisibles de emisión de partículas a la atmósfera en procesos de calcinación

Proceso de calcinación	Niveles máximos permisibles de partículas kg/h
Menor a 300 ton/hr	$0.6319(C)^{0.7502}$
Igual o mayor a 300 ton/hr	0.15(C)

Donde:

C = Cantidad de material alimentado a hornos de calcinación en toneladas por hora.

Tabla 4

Niveles máximos permisibles de emisión de partículas en operaciones de trituración, molienda y enfriamiento de clinker

Operación	Niveles máximos permisibles de partículas mg/m <sup>3</sup> N <sup>1</sup>
Trituración	80
Molienda de materia prima sin secador integrado	80
Molienda de materias primas, con	

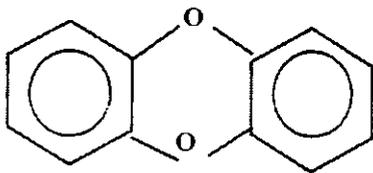
unidades de secado integrados que utilicen combustibles fósiles	380
Molienda de cemento	80
Enfriamiento del clinker	150

N1.-Volumen a condiciones normales, base seca

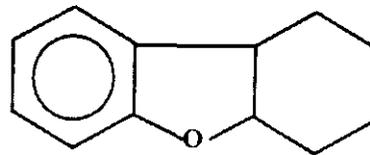
## Dioxinas y Furanos

Dada la importancia y el impacto que causa a la sociedad en general, este tema se considera necesario tratarlo en forma independiente.

Las dioxinas y los furanos son los nombres comunes con los que se conocen a ciertas familias de compuestos aromáticos oxigenados.

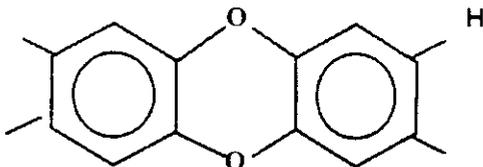


DIOXINA

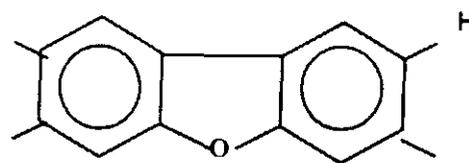


FURANO

En sus formas halogenadas (H) se conocen como dibenzo-p-dioxinas halogenadas (HDD's) y dibenzofuranos halogenados (HDF's).



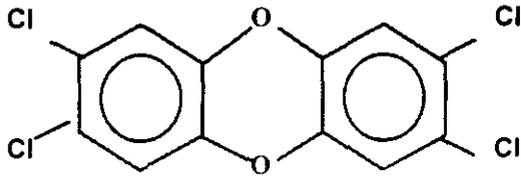
Dibenzo-Dioxina-Halogenada



Dibenzo-Furano-Halogenado

Si existe cloro presente en la descomposición de materiales expuestos a altas temperaturas, combustión u otras reacciones, las dioxinas o furanos pueden tomar átomos de cloro para formar CDD's (Cloro Dibenzo-p-Dioxinas) y CDF's (Cloro Dibenzo Furanos). Estos compuestos son considerados altamente tóxicos y fuertemente persistentes en el ambiente.

El compuesto considerado como de mayor toxicidad de acuerdo a pruebas realizadas en animales, es conocido como:



2,3,7,8-Tetra-Cloro-Dibenzo-Dioxina

A partir del cuál se puede establecer el nivel de toxicidad de los otros compuestos de la misma familia.

Las dioxinas son un grupo de 75 compuestos diferentes con la misma estructura química básica, formados por 3 anillos unidos con carbono, hidrógeno, oxígeno y átomos de cloro (Cl) enlazados en diferentes posiciones de los anillos. Las dioxinas son frecuentemente discutidas junto con los furanos, los cuales forman un grupo de 135 compuestos con estructura y propiedades similares. Las abreviaciones generales para los 210 compuestos de dioxinas y furanos son PCDD / PCDFs (Dibenzo-*p*-dioxinas policloradas y Dibenzofuranos policlorados).

Las dioxinas y furanos son parte de un amplio grupo de químicos conocidos como "compuestos orgánicos clorados" COPs, estos compuestos pueden tener una estructura de anillo o aromáticos (PCDD/PCDF) o de cadena lineal (pesticida/insecticida DDT).

Las dioxinas se generan por el llamado De Novo Synthese entre las temperaturas de 200 y 400 grados Celsius a partir de carbono y iones de cloro ayudando como catalizador la presencia de  $\text{CuCl}_2$ , es decir, es fácil que se formen en la salida de la caldera y en la primer separación del polvo, creando así los TCDD's y TCDF's.

Entre 600 y 800 grados se encuentran los compuestos orgánicos volátiles (moléculas orgánicas no incineradas) que son precursores de la formación de nuevos compuestos. A más de 800°C los TCDD's y TCDF's se destruyen con una presencia de oxígeno mayor al 6%.

Las principales fuentes de formación de dioxinas y furanos son los procesos de producción del clorofenol y sus derivados, los procesos de combustión incompleta en presencia de ciertos compuestos clorados y ciertas reacciones enzimáticas que se producen en procesos biológicos.

Los PCDD/PCDFs nunca se han producido de forma intencional y nunca han tenido ninguna aplicación útil, estos se forman como productos secundarios indeseables en numerosos procesos industriales y de combustión, a diferencia de lo que sucede con otros COP, como por ejemplo, los bifenilos policlorados PCB o el DDT.

## **Condiciones apropiadas para la formación de Dioxinas y Furanos**

Las dioxinas y furanos se producen en cualquier tipo de combustión siempre y cuando encuentre las condiciones propicias para su formación. Estas condiciones se mencionan a continuación por su orden de importancia:

- ❖ Condiciones insuficientes para la combustión
  - Mezclado, temperatura, enfriamiento brusco.
  - Generación de cenizas.
  - Alto contenido de CO e Hidrocarburos Totales.
- ❖ Alta cantidad de partículas entrando al proceso de combustión con pobre quemado
- ❖ Manejo de partículas en el periodo crítico de temperatura (150-450 °C)
- ❖ Desperdicio o combustible con orgánicos complejos y/o lignina como estructura
- ❖ Partículas de materia con contenidos de metales que puedan catalizar la formación de dioxinas
- ❖ Cloro suficiente

## **Condiciones requeridas para la baja formación de Dioxinas y Furanos**

Así como existen condiciones para la formación de las dioxinas y furanos, las hay para inhibir este proceso y se mencionan a continuación por su orden de importancia:

- Baja emisión de partículas
- Baja temperatura de los aparatos de captación de partículas
- Enfriamiento brusco durante el periodo crítico de formación de dioxinas
- Baja cantidad de metales catalizadores
- Alto contenido de azufre
- Cloro insuficiente

## **Control de Dioxinas y Furanos**

Para controlar las dioxinas se requiere cumplir con los siguientes requisitos:

- ❖ Prácticas adecuadas para la combustión
  1. Temperatura alta y uniforme
  2. Buena mezcla del combustible con suficiente cantidad de aire
  3. Minimizar la entrada de partículas de difícil quemado

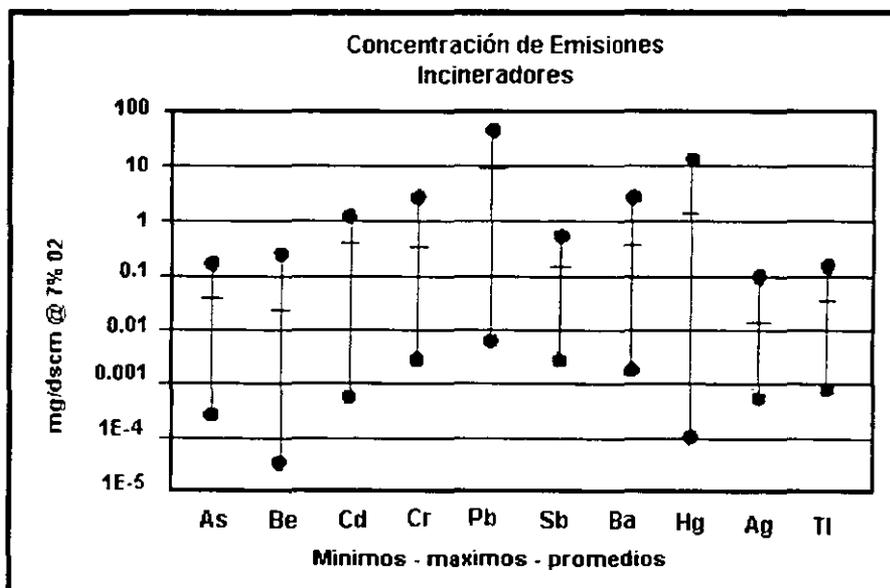
4. Uniformidad en el rango de alimentación del combustible
5. Utilizar las emisiones de CO e Hidrocarburos Totales como indicadores
6. Temperatura adecuada del equipo para control de emisión de partículas

