

Universidad Nacional Autónoma de México

Programa Único de Especialización en Ingeniería Civil

**Efectos nocivos en la salud del hombre causados  
por residuos peligrosos**

Proyecto terminal in Extenso

Para obtener el grado de Especialista en Ingeniería Sanitaria

Presenta:

**Ing. Mauricio Vizcaino Mosqueda**

Tutor: Dr. Enrique César Valdez

Gracias a los siguientes: La UNAM, la Facultad de Ingeniería, Enrique César Valdez, Aida Medina, Mauricio Vizcaino Guerra, Luz Ma. Mosqueda, Laura Elisa Vizcaino.

# Índice

- I. Objetivo
- II. Objetivos específicos
- III. Alcances
- IV. Marco teórico
- V. Introducción
- VI. Residuos peligrosos generados en las actividades mineras
- VII. Residuos peligrosos generados en las actividades petroleras
- VIII. Infraestructura actual en México para el manejo integral de residuos peligrosos
- IX. Análisis de un caso tipo de riesgos a la salud por exposición a residuos peligrosos
- X. Conclusiones

## I. OBJETIVO

Evaluar y analizar la situación actual en México, referente al manejo y disposición final de residuos peligrosos y los efectos nocivos que estos causan en la salud humana.

## II. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Describir los impactos a la salud pública debidos a una incorrecta disposición final de residuos peligrosos generados en actividades mineras y petroleras.
- ✓ Evaluar las medidas actuales que se toman para dar cumplimiento a la normatividad aplicable en materia de residuos peligrosos.
- ✓ Evaluar la infraestructura actual en México para llevar a cabo una correcta disposición final de residuos peligrosos.
- ✓ Analizar las ventajas y desventajas del actual manejo y disposición final que se le da a los residuos peligrosos en México.
- ✓ Evaluar las acciones que se llevan a cabo actualmente en las industrias minera y petrolera para el aprovechamiento de los residuos peligrosos que generan.

## III. ALCANCES

El presente informe se refiere al actual manejo y disposición final de los residuos peligrosos generados en las actividades mineras y en las actividades petroleras.

En este trabajo se entenderá por industria minera o actividades mineras a las que se llevan a cabo en los procesos de extracción y beneficio primario; la fundición y la refinación se relacionan con procesos de transformación de la industria manufacturera.

## IV. MARCO TEÓRICO

La Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), define residuo como “todos aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha”; la misma Ley, especifica que el estado físico en que pueden encontrarse los materiales o productos que se consideran como residuos, son sólido o semisólido, así como líquidos o gases contenidos en algún tipo de recipiente o depósito; esto con la finalidad de diferenciarlos de los efluentes que descargan a cuerpos de agua o de los gases que se emiten en chimeneas, ya que estos están regulados por otras leyes y reglamentos.

Los residuos más comunes se clasifican como *residuos sólidos urbanos*, estos son aquellos que tienen características domiciliarias y aquellos resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.

En cambio, si los residuos tienen características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o contienen agentes biológicos infecciosos que les confieren peligrosidad (características CRETIB), se clasifican como *residuos peligrosos*. La LGPGIR también incluye como residuos peligrosos a todos los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados, con el fin de regular la prevención de la contaminación y la remediación de sitios contaminados.

Cada una de las características CRETIB antes mencionadas, tiene su propia forma de etiquetar o marcar, envasar, almacenar, tratar o disponer finalmente los residuos que las poseen; por ejemplo, los que poseen características de reactividad, “son particularmente riesgosos, ya que su mezcla con agua o con otros materiales o residuos incompatibles puede provocar explosiones, incendios o nubes venenosas” (Cortinas de Nava, 2006).

Con base en lo anterior, la LGPGIR define a los residuos incompatibles como “aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos.”

“Para que el generador de residuos pueda determinar si un residuo se debe considerar como peligroso, se pueden emplear los criterios de conocimiento científico y la experiencia propia” (Cortinas de Nava, 2006); para esto, la LGPGIR determina que sea a través de las normas oficiales mexicanas que se determinen las características, los listados y cantidades de sustancias potencialmente tóxicas que hacen de un residuo un residuo peligroso. Por lo que en junio de 2006 se expide la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 “que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos”.

Para poder diferenciar entre *materiales peligrosos* y *residuos peligrosos*, podemos definir a los primeros como aquellos elementos, sustancias, compuestos o mezclas de ellos, que son utilizados como insumos y, aunque posean características que los hacen peligrosos por representar un riesgo para el ambiente o la salud del hombre, no se consideran como residuos peligrosos mientras no sean desechados por sus propietarios o poseedores. El Artículo 38 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, establece que “Cuando estos materiales no sean reintegrados a su proceso productivo y se desechen, deberán ser caracterizados y se considerará que el residuo peligroso ha sido generado y se encuentra sujeto a regulación”.

Si un residuo no reúne las condiciones para poder ser considerado como un residuo peligroso, no significa que el generador no deba darle un manejo seguro y ambientalmente adecuado; este puede ser el caso de los *residuos de manejo especial*, los cuales no cumplen con las características que marca la LGPGIR para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, así como aquellos residuos sólidos urbanos que se generan en grandes cantidades.