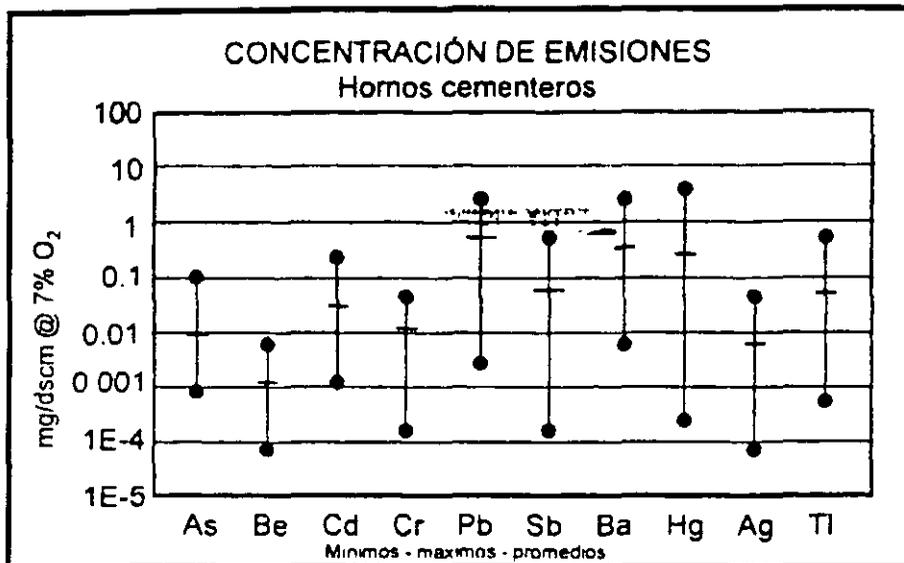
❖ Control de la contaminación del aire

1. Secadores por esparado de agua
2. Filtros con telas
3. Filtros húmedos (Wet Scrubbers)
4. Inyección de carbón
5. Camas de carbón
6. Agentes inhibidores que envenenan la catálisis
7. Oxidación catalítica

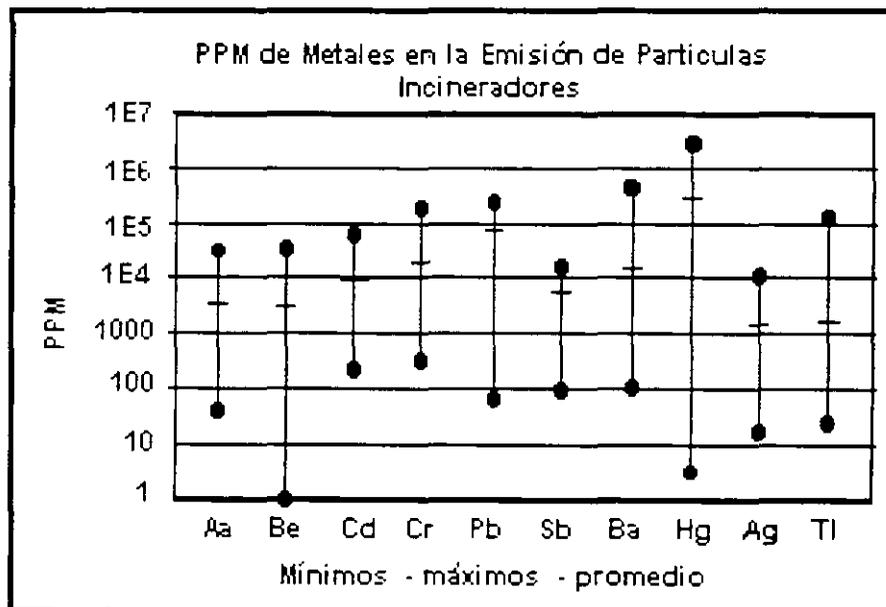
**Evaluación comparativa de emisiones de hornos cementeros que utilizan combustibles alternos y de los incineradores de residuos peligrosos.**

En 1993, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos llevó a cabo un estudio de emisiones de metales, comparando a los hornos de cemento que utilizan combustibles alternos con los incineradores de residuos peligrosos. Los resultados se observan en las siguientes gráficas donde sobresale una concentración de emisiones contaminantes más baja en los hornos cementeros, ya que éstos, por la naturaleza de su diseño y operación, emplean medios altamente efectivos del control de emisiones de metales. Tal es el caso de la adsorción adsorbente seca, la cuál inertiza las partículas finas para actuar como un medio para la condensación volátil de los metales.

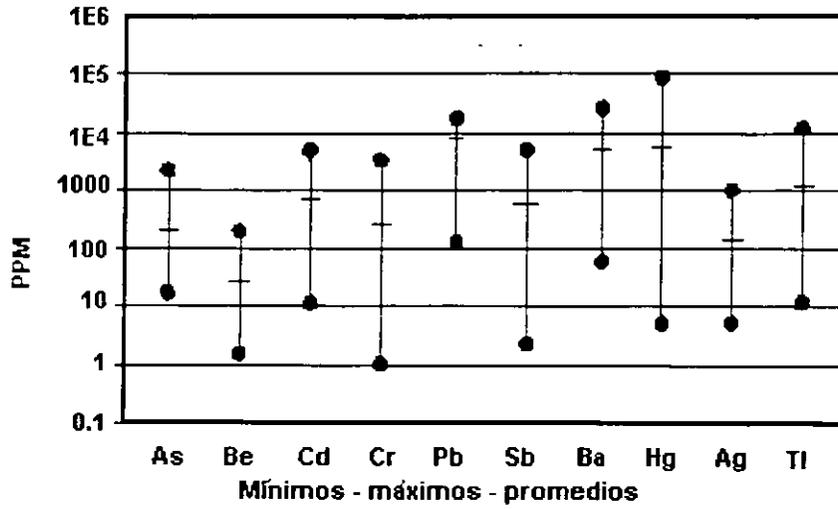




Las siguientes gráficas demuestran de mejor manera lo anterior, al representar el promedio de la tasa de emisión de metales con el promedio de la tasa de emisión de partículas para cada unidad. Claramente se observa que la concentración de metales tóxicos en las partículas emitidas por los incineradores comerciales, es muchas órdenes de magnitud ( $\geq 10$  veces) menor en los hornos cementeros que utilizan combustibles alternos.



**PPM de Metales en la Emisión de Partículas  
Hornos - cementeros**



## CONCLUSIONES

El utilizar combustibles alternos en la industria del cemento nos lleva a obtener los siguientes beneficios:

**Para la sociedad:** Eliminación de grandes volúmenes de desperdicios, lo cual se traduce en ahorros en los programas de inversiones para la creación de infraestructura de los rellenos sanitarios municipales.

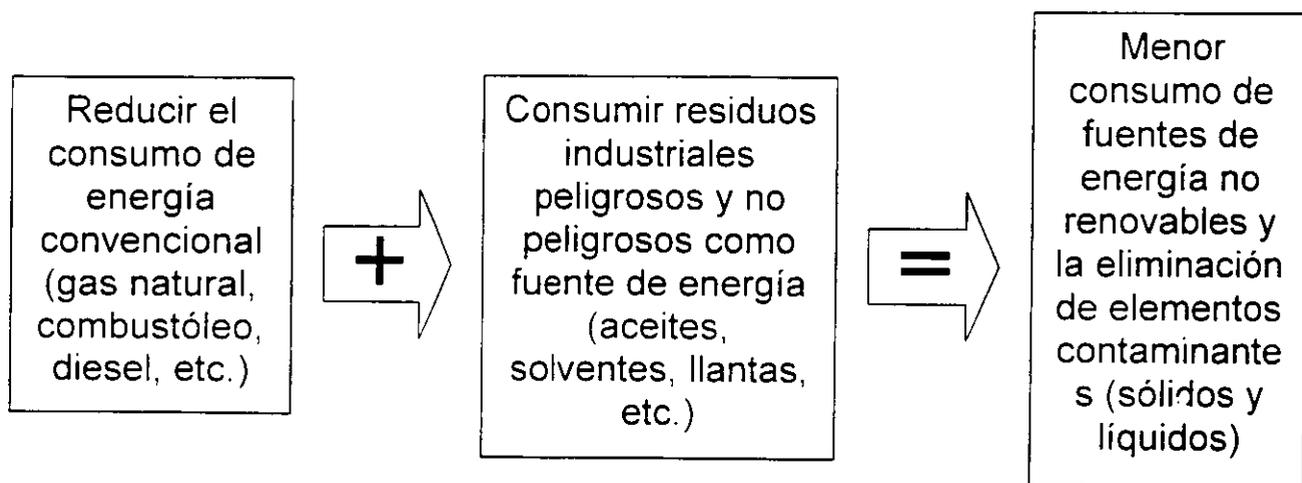
**Para el medio ambiente:** Reducción de los gases contaminantes, producto de toda combustión de energéticos convencionales.

**Para la industria:** Disponer de lugares, donde incinerar los desechos sin generar contaminación atmosférica o de suelos.

**Para el país:** Conservación de combustibles no renovables y eventual reemplazo de energético importados (combustóleo y gas natural ), además del cumplimiento de convenios internacionales en la materia.

**Para la empresa:** Gana competitividad por ahorros en el uso de energía convencional.

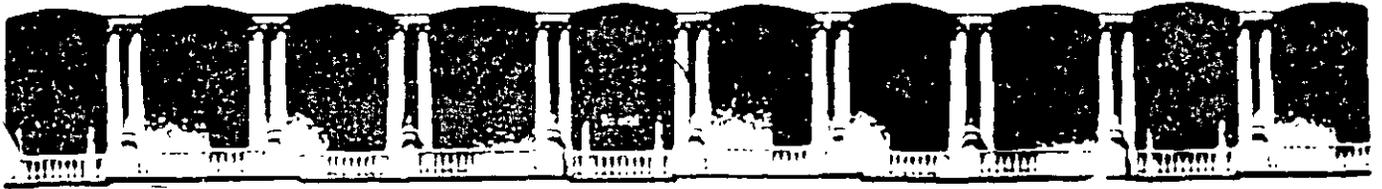
## NUESTRA ECUACIÓN



Para que esta ecuación pueda arrojar resultados positivos, es indispensable que se maneje desde el siguiente punto de vista: la utilización de residuos industriales debe respetar la calidad del proceso, la calidad del producto, pero por encima de todo la calidad de vida de la población.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cooperativa La Cruz Azul, S.C.L. (2000) Diplomado en Materiales y Residuos Industriales Peligrosos „Tecnologías para el Tratamiento y Disposición: Combustibles Alternos“ Facultad de Química, UNAM.
- EPA (1993) A Comparison of Metal Emissions From Cement Kilns Utilizing Hazardous Waste Fuels With Commercial Hazardous Waste Incinerators.
- INE, Autorización No. 13-76-PS-VII-02-97 Para Cooperativa La Cruz Azul S.C.L. planta Tula, Hidalgo, 30 de Diciembre de 1997.
- *Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994*, para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.
- *Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-040-ECOL-1993*. Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, de óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y monóxido de carbono provenientes de las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento.
- SEMARNAP (1996) *“Programa para la minimización y manejo integral de residuos industriales peligrosos en México 1996-2000”*, México.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS**

## **MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS**

**TEMA**

**COMPLEMENTO**

**EXPOSITOR: DRA. ELVIRA SANTOS SANTOS  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

# DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS

BASES PARA EL MANEJO INTEGRAL  
DE RESIDUOS PELIGROSOS  
PARA SUSTENTAR SU  
MINIMIZACIÓN

Dra. Elvira Santos Santos  
Facultad de Química, UNAM

Junio 2001

El manejo adecuado de los materiales y residuos peligrosos tiene como objetivo el cuidado de:

- La salud de los seres vivos
- Y la protección del ambiente

# **AMBIENTE: PREOCUPACION CIENTIFICA**

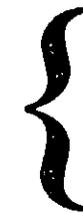
**PRIORIDAD POLITICA**

**ECONOMICA**

**SOCIAL**

**POR QUE ?**

**DEGRADACION DEL ENTORNO**



**NATURAL**

**URBANO**

**DEBIDO A LA**

**ACTIVIDAD HUMANA**

DESARROLLO  
CIENTIFICO  
DESARROLLO  
TECNOLOGICO

GRAN  
ACTIVIDAD  
INDUSTRIAL

NUEVOS  
MODELOS DE  
DESARROLLO  
RESPETUOSOS  
CON EL  
AMBIENTE

*DIFERENTES FORMAS DE*

MATERIA

ENERGIA

VIDA

CONTAMINANTE

DESARROLLO  
SOSTENIBLE



# **CONTAMINACION**

**LA PRESENCIA EN EL  
AMBIENTE DE UNO O MAS  
CONTAMINANTES O DE  
CUALQUIER COMBINACION  
DE ELLOS QUE CAUSE  
DESEQUILIBRIO ECOLOGICO**

# CONTAMINACION POR LA INDUSTRIA

**CASUAL**

**ACCIDENTES EN LA PLANTA PRODUCTIVA**

**ACCIDENTES DURANTE EL TRANSPORTE**

**PERMANENTE**

**SEGURIDAD E HIGIENE (PREVEER Y PREVENIR)**

**PRODUCCION INADECUADA**

**CADA SOCIEDAD DEBE DETERMINAR LOS RIESGOS QUE  
CONSIDERE EXCESIVOS, INACEPTABLES Y DEFINIR SU  
MARCO REGULATORIO Y DE GESTION DE LOS PRODUCTOS  
QUIMICOS PELIGROSOS**

# MEDIO AMBIENTE Y GESTION EMPRESARIAL

Como resultado de la *Conferencia de Río de 1992*, se introdujo una nueva visión del medio ambiente.

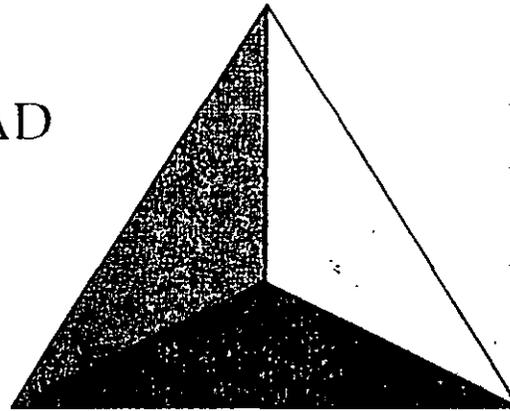
El nuevo enfoque exige observar al planeta como un todo en equilibrio cuya evolución ha generado mayores entropías que superan la capacidad de asimilación del medio ambiente.

Un modelo de desarrollo económico diferente al tradicional, un modelo respetuoso con el entorno y los recursos no renovables