Con base en lo establecido por la LGPGIR, de los tres órdenes de gobierno, la federación es competente en materia de residuos peligrosos, los estados en materia de residuos de

manejo especial y los municipios en materia de residuos sólidos urbanos. Para el caso de los residuos peligrosos, “los recursos económicos se obtienen a través del cobro de tarifas específicas cubiertas por los generadores; en cambio, en lo relativo a los otros residuos, se carece de una cultura de pago de los servicios de aseo urbano y faltan procedimientos, mecanismos, instrumentos y estructuras para el cobro por la prestación de dichos servicios” (Gutiérrez Avedoy, 2006)

## V. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en México se vive una situación problemática debido a la elevada cantidad de residuos que se generan cada día. A esta situación se le suma la problemática de que los residuos se depositan prácticamente en cualquier sitio, lo cual hace que la reducción y control de los impactos que tiene al ambiente y a la salud humana, se convierta en un tema de compleja solución.

El incremento en la generación de residuos sólidos urbanos no es la única problemática a la que se enfrentan las autoridades ambientales actualmente en México, ya que el volumen de residuos peligrosos que se genera cada año también se ha incrementado; además, la poca infraestructura en México, la escasa supervisión por parte de las autoridades para el manejo y la incorrecta disposición final de residuos peligrosos, ha provocado que estos se dispongan de forma clandestina o se descarguen en el drenaje, ocasionando un aumento de sitios contaminados.

Los residuos son generados en todas las actividades que el hombre realiza, ya sea a nivel personal o colectivo, en zonas urbanas, agrícolas o industriales. Así, los residuos peligrosos se generan prácticamente en todas las actividades humanas, inclusive en el hogar.

La industria utiliza materias primas, energía, capital y trabajo humano para generar bienes necesarios o consumibles para la sociedad, pero también, sus procesos productivos arrojan al ambiente subproductos indeseables para los cuales, generalmente, no hay precios positivos ni mercados. Entre ellos están las emisiones de contaminantes a la atmósfera, las descargas de aguas residuales y los residuos peligrosos y no peligrosos.

Entre los giros industriales y procesos particulares que pueden generar residuos peligrosos se encuentran los siguientes: “acabado de metales y galvanoplastia, beneficio de metales, curtiduría, producción de explosivos, plaguicidas y herbicidas, química farmacéutica, producción de plásticos y resinas sintéticas, minería, petróleo, gas y petroquímica, entre otros” (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009). Se estima que la generación total de residuos peligrosos de origen industrial en México asciende a un volumen aproximado de ocho millones de toneladas anuales (cifra que no incluye los jales mineros, residuos que pueden ser peligrosos y cuya generación se encuentra entre 300 000 y 500 000 toneladas diarias).

Dentro de estas actividades industriales, las actividades mineras y las actividades petroquímicas y de refinación del petróleo son las que mayor cantidad de residuos peligrosos generan, provocando que el número de sitios contaminados en México sea de varios miles, cuyo riesgo potencial es desconocido. Los residuos peligrosos generados en estas actividades, así como los sitios contaminados con éstos. Ya que no se lleva a cabo un correcto manejo y disposición final de los residuos peligrosos generados, pueden traer como consecuencia daños a la salud y al medio ambiente debido a su toxicidad.

El mal manejo de todo tipo de residuos ocasiona la contaminación de suelos, aire, aguas superficiales y subterráneas, o bien, afectaciones a la salud pública, esto es debido a las emisiones de contaminantes producto de la combustión inadecuada de los residuos o a la transmisión de microorganismos patógenos. A esta situación se le suman otros impactos, como los visuales, de ruido y malos olores.

En cuanto a la disposición final, hay varias alternativas para los residuos peligrosos. Las principales son las siguientes:

Reciclaje: La alternativa más productiva es la que después de un proceso específico convierte a los residuos peligrosos en materia prima que se puede utilizar después en otro proceso productivo diferente.

Destrucción: También existe la opción de destruir los residuos peligrosos, al hacerlo las cenizas generadas pueden ser confinadas de una manera mucho más práctica y así ser clasificados como residuos estabilizados. Un ejemplo son medicamentos caducos o fuera de especificaciones

Confinamiento: Los residuos peligrosos se destoxifican, se separan y se concentran los componentes peligrosos en volúmenes reducidos y finalmente se estabilizan para evitar la generación de lixiviados.

Desafortunadamente, en México no se cuenta con la infraestructura suficiente para garantizar un correcto manejo de los residuos peligrosos, lo cual ha derivado en el mal manejo y la disposición clandestina de éstos en sitios sin control, como son terrenos baldíos y patios traseros de las industrias. Es de vital importancia la creación de infraestructura en las zonas de la República, donde se localicen las fuentes generadoras y los tipos de residuos peligrosos generados en mayores volúmenes.

Actualmente, los niveles de competitividad mundial y la legislación ambiental, han logrado que tanto la industria petrolera como la minera se comprometan con el cuidado del medio ambiente y la salud del hombre durante la realización de todas sus actividades; sin embargo, la problemática actual radica en el manejo inadecuado y la incorrecta disposición final de los residuos peligrosos generados previos a la existencia de un marco normativo que regulara estas actividades.