# EL DESARROLLO SOSTENIDO INVOLUCRA:

CRECIMIENTO ECONOMICO

RESPONSABILIDAD  
SOCIAL



RESPONSABILIDAD  
POR EL MEDIO  
AMBIENTE

MASH

# GENERACION DE CONTAMINACION EN LA INDUSTRIA

HUMOS Y VAPORES

GASES

PARTICULAS

VIBRACIONES

MATERIAS PRIMAS  
+ ENERGIA  
+ TECNOLOGIA  
+ COSTOS

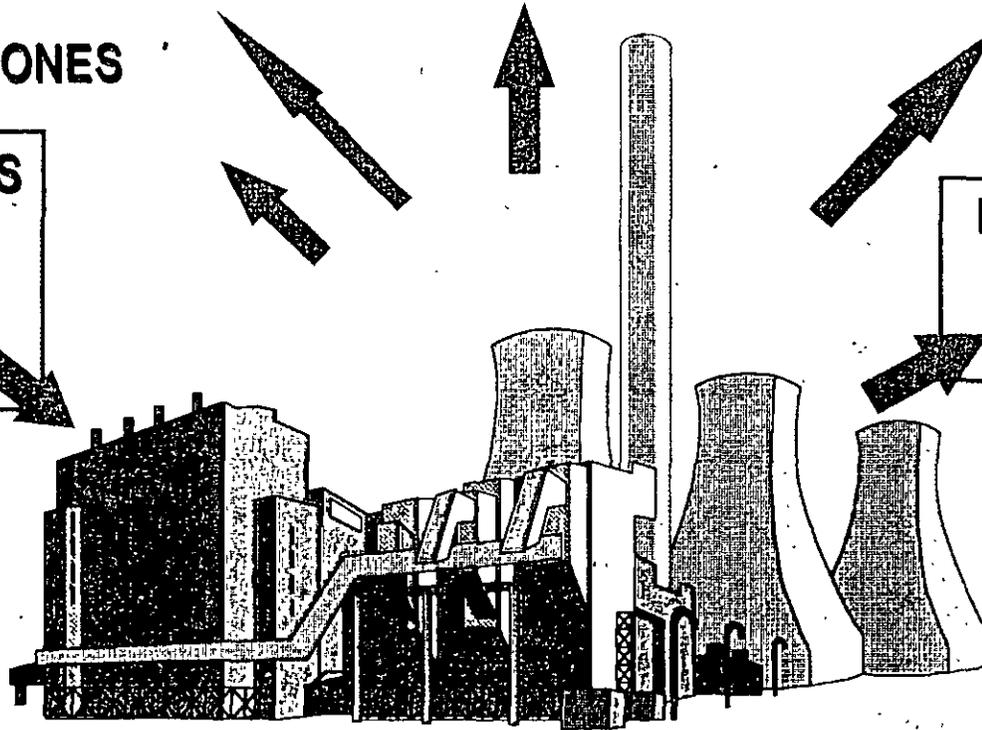
PRODUCTO PRINCIPAL  
+  
BENEFICIOS

RUIDO

SUBPRODUCTOS

EFLUENTES

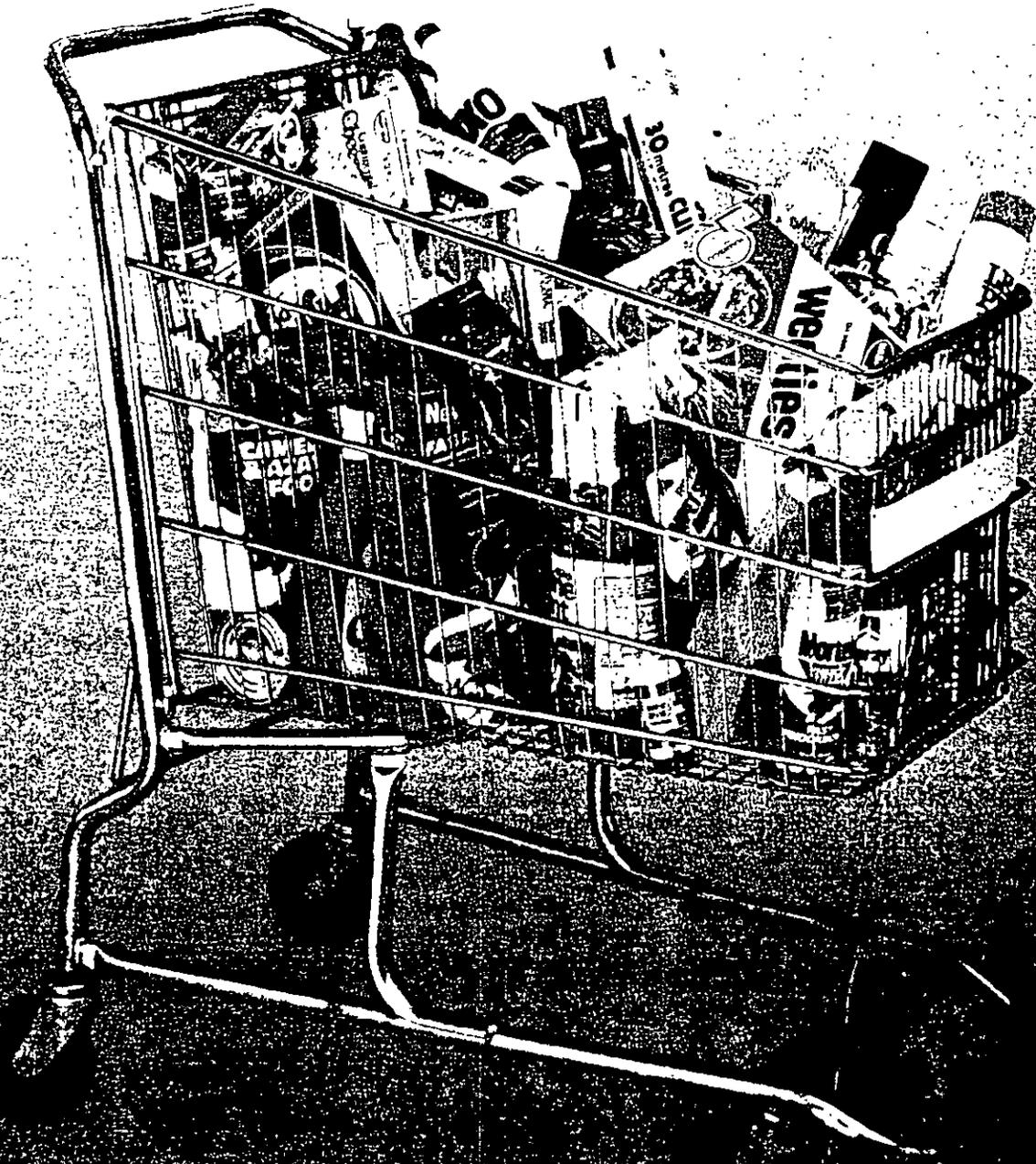
(MATERIA PRIMA SIN REACCIONAR, PRODUCTO NO AISLADO)



IN THE MARKETPLACE

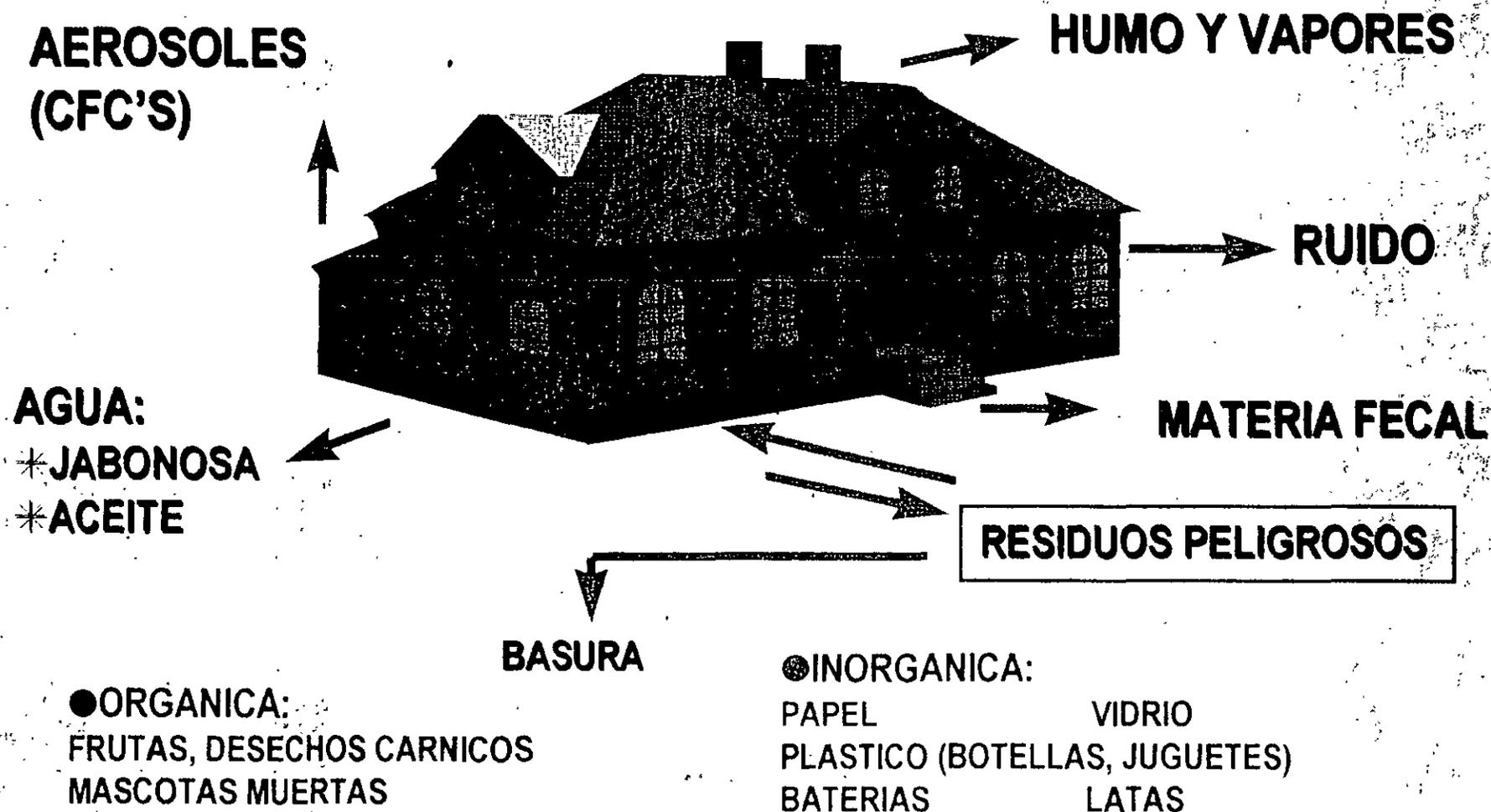
BEN SELINGER

*Fourth Edition*



A CONSUMER  
GUIDE

# GENERACION DE CONTAMINACION EN EL HOGAR



## Composición porcentual de generación en el DF en 1997\*, por tipo de fuente

Hogares	46.20%
Comercios	29.02%
Servicios	15.25%
Especiales	3.12%
Otros	6.4%
Total	100%

Tabla 2: JICA-GDF, marzo 1999.

\*Población = 4.7 millones

## Composición porcentual promedio comparativa, de los residuos sólidos municipales en México y otros países

Subproducto	E.U.A.	Francia	Colombia	México
Papel y cartón	40%	35%	22%	14%
Plásticos	8%	7%	5%	6%
Metales	9%	5%	1%	3%
Textiles	-	5%	4%	1%
Vidrio	7%	12%	2%	7%
Residuos alimenticios	18%	21%	56%	32%
Residuos jardinería	7%	-	10%	10%
Otros	11%	15%	-	27%

INE, 1997

## Lugar de procedencia de los RS en el Valle de México

<b>Residuo</b>	<b>Generación (ton/año)</b>
Hogares	1,926,000
Comercios	1,210,000
Servicios	636,000
Especiales	130,000
Otros	267,000
Total	4,169,000*