## VI. RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN LAS ACTIVIDADES MINERAS

México se encuentra localizado en una región volcánica rica en minerales. La minería en este país data de la época prehispánica, tiempo en el que se explotaron zonas como Taxco, Pachuca, Guanajuato y Querétaro; pero es a partir de la época colonial que la minería adquiere gran relevancia económica y social.

Actualmente, existen minas distribuidas por todo el territorio nacional a excepción del este y sureste del país, concentrándose principalmente en doce entidades: Chihuahua, Michoacán, Zacatecas, Durango, Sonora, Coahuila, Guanajuato, San Luis Potosí, Hidalgo, Sinaloa, Colima y Jalisco; algunas de estas regiones han sido explotadas a lo largo de los últimos cuatro siglos, generando una gran cantidad de desechos y sitios contaminados.

Según la Dirección General de Minas, la industria minera nacional se dedica a la explotación y producción de cobre, zinc, plata y plomo. Además, la industria minera, tiene un alto impacto en el medio ambiente, ya que afecta desde el subsuelo hasta la atmósfera, incluyendo suelos y cuerpos de agua superficiales y subsuperficiales. “Y aunque es difícil estimar el costo del impacto ambiental que ha causado la minería en México, sí se reconoce que es significativo y mayor que el provocado por otras actividades industriales” (Gutiérrez & Moreno Turrent, 1995).

“La problemática ambiental y los riesgos a la salud siempre han estado vinculados con las actividades de la industria minera” (Gutiérrez & Moreno Turrent, 1995); como ocurrió en las minas prehispánicas de cinabrio (sulfuro de mercurio) de la Sierra Gorda de Querétaro, los jales de la época colonial de Pachuca, Taxco, Guanajuato, Zacatecas, etcétera.

Otro ejemplo es, en 1980, en la mina Rosicler (Nuevo Mercurio, Zacatecas), cuando “se encontraron abandonados cientos de tambos (de 200 L) que contenían residuos peligrosos como cloruro de mercurio, mezclas de químicos y BPC”, donde el contenido de varios tambores había sido derramado de forma deliberada (Volke Sepúlveda & Velasco Trejo, Disposición de Residuos Peligrosos, 2002).

En el Cuadro VI.I, se muestra la relación de las actividades en las diferentes etapas mineras con los impactos ambientales.



Cuadro VI.1. Impactos típicos de la minería en las diferentes etapas del proyecto.

Fase	Descripción	Impacto Ambiental
Exploración	Barrenación, obras y perforaciones	Dstrucción de vegetación
Explotación	Obras diversas: tiros, socavones, patios para depósito de minerales, zonas para descarga de materiales	Operación de presas de jales: arrastre de residuos peligrosos Descarga de aguas residuales
Beneficio	Concentración Trituración y molienda Tratamientos previos	Generación de ruido Vibraciones Emisiones de polvo

A continuación se enlistan los diferentes fenómenos y actividades que se llevan a cabo en las diferentes actividades mineras provocando daños al ambiente y la generación de residuos peligrosos:

- Destrucción de la capa de suelo, flora y fauna durante el descapote<sup>1</sup>
- Formación de terreros<sup>2</sup> y movimientos de sedimentos hacia cuencas del área
- Oxidación de los minerales insolubles y formación de sustancias solubles ácidas con alto contenido de metales (drenaje ácido<sup>3</sup>)
- Alto consumo de agua
- Descarga de lixiviados con presencia de iones metálicos y reactivos tóxicos. En la hidrometalurgia el pH es muy ácido y la toxicidad mucho más elevada que en la flotación
- Generación de jales como remanente del beneficio
- Generación de aceites gastados, llantas, disolventes, polímeros, etcétera.
- Generación de ruido y emisiones a la atmósfera (polvos gases y humos)
- Generación de basura doméstica
- Lodos de plantas de tratamiento de agua doméstica

(Gutiérrez & Moreno Turrent, 1995)

Con base en la normatividad aplicable, los residuos peligrosos generados en las actividades mineras son los jales, aceites gastados y disolventes residuales. No se clasifican como peligrosos los terreros, los drenes ácidos que desprenden terreros, las llantas, los plásticos y la chatarra.

La mayor problemática respecto a los residuos peligrosos en la industria minera, son los jales y las presas de jales. Los jales son todos los materiales naturales sin valor, vestigios de minerales, reactivos utilizados en el proceso y productos de la oxidación de los minerales.

<sup>1</sup> Descapote es la operación que se efectúa para retirar los materiales sólidos que cubren a los yacimientos minerales, incluida la capa de suelo.

<sup>2</sup> Terreros son formaciones inestables de material fragmentado que se depositan en zonas muy cercanas a la explotación.

<sup>3</sup> Drenaje ácido es el producto de la oxidación de los sulfuros que forman sulfatos y óxidos metálicos.

Actualmente, tanto el sector minero como las autoridades ambientales están poniendo énfasis en mejorar las condiciones en que se encuentran las presas de jales. Pero aún no se le ha dado solución a la problemática que presenta la disposición final de otros residuos peligrosos como disolventes, aceites, drenes ácidos, etcétera.