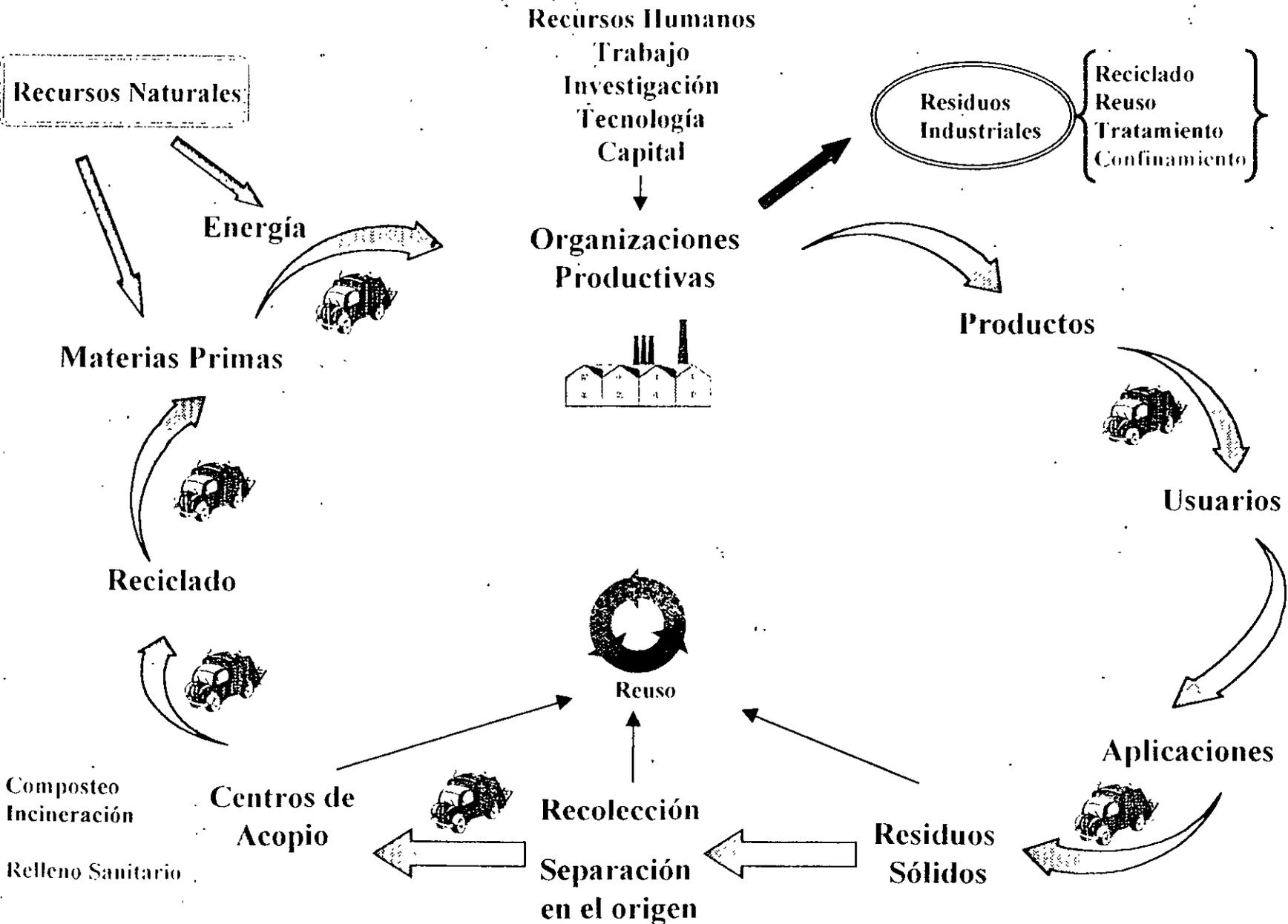
JICA-GDF de ls EUM seminario sobre el estudio del Manejo de Residuos Sólidos para la Ciudad de México, 1999

\*INE-SEMARNAP reporta como total 5,363,358

# Residuos Peligrosos Domésticos

- Volumen de Residuos Sólidos al año en México..... 22,000,000 toneladas
- El D.F. contribuye con 1/3
- Area de Depósito a cielo abierto aprox. 350 hectáreas
- RPD aproximadamente 1%
- Por lo tanto 220,000. toneladas de RPD

# CICLO DE VIDA DE LOS PRODUCTOS



# **MATERIALES PELIGROSOS**

**CON ESTE NOMBRE SE DESIGNAN A TODAS AQUELLAS SUSTANCIAS QUE PUEDEN CAUSAR RESPUESTA BIOLÓGICA A LOS OBJETOS BIOLÓGICOS EXPUESTOS A ELLA. DE IGUAL FORMA SE CONSIDERAN DENTRO DE ESTA CLASIFICACION A LAS SUSTANCIAS QUE AFECTAN LOS FACTORES BIOTICOS Y ABIOTICOS DE LOS ECOSISTEMAS.**

# MATERIAL PELIGROSO

*LGEEPA/1996*

Elementos sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas.



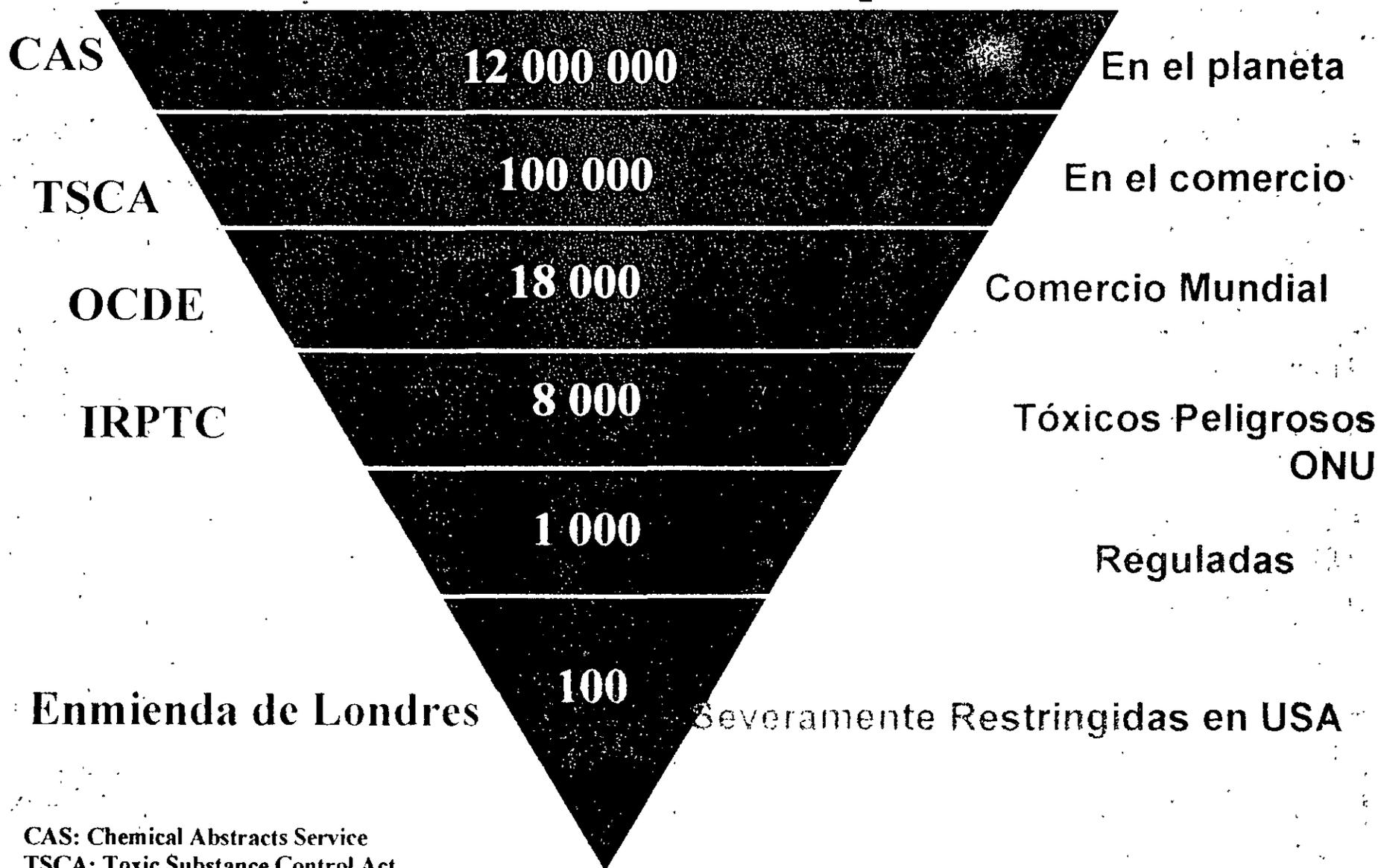
## **Peligrosidad:**

Propiedad inherente a los materiales que les confiere la capacidad de provocar efectos adversos en la salud de los seres humanos, la flora, la fauna y los bienes.

## **Riesgo:**

Probabilidad de que un material peligroso provoque un efecto adverso en la salud humana y/o el ambiente en función de la exposición.