A continuación, se enlistan los reactivos que comúnmente forman parte de los jales:

- Ácidos: ácido sulfúrico
- Alcalis: cal, carbonato de sodio e hidróxido de sodio
- Selectores: sulfato de cobre, cianuro de sodio, sulfuro de zinc, sulfuro de sodio, silicato de sodio, bióxido de azufre y almidón.
- Colectores: xantatos de potasio de sodio, aminas y derivadas de las anilinas y aceites.
- Espumantes: aceite de pino, alcohol hexílico, poliglicoles, y orto-isobutil ditiocarbonato de sodio.

(Gutiérrez & Moreno Turrent, 1995)

De estas sustancias, los elementos que se consideran potencialmente tóxicos y se encuentran comúnmente en los jales son: plomo, cadmio, zinc, arsénico, selenio y mercurio. También se pueden encontrar otros elementos dañinos en los residuos peligrosos de una mina como son: arsénico y selenio. Puede haber residuos peligrosos cuya toxicidad no esté relacionada con los elementos, sino con las propiedades del compuesto; por ejemplo, el cianuro que está formado por carbono y nitrógeno, puede causar la muerte por asfixia, ya que afecta el transporte de oxígeno a todo el cuerpo.

La toxicidad de los jales se determina con base en el método que establece la NOM-141-SEMARNAT-2003; pero en muchos casos este método no representa las condiciones ambientales reales a las que está sujeto un residuo de mina, ya que fue diseñado para una mezcla de desechos con 5% de residuo industrial y 95% de basura doméstica.

Lo preocupante respecto a este tema es que, debido al mal manejo y la incorrecta disposición de los residuos peligrosos generados en las diferentes actividades mineras, algunas personas se encuentren expuestas a alguna combinación de sustancias químicas que puedan causar daños a la salud, como pueden ser cáncer, esterilidad, daño neurológico, problemas de desarrollo o defectos de nacimiento.

Los agentes tóxicos de los residuos peligrosos pueden entrar en el cuerpo mediante la ingestión, por inhalación, o por contacto con la piel u otras superficies exteriores, como los ojos. Una vez dentro del cuerpo, viajan a través de la sangre a los órganos internos.

Hay varios órganos especialmente vulnerables a los agentes tóxicos; por ejemplo, el hígado que está más expuesto al suministro de sangre y puede verse dañado directamente. Otro ejemplo son los riñones, ya que se encargan de filtrar la sangre y con frecuencia son susceptibles de dañarse.

## VII. RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN LAS ACTIVIDADES PETROLERAS

El petróleo es un compuesto químico complejo en el que coexisten partes sólidas, líquidas y gaseosas. Lo forman, por una parte, unos compuestos denominados hidrocarburos, formados por átomos de carbono e hidrógeno y, por otra, pequeñas proporciones de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales. Se presenta de forma natural en depósitos de roca sedimentaria y sólo en lugares en los que hubo mar. Su color es variable, entre el ámbar y el negro y el significado etimológico de la palabra petróleo es aceite de piedra, por tener la textura de un aceite y encontrarse en yacimientos de roca sedimentaria.

En México, la industria petroquímica se ha desarrollado aceleradamente, generando diversos satisfactores desde el punto de vista económico. Sin embargo, su expansión y desarrollo también ha dado paso a una serie de problemas ambientales graves, debidos a emergencias y contingencias ambientales, dando origen a graves repercusiones a la salud de la población y al equilibrio de los ecosistemas. Entre las causas que han generado este deterioro ambiental por la contaminación de cuerpos de agua y suelos a lo largo de todo el país, se encuentran las siguientes:

- Manejo inadecuado y abandono de materiales y residuos peligrosos
- Mantenimiento inadecuado o falta de éste en instalaciones petroleras
- Explosiones en instalaciones de alto riesgo
- Fuga en líneas de conducción
- Derrames de hidrocarburos

(Volke Sepúlveda & Velasco Trejo, Industria Petroquímica, 2002)

Actualmente, Petróleos Mexicanos (PEMEX) es la mayor empresa de México y de América Latina, y el mayor contribuyente fiscal del país. Es de las pocas empresas petroleras en el mundo que desarrolla toda la cadena productiva de la industria, desde la exploración, hasta la distribución y comercialización de productos finales, por lo que opera a través de cuatro organismos subsidiarios: Pemex Exploración y Producción, Pemex Refinación, Pemex Gas y Petroquímica Básica y, Pemex Petroquímica.

En la realización de todas estas actividades, Petróleos Mexicanos en concordancia con las directrices del Ejecutivo Federal ha elaborado políticas para la preservación del medio ambiente. El establecimiento de estas políticas, ha ayudado a establecer compromisos realizables y a acrecentar de manera significativa la cultura ambiental.

En el inventario de residuos peligrosos de PEMEX en el 2001 se reporta la generación de más de 270 mil toneladas de residuos peligrosos. Aproximadamente 86% del volumen total se compone de tres tipos de residuos: 72% corresponde a los lodos y recortes de perforación, 8% a lodos aceitosos de refinerías y Región Norte de PEP y 6% a aceites gastados de refinerías y complejos petroquímicos, principalmente de Cangrejera y Pajaritos.