# Universo de sustancias químicas



CAS: Chemical Abstracts Service

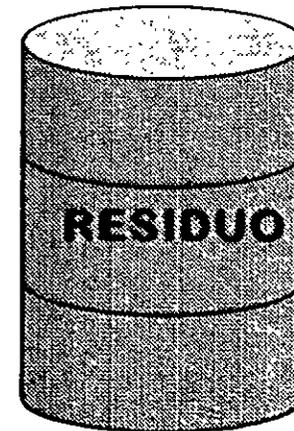
TSCA: Toxic Substance Control Act

IRPTC: International Register Potentially Toxic Chemical

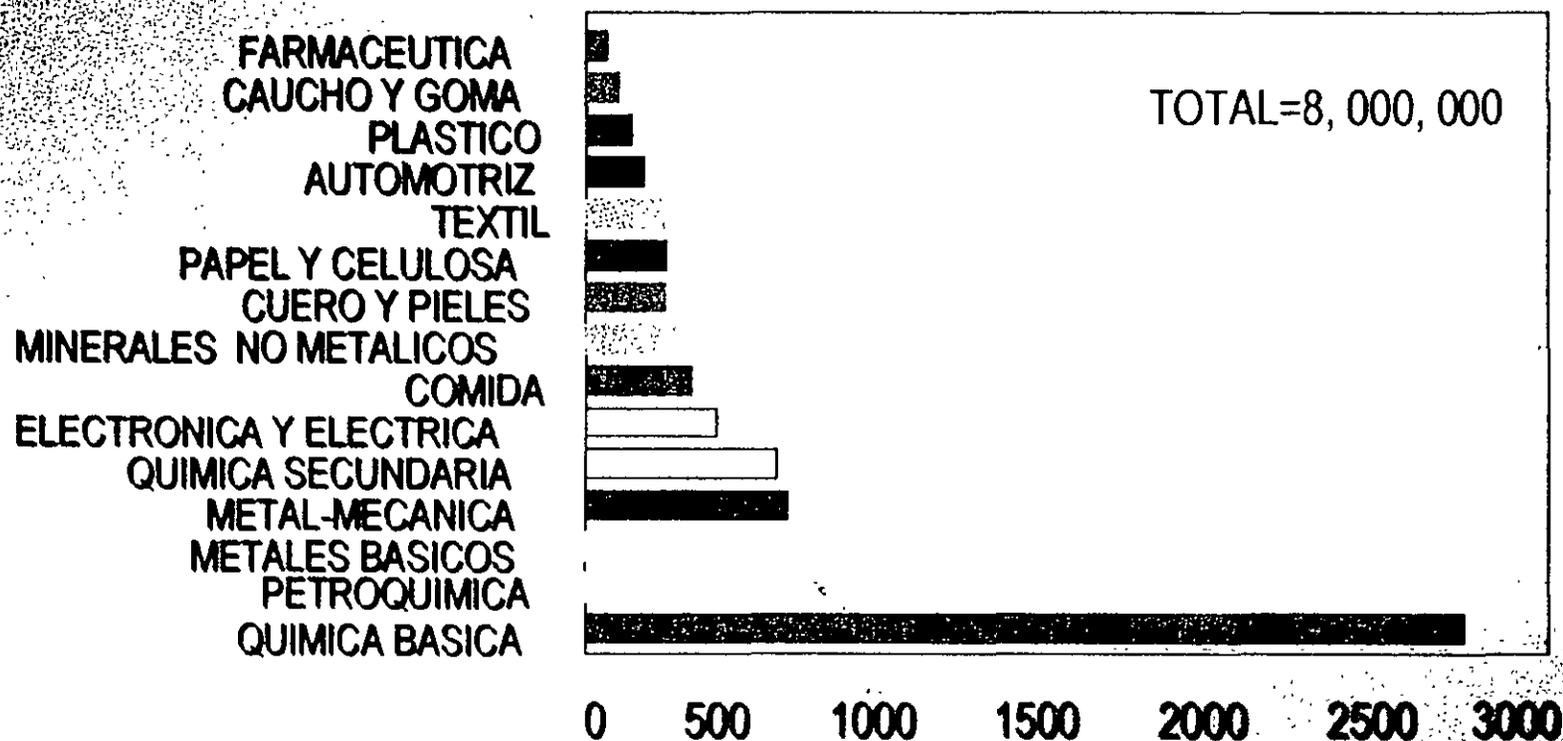
Aproximadamente la  
industria maneja 10,000  
productos químicos



más residuos



# GENERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS ANUALES



172, 599 UNIDADES INDUSTRIALES

164, 250, 000 TONELADAS ANUALES DE RESIDUOS INDUSTRIALES

8, 000, 000 TONELADA ANUALES DE RESIDUOS TOXICOS

**Los materiales peligrosos se clasifican tambien de acuerdo al tipo de riesgo que generen:**

- ✓ Riesgos Biologicos**
- ✓ Riesgos Quimicos, Fisicos y Fisicoquimicos**
- ✓ Riesgos Radiologicos.**

# RIESGOS QUIMICOS

- **Corrosividad**
- **Reactividad**
- **Explosividad**
- **Toxicidad**
- **Inflamabilidad**

# ***REACTIVIDAD***

- **Un material reactivo se refiere a un sustancia que sufre una reacción violenta o anormal en presencia de agua o bajo condiciones atmosféricas normales.**

**Un riesgo que se da por efectos de reactividad puede ser provocado por una reacción química violenta con agua o en condiciones atmosféricas normales o entre 2 compuestos que sean incompatibles entre si**

# *TOXICIDAD*

La toxicidad, es la capacidad relativa de una sustancia para causar daño, una vez que alcanza un sitio susceptible en el cuerpo humano. Por lo general, se ha medido la toxicidad en función de la capacidad cancerígena. Sin embargo, se pueden provocar otros daños, como alteraciones del metabolismo, lesiones en diversos órganos y tejidos, irritaciones, que también son importantes de considerar.

**" LA DOSIS HACE AL VENENO "**

**PARECE SENCILLO, PERO**

***HAY TANTAS DOSIS, O MEJOR DICHO TANTOS FACTORES:***

**DE QUIEN SE TRATA?**

**A QUE SE EXPONE?**

**CUANDO SE EXPONE?**

**POR CUANTO TIEMPO SE EXPONE?**

**PORQUE VIA SE ADMINISTRA O EXPONE?**

**QUE RIESGOS OCASIONA?**

**A LOS HUMANOS?**

**A LOS ECOSISTEMAS?**

# TOXICIDAD

LD<sub>50</sub>  
agudo TLV-TWA

crónico

latente

subcrónico

LC<sub>50</sub>

TLV-STEL

efectos sistémicos

efectos locales

efectos persistentes

efectos acumulativo



Inhalación

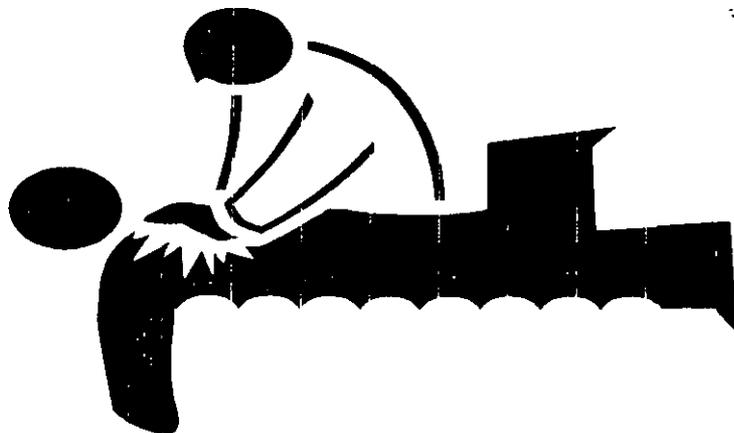
1980

1980

El cáncer es un fenómeno de individuos, no de grupos.

**Una muestra clara es la exposición a cloruro de vinilo, diversos estudios señalan que de cien trabajadores de la industria del plástico expuestos, sólo tres pueden desarrollar cáncer de cerebro.**

# Identificar a las personas susceptibles al cáncer, la mejor vía preventiva



Gaceta UNAM  
Septiembre 14 2000 pag 11  
Dra. Patricia Ostrosky

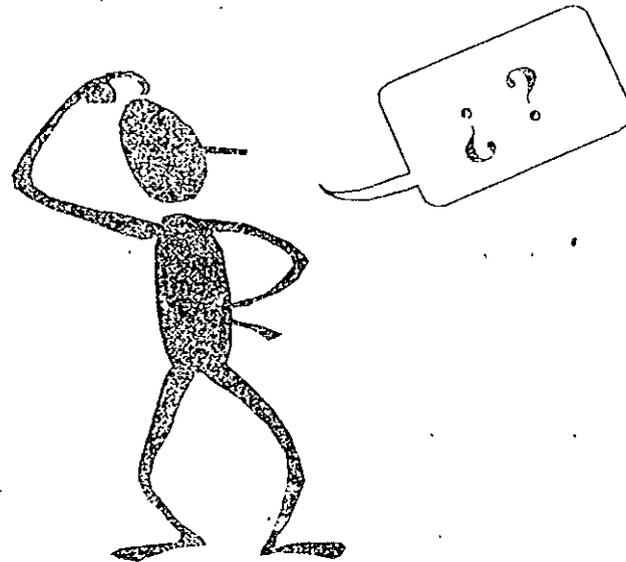
Actualmente se plantea hacer *epidemiología* molecular, por medio de la cual se midan en forma individual, las DOSIS de cancerígenos a las que estamos expuestos y las mutaciones que nos inducen en el ADN, es decir  
MEDICINA GENÉTICA.

**Cuando se reconozcan los factores reales que ocasionan el cáncer en cada persona, será posible hacerles entender el *riesgo* al que están expuestos y podrán tomarse medidas de protección individualizadas.**



# ¿QUE ES UN RESIDUO?

Cualquier material generado en una transformación o proceso cuya naturaleza no permite que sea utilizado nuevamente.