Para el año 2009, se logró revertir la tendencia de mal desempeño ambiental al alcanzar la reducción de emisiones al aire de 10,6% con respecto a 2008. De igual forma, se redujo el uso de agua fresca en 3,9% y los inventarios de residuos peligrosos y de suelos contaminados tuvieron una disminución neta de 14,9 y 10,2%, respectivamente. Al cierre del 2009, los inventarios finales de residuos peligrosos derivados de las actividades petroleras, muestran una tendencia a la baja a partir del 2006. Lo anterior debido a que la legislación ambiental vigente en materia de residuos, establece que los residuos peligrosos no pueden estar almacenados por más de seis meses a partir de su generación, por lo que los organismos subsidiarios deben procurar realizar las gestiones necesarias para la disposición de residuos peligrosos en tiempo.

Durante el 2009 la generación de residuos peligrosos totalizó 81,6 miles de toneladas, siendo PEMEX Refinación el organismo subsidiario que contribuye con el 57% de esta generación.

Los residuos peligrosos que se generan en mayor volumen son: lodos aceitosos, sosas gastadas, residuos sólidos impregnados y cloro hidrocarburos pesados (PEMEX, 2009), estos residuos representan el 78% del total de residuos peligrosos generados por la industria petrolera.

Por otro lado, la principal fuente de generación de residuos no peligrosos de la industria petrolera, se localiza en PEMEX Exploración y Producción, los recortes de perforación representan el 96,79% del total de estos residuos y son generados por las actividades de exploración y perforación de pozos petroleros.

Cuadro VII.1.

RESIDUOS GENERADOS [%]		
	PELIGROSOS	NO PELIGROSOS
PEP	12.88	96.79
PREF	57.08	0.08
PGPB	2.50	0.01
PPQ	27.54	3.12
Total	100.00	100.00

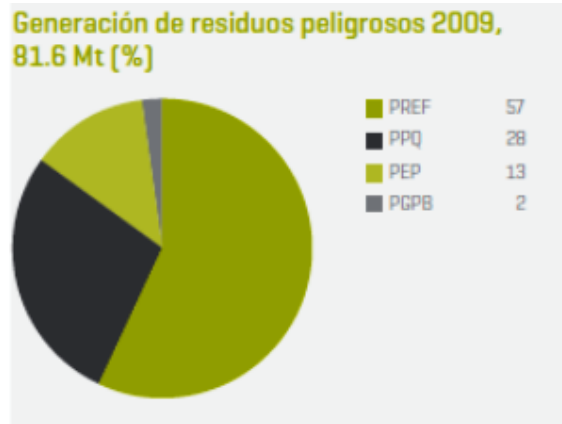
Fuente: Generación de residuos 2009. Informe de responsabilidad social. Desempeño ambiental. (PEMEX, 2009)

Cuadro VII.2.

Generación de Residuos Peligrosos en el periodo enero 2009 – diciembre 2009 (ton)	
Pemex Exploración y Producción	13 253
Pemex Petroquímica	35 970
Pemex Gas y Petroquímica Básica	2 057
Pemex Refinación	46 928
Total	98 315

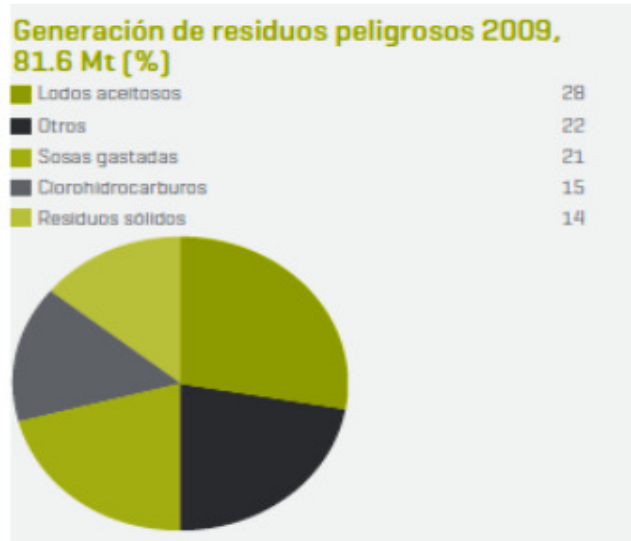
Fuente: Inventario de Residuos Peligrosos 2009. (PEMEX, 2009)

Figura VI.1. Generación de residuos peligrosos en 2009 por fuente generadora.



Fuente: Generación de residuos peligrosos por organismos subsidiarios 2009. Informe de responsabilidad social. Desempeño ambiental. (PEMEX, 2009)

Figura VI.2. Generación de residuos peligrosos en 2009 por tipo de residuo.



Fuente: Generación de residuos peligrosos por tipo de contaminante 2009. Informe de responsabilidad social. Desempeño ambiental. (PEMEX, 2009)

En cuanto a los residuos generados por PEMEX Refinación, existen importantes avances tecnológicos a nivel mundial, pero también grandes errores, como la selección inadecuada de sitios y procedimientos para confinar residuos peligrosos. Los principales residuos peligrosos que se generan en los procesos de refinación son: lodos aceitosos, lodos plumizos, lodos blancos, catalizadores agotados y aceites gastados.