# **PROCESO**

**El conjunto de actividades físicas o químicas relativas a la producción, obtención, acondicionamiento, envasado, manejo, y embalado de productos intermedios o finales.**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**“Tres décadas de orgullosa excelencia” 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE MANEJO DE  
RESIDUOS SOLIDOS**

**MODULO IV: RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES Y  
PELIGROSOS**

**TEMA**

**PRESENTES EN SUELOS Y ACUÍFEROS CONTAMINADOS**

**EXPOSITOR: DRA. SUSANA SAVAL BOHORQUEZ  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

# TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE RESIDUOS PELIGROSOS PRESENTES EN SUELOS Y ACUÍFEROS CONTAMINADOS

Susana Saval

Coordinación de Bioprocesos Ambientales, Instituto de Ingeniería, UNAM  
Apartado Postal 70-472, Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F.  
[ssb@pumas.iingen.unam.mx](mailto:ssb@pumas.iingen.unam.mx)

## RESUMEN

El tratamiento biológico de residuos peligrosos está enfocado básicamente a la biorremediación, técnica que ha surgido recientemente como una alternativa para la destrucción de sustancias que constituyen un riesgo a la salud presentes en suelos y acuíferos contaminados. Aquí, se aprovecha el potencial de los microorganismos para mineralizar o transformar contaminantes orgánicos en compuestos químicamente más sencillos e inoocuos al ambiente. El proceso obedece a la capacidad metabólica de los microorganismos, los cuales se seleccionan de manera natural en presencia de contaminantes y la actividad biodegradadora puede ser estimulada por adición de nutrientes que son básicos para la actividad microbiana. Entre las opciones que existen para la limpieza de sitios contaminados con residuos peligrosos, la biorremediación es una muy buena opción, sin embargo, no puede ser aplicada a todos los casos. En este trabajo se describe el procedimiento para aplicar técnicas de biorremediación haciendo énfasis en los aspectos más importantes que deben ser tomados en consideración.

## INTRODUCCIÓN

Los principales problemas de contaminación de suelos y acuíferos con residuos peligrosos, son los ocasionados por derrames de hidrocarburos como: petróleo crudo, combustóleo, gasóleo, gasolina, diesel y turbosina, así como la disposición de recortes de perforación, lodos aceitosos y aceites lubricantes gastados, entre otros. Cada uno de estos materiales tiene su propia complejidad química, y la situación se agrava porque en una mayoría de casos los contaminantes se presentan en forma de mezcla y se encuentran intemperizados. Entre los constituyentes de los hidrocarburos que se consideran sustancias peligrosas están: benceno, benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno y criseno, por ser los más comunes

En general, los hidrocarburos tienen menor densidad que el agua, por lo que tienden a flotar cuando están en contacto con ésta. Petróleo, combustóleo y desechos petroleros, por su color y aspecto, se hacen evidentes a simple vista cuando se encuentran en la superficie. Si son depositados en el suelo, prácticamente no penetran al subsuelo

debido a su alta viscosidad, pero los lixiviados generados por las lluvias arrastran los compuestos solubles. Gasolinas, turbosina, diesel y gasóleo fluyen fácilmente hacia el subsuelo, durante su trayectoria son adsorbidos por el material geológico hasta que alcanzan el nivel freático, ahí se dispersan de acuerdo a la dirección de la corriente subterránea, creando así manchas de contaminación de gran superficie.

Entre las alternativas que existen en el mercado para la limpieza de suelos contaminados con residuos peligrosos, la biorremediación se ha perfilado como una opción muy atractiva por ser relativamente económica y amable al ambiente.

## **CARACTERÍSTICAS DE LAS TÉCNICAS DE BIORREMEDIACIÓN**

La más importante característica de la biorremediación es que los contaminantes no se destruyen, sino que a través de la actividad microbiana se transforman en compuestos químicamente diferentes, algunos de ellos pueden ser completamente degradados, mientras que otros se transforman a compuestos inocuos. Cuando la transformación llega hasta la generación de bióxido de carbono, se habla entonces de una completa mineralización. La complejidad química de los contaminantes y la limitación de nutrientes esenciales para la actividad de los microorganismos, hacen que el proceso requiera de varios años, y aún así en algunos casos, no se logra su completa degradación.

En los sitios donde ocurren derrames de hidrocarburos que no son atendidos inmediatamente, la flora microbiana presente en el suelo se somete a un proceso de selección natural, en el que los microorganismos sobrevivientes son aquellos que desarrollaron capacidad degradadora. En esos casos, la mejor opción es utilizar la flora autóctona del sitio, en lugar de agregar microorganismos exógenos. Para tratar derrames recientes, probablemente será necesario recurrir a preparados microbianos frescos.

## **VENTAJAS DE LA BIORREMEDIACIÓN**

Una ventaja importante de la biorremediación es su bajo costo en relación con otros tratamientos. Es difícil hacer una comparación de costos, porque es necesario conocer las características de cada sitio en particular, pero en términos generales se puede decir que la biorremediación es por lo menos 10 veces más económica que la incineración y 3 veces más económica que algunas técnicas fisicoquímicas de inmovilización. Este bajo costo se debe a varios factores, como un menor gasto de energía, bajo costo de los nutrientes y la operación bajo condiciones ambientales, que hace que su uso sea muy atractivo para los países en vías de desarrollo como México.

La biorremediación es una técnica limpia, ya que los contaminantes pueden ser transformados hasta compuestos inocuos como el bióxido de carbono. Además de que cuando los nutrientes se agotan, incluyendo los contaminantes empleados como fuente de carbono, los microorganismos mueren

La versatilidad de la biorremediación se basa en que puede adaptarse a las necesidades de cada sitio. Así, puede aplicarse bioestimulación si únicamente se requiere la adición de nutrientes para la actividad metabólica de la flora degradadora autóctona; bioincremento, cuando la proporción de la flora degradadora autóctona es muy reducida y se hace necesaria la adición de microorganismos degradadores exógenos; o bien, bioventeo cuando es imprescindible el suministro de oxígeno para estimular la actividad microbiana degradadora presente en el lugar. En cualquiera de las opciones anteriores, puede realizarse fuera del sitio si la contaminación está en el suelo superficial, pero necesariamente *in situ* cuando los contaminantes han alcanzado el manto freático.

Cuando el tratamiento se hace fuera del sitio, pueden utilizarse bioceldas o biopilas sobre superficies impermeables que permitan la colección de lixiviados, de manera que no se contamine el espacio limpio. Además, después de la biorremediación el suelo se puede destinar al cultivo de especies vegetales para reincorporarlo a sus funciones biológicas más conocidas.

En el caso de aguas subterráneas, la biorremediación se aplica a través del bombeo-tratamiento-recarga que consiste en extraer el agua subterránea, promover la biodegradación de los contaminantes en reactores instalados en la superficie y posteriormente devolverla al acuífero, o bien, inyectar nutrientes y bacterias, de tal forma que se establece una recirculación y el sitio mismo se convierte en un biorreactor. A pesar de ser la tecnología más empleada a nivel mundial, existen ciertos aspectos que determinan el éxito de su aplicación por ejemplo: los contaminantes pueden estar fuertemente adsorbidos al material geológico, o bien, estar presentes en zonas de baja permeabilidad, lo que ocasiona limitaciones en la transferencia de masa.

## DESVENTAJAS DE LA BIORREMEDIACIÓN

La biorremediación no puede aplicarse en campo cuando:

- existen combustibles en fase libre
- las concentraciones de contaminantes son muy altas
- se tienen compuestos radioactivos
- los compuestos orgánicos contaminantes son altamente halogenados
- existen metales pesados en concentraciones que inhiben la actividad microbiana
- las condiciones microambientales son desfavorables

Debido a que cada microorganismo tiene sus propias características, la tolerancia que presentan a cada compuesto es muy particular.

Cuando el material geológico es netamente arcilloso, no es muy recomendable la biorremediación, porque la baja permeabilidad limita la transferencia de masa en el sistema. Lo anterior es determinante cuando la contaminación llega hasta el nivel freático y el tratamiento necesariamente será *in situ*. Para suelos superficiales este problema puede superarse si se agrega arena, o bien, algunos residuos

agroindustriales, con lo cual se aumenta la permeabilidad y se favorece así, la transferencia de masa.

## DESARROLLO DE PROYECTOS DE BIORREMEDIACIÓN

En el desarrollo de proyectos en biorremediación es conveniente integrar expertos en las diferentes disciplinas involucradas, como son: biotecnología, geohidrología, ciencias del suelo, ingeniería, química y legislación ambiental, quienes deben integrarse completamente en el problema desde que se inicia la caracterización. Esto permitirá sentar las bases para plantear estrategias que conduzcan a la solución de cada problema en particular.

La caracterización de un sitio contaminado debe considerarse como un diagnóstico muy preciso, ya que de aquí se genera la información que será utilizada, tanto para la definición de responsabilidades, como para la planeación de las actividades de remediación. El trabajo de campo se inicia con la prospección del sitio y su caracterización en la que se incluyen tres enfoques básicos: geohidrológico, físicoquímico y microbiológico. La evaluación integrada de los resultados obtenidos permitirán definir la posibilidad de aplicar una biorremediación mediante estrategias *ad hoc* para cada sitio.

En la práctica común, la caracterización microbiológica es poco considerada, a pesar de que es determinante para definir la aplicabilidad de una biorremediación. Consta de dos tipos de estudios, la cuantificación de los microorganismos presentes incluyendo las pruebas de biofactibilidad; y los estudios de biodegradabilidad en el laboratorio. Estos últimos son indispensables para predecir el tiempo que tomará la biodegradación en campo.