PEMEX subcontrata el servicio de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, caducos y/o contaminados, por lo que cuenta con un control sistemático sobre los residuos que se transportan dentro y fuera de sus instalaciones, lo que le permite cumplir con la normatividad aplicable en el marco que le confiere su responsabilidad por la generación de residuos. Las empresas que llevan a cabo estos servicios están avaladas por SEMARNAT.

En julio de 2008 se inició la disposición de 11 000 toneladas de clorohidrocarburos pesados, mediante un contrato de servicios cuya vigencia terminó en octubre del 2009. Al cierre del mes de junio, se habían dispuesto el 100% de los clorohidrocarburos pesados objeto del contrato. (PEMEX, 2009)

Derivado de la aplicación del plan de manejo de aceites y solventes usados de Pemex Petroquímica, fueron reciclados energéticamente el 100% de estos residuos, sumando 16 683 toneladas, lo que ha permitido obtener ahorros de energía del orden de 529 372 millones de Btu's. Durante el 2009, Pemex Petroquímica registró ante la SEMARNAT el Plan de Manejo de Clorohidrocarburos Pesados y Ácido Muriático al 20%, para manejar un volumen anual de 102 150 toneladas de dichos residuos. Mediante la aplicación de este plan, se pretende mejorar la gestión de los mismos e incrementar las posibilidades de valoración del ácido muriático generado por la incineración de los clorohidrocarburos pesados producidos durante el proceso.

### **VIII. INFRAESTRUCTURA ACTUAL EN MÉXICO PARA EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS**

La capacidad para el manejo adecuado de los residuos peligrosos en México es sumamente limitada; sólo una muy pequeña porción del total generado es transportado, reciclado, destruido o confinado en condiciones técnicas y ambientales satisfactorias. Esto se debe principalmente a las siguientes condiciones:

1. Opinión pública desinformada
2. Incentivos insuficientes para la reducción y manejo inadecuado de residuos industriales
3. Normatividad incompleta
4. Bajo control de calidad ambiental en micro, pequeña y mediana industria
5. Inexistencia de iniciativas conjuntas para el manejo de residuos industriales
6. Altos costos en la concertación entre la industria y las tres instancias de gobierno
7. Mercados poco desarrollados
8. Procedimientos administrativos excesivamente largos y costosos
9. Incertidumbre social
10. Falta de información
11. Inspección y vigilancia insuficientes

(Instituto Nacional de Ecología, 1996)

Ante la inexistencia de suficientes sitios para la disposición final de residuos peligrosos, muchas industrias han dispuesto de sus residuos de manera clandestina en tiraderos municipales, barrancas, derechos de vías en carreteras, drenajes municipales o en cuerpos de agua. Por eso es que el contar con sitios idóneos donde disponer de los residuos peligrosos de manera controlada, ayuda a proteger y preservar el equilibrio ecológico y eliminar los efectos nocivos que los contaminantes puedan tener sobre la población.

Se estima que sólo un pequeño porcentaje de los residuos peligrosos generados en México se controlan adecuadamente. Este control se lleva a cabo mediante actividades y

procesos como el confinamiento, reciclaje de solventes, reciclaje de aceites, reciclaje energético de residuos combustibles, exportación de aceites contaminados y reciclaje de residuos con elementos metálicos (SEMARNAT, 2000).

La NOM-055-SEMARNAT-2003, establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los líquidos, los semisólidos, los bifenilos policlorados y los radiactivos. La localización de los sitios destinados para el confinamiento de residuos peligrosos se determina con base en la realización de estudios donde se determinan las características geológicas, hidrogeológicas, hidrológicas, climatológicas y sísmicas, así como el análisis de afectación de áreas naturales protegidas, obras civiles y centros de población y zonas declaradas como patrimonio histórico o cultural. Los residuos peligrosos deben estar previamente estabilizados y estos se disponen en celdas de confinamiento, que son espacios creados de forma artificial para darle disposición final a los residuos peligrosos.

Estas celdas de confinamiento controlado son la solución más utilizada para la disposición final de residuos peligrosos. Aunque si no se lleva un correcto control de estos sitios de disposición final, pueden resultar en desastres ambientales.

Para llevar a cabo el diseño, construcción y operación de las celdas de confinamientos controlados, la NOM-057-SEMARNAT-1993 establece los requisitos que se deben cumplir para llevar a cabo esta tarea, así como las restricciones que deben cumplirse para depositar los residuos peligrosos en las celdas.