La estrategia para la limpieza de un sitio es única para cada caso, y debe estar bien soportada en los resultados de la caracterización. Dada la importancia de la caracterización de un sitio, no se debe considerar que ésta es solo un requisito administrativo, sino una verdadera necesidad técnica en la que no se deben escatimar recursos y se deben involucrar expertos en el área.

Por lo que respecta al seguimiento de la concentración de contaminantes, existen dos enfoques uno de ellos es seguir la reducción de los compuestos químicos más tóxicos los cuales sirven como indicadores y el otro es utilizar un parámetro más general. Por ejemplo, en el caso de sitios contaminados con gasolinas se puede hacer referencia a los hidrocarburos monoaromáticos volátiles: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX), o bien, al contenido de hidrocarburos totales. Al establecer los límites de limpieza será necesario definir cuál de los dos conceptos es el más adecuado, dado que el primero se refiere a la reducción de la toxicidad y el segundo a la limpieza del sitio. La tendencia actual parece inclinarse hacia una evaluación de riesgo, pero también se recurre a normatividades extranjeras que varían en un amplio margen. La primera opción toma su tiempo y tiene un costo, con la segunda se tendrá la incertidumbre de saber si fue la más adecuada.

## RIESGOS DE LA BIORREMEDIACIÓN

Una de las preocupaciones actuales dentro del campo de la biorremediación en México, es la constante introducción de productos comerciales patentados de origen microbiano. Desde un punto de vista muy riguroso, se sabe que los microorganismos nativos no son patentables porque son parte de la biodiversidad, solamente se pueden patentar aquellos que han sido modificados genéticamente.

Se ha visto que a México han llegado productos microbianos vendidos como "polvos mágicos" desconocidos capaces de destruir todo tipo de contaminantes, los cuales están siendo comercializados por gente de negocios que no tiene conocimientos de microbiología o de biotecnología y mucho menos, de bioseguridad.

Una de las recomendaciones de los fabricantes de productos microbianos es realizar aplicaciones consecutivas al suelo contaminado con la finalidad de alcanzar una cierta proporción microbiana, pero la realidad en muchos casos es que los microorganismos mágicos no logran adaptarse a las condiciones del sitio, y por más adiciones que se hagan no se registra la actividad degradadora.

Además de los productos microbianos, también se venden aditivos que son productos químicos patentados de formulación también desconocida, los cuales pueden ser nutrientes, o bien, tensoactivos. Estos últimos no siempre son biodegradables y cuando son agregados al suelo ayudan a la dispersión de los contaminantes, más que a su degradación. Cuando la aplicación de dichos productos se hace en una biopila o biocelda se pueden controlar dentro del sistema, pero si el tratamiento es *in situ* la dispersión de contaminantes ocurre en las aguas subterráneas o cuerpos de agua superficiales.

## APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIORREMEDIACIÓN EN MÉXICO

A pesar de que no se cuenta en México con un inventario de sitios contaminados que sea del dominio público y que sirva de base para la estimación del mercado real de la biorremediación, es obvio que éste existe por tratarse de un país netamente petrolero. De hecho, esa es la razón por la que un importante número de compañías extranjeras llegan diariamente a México con la finalidad de vender sus productos o técnicas de remediación de sitios. En varios casos los resultados han sido poco exitosos, por las bajas eficiencias de limpieza y un mayor deterioro ambiental por la adición de químicos desconocidos.

La necesidad de dar solución urgente a varios problemas ambientales, muchas veces lleva a la aplicación de técnicas disponibles en el mercado que no siempre aportan los resultados esperados. Un aspecto indispensable para lograr éxito durante la aplicación de cualquier tipo de tecnología, es la necesidad de adaptar e innovar a casos

específicos, o incluso realizar nuevos desarrollos, situación que aún no se ha dado en biorremediación.

Un aspecto que al que se le ha dado poca importancia es que las características de cada suelo son diferentes y que no es una regla general que los microorganismos se adapten fácilmente a cualquier hábitat. En el caso de México, los suelos tienen características físicas, químicas y biológicas muy particulares, que los hacen diferentes a los suelos de otro lugar del mundo. Por lo que respecta a las características de los contaminantes, conviene resaltar dos aspectos que son: su complejidad química y el hecho de que en algunos casos, tienen ya un avanzado grado de intemperismo. Estos aspectos, que por lo general no son tomados en consideración, dificultan el tratamiento de un suelo contaminado y algunas técnicas probadas exitosamente en otros países no han funcionado en México.

Las compañías que cuentan con un buen respaldo científico deben tener bien identificadas las virtudes y limitaciones de sus técnicas, con la finalidad de tomar la decisión de cuándo es conveniente sugerir su aplicación y cuándo es mejor emplear otra opción. Para aquellas técnicas que se han aplicado en el extranjero es indispensable asegurarse de que hayan tenido experiencias previas al tratar contaminantes de composición conocida y comparables al tipo de contaminantes que comúnmente se encuentran en México.

Un aspecto adicional que conviene señalar es que una gran mayoría de instrumentos jurídico-administrativos que se manejan en la práctica cotidiana, perjudican el desarrollo de trabajos ambientales enfocados a la limpieza de sitios. Para tomar una buena decisión se debe considerar que la mejor propuesta económica no siempre corresponde a la mejor alternativa técnica. Algo que debe enfatizarse es la importancia de realizar buenos trabajos de caracterización del sitio, de la contaminación y de la factibilidad de realizar el proceso por vía biotecnológica. En la práctica común los trabajos de caracterización están muy limitados y no están encaminados a comprobar que la biorremediación funcionará en campo. Esto permitiría conocer perfectamente el comportamiento del sitio y así plantear estrategias *ad hoc* para su remediación.

Las oportunidades de negocio para la biorremediación existen, pero dada la gran variedad de opciones que existen en el mercado y la poca experiencia de las empresas ambientales en este campo, se plantea la necesidad de establecer políticas en las que se demuestren aspectos como :

- conocer la base científica de funcionamiento de la tecnología
- la existencia de experiencias previas, buenas o malas, en otros sitios donde se hayan tratado contaminantes de composición química similar
- que se cuenta con el personal técnico idóneo que será responsable del proyecto en campo y que domina la tecnología, de tal forma que pueda solucionar imprevistos durante el proceso
- haber realizado una caracterización completa del sitio, incluyendo las pruebas de biofactibilidad para el problema específico que va a ser tratado

- justificar el uso de productos microbianos y de aditivos y dar a conocer su composición y características de seguridad hacia el ambiente
- contar con un protocolo bien elaborado donde se establezca el seguimiento que se dará al proceso durante la aplicación de la tecnología en campo

En los casos donde no se tengan experiencias previas bajo las condiciones que imperan en México, será conveniente realizar pruebas piloto de demostración en campo, antes de operar en escala real.

### BIBLIOGRAFÍA DE APOYO

- Alper, J., 1993. Biotreatment firms rush to marketplace. *Bio/Technology* 11: 973-975.
- Autry A.R. and Ellis G.M., 1992. Bioremediation: an effective remedial alternative for petroleum hydrocarbon-contaminated soil. *Environ. Progress* 11(4): 318-323.
- Blackburn J.W. and Hafker W.R., 1993. The impact of biochemistry, bioavailability and bioactivity on the selection of bioremediation techniques. *TIBTECH* 11: 328-333.
- Caplan J.A., 1993. The worldwide bioremediation industry: prospects for profit. *TIBTECH* 11: 320-323.
- Finnerty W.R., 1994. Biosurfactants in environmental biotechnology. *Curr. Op. Biotechnol.* 5: 291-295
- Gibson D.T. and Subramanian V., 1984. Microbial degradation of aromatic hydrocarbons, in Gibson D.T (Ed.) Microbial degradation of organic compounds. *Microbiology Series* Vol. 13: 181-252.
- Harvey R.W., 1993. Fate and transport of bacteria injected into aquifers. *Curr. Op. in Biotechnol.* 4: 312-317.
- Heitzer A., and Saylor G.S., 1993. Monitoring efficacy of bioremediation. *TIBTECH* 11: 334-343
- Instituto Nacional de Ecología, 1997. Requisitos técnico-administrativos que deben cumplir los promoventes de servicios para la restauración de sitios contaminados por materiales y/o residuos peligrosos. Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.
- Liu S. and Suflita J.M., 1993. Ecology and evolution of microbial populations for bioremediation. *TIBTECH.* 11: 344-352.

Riser-Roberts E., 1992. *Bioremediation of petroleum contaminated sites*. C.K. Smoley, Boca Raton, FL, USA.

Rogers J.A., Tedaldi D.J., and Kavanaugh M.C., 1993. A screening protocol for bioremediation of contaminated soil. *Environ. Progress* 12(2): 146-156.

Savai, S., 1995. Remediación y restauración, en *PEMEX: Ambiente y Energía. Los Retos del Futuro*, coedición UNAM-Petróleos Mexicanos, Mexico, pp 151-189.

Solleiro, J.L. and Castañón, R., 1996. Environmental Biotechnologies in Mexico: Potential and Constraints for Development and Difussion. In *Biotechnology for Sustainable Development*, University of Tennessee, Knoxville, USA, in press.