En el caso de México, así como otros países, es necesario primero implementar una serie de estrategias para orientar el análisis e implementar acciones correctivas sobre el control en las fuentes generadoras y la infraestructura con que se cuenta, con la finalidad de llevar a cabo un correcto manejo integral de residuos peligrosos. Dentro de estas estrategias, se pueden nombrar las siguientes:

1. Distinguir entre grandes, pequeños y microgeneradores de residuos peligrosos.
2. Identificar sectores que contribuyan con los mayores volúmenes de residuos peligrosos o que generen los residuos de mayor peligrosidad o potencial de valorización.
3. Reconocer las fuentes generadoras y las empresas involucradas en el manejo de los residuos peligrosos sujetos a planes de manejo.
4. Identificar la infraestructura y capacidad instalada para reutilizar, reciclar o co-procesar los residuos peligrosos.
5. Localizar las zonas de la República en las cuales se deba poner énfasis en la creación de infraestructura, acorde con el tipo de fuentes generadoras y tipos de residuos peligrosos generados en mayores volúmenes.

(Gutiérrez Avedoy, 2006)

Con base en un análisis de información que se obtuvo por las autorizaciones otorgadas por SEMARNAT del 1998 al 2010, la capacidad instalada para el manejo de los residuos peligrosos es desigual en el territorio nacional, donde la capacidad autorizada por tipo de manejo se resumen en el Cuadro VIII.1.

Cuadro VIII.I.

Plantas o instalaciones autorizadas para el manejo de residuos peligrosos industriales

Año	Modalidad de manejo	Número de plantas o instalaciones	Capacidad instalada (toneladas)
1998	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	9	2,087
1999	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	61	16,015
	Almacenamiento temporal	9	2,743
	Reutilización	0	21
	Reciclaje	0	1,582,537
	Tratamiento	-	3,681,433
	Incineración	-	22
2000	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	35	4,789
	Almacenamiento temporal	15	1,824
	Reutilización	1	0
	Reciclaje	16	85,949
	Tratamiento	8	98,000
	Incineración	1	134,500
	Confinamiento	0	0
2001	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	37	5,091
	Almacenamiento temporal	4	5,254
	Reutilización	1	21
	Reciclaje	23	131,974
	Tratamiento	8	387,930
	Incineración	3	19,915
	Confinamiento	0	0
2002	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	58	4,599
	Almacenamiento temporal	2	1,318
	Reutilización	1	500,000
	Reciclaje	31	311,449
	Tratamiento	4	152,860
	Incineración	1	7,008
	Confinamiento	0	0
2003	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	106	61,919
	Almacenamiento temporal	15	3,416
	Reutilización	0	0
	Reciclaje	38	1,012,867
	Tratamiento	10	721,218
	Incineración	2	35,475
	Confinamiento	0	0
2004	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	115	5,127,780
	Almacenamiento temporal	31	1,994
	Reutilización	3	414
	Reciclaje	29	416,468
	Tratamiento	8	1,361,811
	Incineración	2	13,062
	Confinamiento	0	0
2005	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	82	7,619
	Almacenamiento temporal	52	7,657



Plantas o instalaciones autorizadas para el manejo de residuos peligrosos industriales

Año	Modalidad de manejo	Número de plantas o instalaciones	Capacidad instalada (toneladas)
2005	Reutilización	0	0
	Reciclaje	30	407,800
	Tratamiento	5	716,000
	Incineración	2	5,212
	Confinamiento	1	45,000
2006	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	17	1,281
	Almacenamiento temporal	4	3,442
	Reutilización	0	0
	Reciclaje	41	602,033
	Tratamiento	7	931,475
	Incineración	0	0
	Confinamiento	3	376,600
2007	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	13	4,949
	Almacenamiento temporal	2	24
	Reutilización	0	0
	Reciclaje	20	390,544
	Tratamiento	3	86,380
	Incineración	2	1,012
	Confinamiento	0	-
	Coprocesamiento (% combustible alterno autorizada)	0	0
2008	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	8	56
	Almacenamiento temporal	1	36
	Reutilización	0	0
	Reciclaje	34	354,850
	Tratamiento	3	96,000
	Incineración	1	8,760
	Confinamiento	0	0
	Coprocesamiento (% combustible alterno autorizada)	15	30
2009	Recolección y transporte (toneladas/viaje)	0	0
	Almacenamiento temporal	0	0
	Reutilización	0	0
	Reciclaje	13	237,813
	Tratamiento	3	80,500
	Incineración	1	1,680
	Confinamiento	0	0
	Coprocesamiento (% combustible alterno autorizada)	2	30
2010	Reutilización	1	389
	Reciclaje	4	462,802
	Tratamiento	0	109,200

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. Febrero 2011.

Los residuos peligrosos que en su mayoría reciben las empresas de servicios son: los aceites y lubricantes gastados, las escorias con metales pesados, los líquidos residuales de proceso no corrosivos, lodos de pinturas, residuos sólidos conteniendo metales pesados y solventes orgánicos; de los cuales en el Cuadro VIII.2. se resumen las cantidades recibidas por las empresas de servicios autorizadas.

Cuadro VIII.2.

<b>Generación estimada de residuos peligrosos según clasificación de residuo</b>			
<b>Año</b>	<b>Tipo de residuo</b>	<b>Subcategoría de residuo</b>	<b>Generación estimada (toneladas)</b>
2004-2009	Residuos sólidos	Telas, pieles o asbesto e.	58.107,74
		De mtto. Automotriz	106.945,40
		Con metales pesados	28.980,97
		Tortas de filtrado	2.596,41
		Otros sólidos	612.426,75
	Líquidos de proceso	Corrosivos	10.582,04
		No corrosivos	30.147,59
	Aceites gastados	Dieléctricos	93.066,56
		Lubricantes	173.426,80
		Hidráulicos	13.373,50
		Solubles	11.720,93
		Templado metales	193,31
		Otros aceites	86.751,33
	Solventes	Orgánicos	61.721,39
		Organoclorados	805,81
	Lodos	Aceitosos	26.307,26
		Galvanoplastia	7.136,48
		Proceso de pinturas	43.178,73
		Templado de metales	514,59
		Trat.de aguas de proceso	12.981,77
		Trat. De aguas negras	10.302,44
		Otros lodos	39.442,97
	Breas	Catalíticas	42,51
		De destilación	183,84
		Otras breas	276,44
	Biológico-infecciosos	Cultivos y cepas	3.069,13
		O. Punzocortantes	18.475,92
		Patológicos	19.239,00
		No anatómicos	62.629,80
		Sangre	4.672,41
	Escorias	Finas	6.469,20
		Granulares	16.747,75
Sustancias corrosivas	Ácidos	11.980,17	
	Alcalis	5.111,14	
Otros residuos	Otros residuos	120.031,13	
	<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>1.699.639,20</b>
2010	Residuos sólidos	Telas, pieles o asbesto e.	499,62
		De mtto. Automotriz	1.376,69
		Con metales pesados	1.353,53
		Tortas de filtrado	3,64
		Otros sólidos	3.552,07
	Líquidos de proceso	Corrosivos	410,38
		No corrosivos	602,46

<b>Generación estimada de residuos peligrosos según clasificación de residuo</b>			
<b>Año</b>	<b>Tipo de residuo</b>	<b>Subcategoría de residuo</b>	<b>Generación estimada (toneladas)</b>
	Aceites gastados	Dieléctricos	86,06
		Lubricantes	2.484,87
		Hidráulicos	207,16
		Solubles	83,42
		Templado metales	0,76
		Otros aceites	2.550,11
	Solventes	Orgánicos	2.303,49
		Organoclorados	1,79
	Lodos	Aceitosos	1.051,38
		Galvanoplastia	71,04
		Proceso de pinturas	83,71
		Templado de metales	4,00
		Trat.de aguas de proceso	1.330,74
		Trat. De aguas negras	115,07
		Otros lodos	902,39
	Breas	Catalíticas	68,10
		De destilación	0,00
		Otras breas	0,05
	Biológico-infecciosos	Cultivos y cepas	509,01
		O. Punzocortantes	91,99
		Patológicos	176,40
		No anatómicos	468,70
		Sangre	387,02
	Escorias	Finas	13,72
		Granulares	804,29
	Sustancias corrosivas	Ácidos	33,39
		Alcalis	21,06
	Otros residuos	Otros residuos	1.330,31
	Total	Total	22.978,39

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. Febrero 2011.

En cuanto a la capacidad instalada autorizada de sitios de disposición final para llevar a cabo el confinamiento de residuos peligrosos, en el Cuadro VIII.3. se puede notar la gran deficiencia que se tiene de estos sitios a nivel nacional.

Cuadro VIII.3.

Capacidad instalada autorizada para el confinamiento de residuos			
Año	Entidad	Número de plantas o instalaciones	Capacidad instalada (toneladas/año)
2000	Nacional	0	0
2001	Nacional	0	0
2002	Nacional	0	0
2003	Nacional	0	0
2004	Nacional	0	0
2005	Sonora	1	45
	Nacional	1	45
2006	Coahuila	2	206,6
	Hidalgo	1	170
	Nacional	3	376,6
2007	Nacional	0	0
2008	Aguascalientes	0	0
	Baja California	0	0
	Baja California Sur	0	0
	Campeche	0	0
	Coahuila	0	0
	Colima	0	0
	Chiapas	0	0
	Chihuahua	0	0
	Distrito Federal	0	0
	Durango	0	0
	Guanajuato	0	0
	Guerrero	0	0
	Hidalgo	0	0
	Jalisco	0	0
	México	0	0
	Michoacán	0	0
	Morelos	0	0
	Nayarit	0	0
	Nuevo León	0	0
	Oaxaca	0	0
	Puebla	0	0
	Querétaro	0	0
	Quintana Roo	0	0
	San Luis Potosí	0	0
	Sinaloa	0	0
	Sonora	0	0
	Tabasco	0	0
	Tamaulipas	0	0
	Tlaxcala	0	0
	Veracruz	0	0
	Yucatán	0	0
	Zacatecas	0	0
	Nacional	0	0

Capacidad instalada autorizada para el confinamiento de residuos			
Año	Entidad	Número de plantas o instalaciones	Capacidad instalada (toneladas/año)
2009	Aguascalientes	0	0
	Baja California	0	0
	Baja California Sur	0	0
	Campeche	0	0
	Coahuila	0	0
	Colima	0	0
	Chiapas	0	0
	Chihuahua	0	0
	Distrito Federal	0	0
	Durango	0	0
	Guanajuato	0	0
	Guerrero	0	0
	Hidalgo	0	0
	Jalisco	0	0
	México	0	0
	Michoacán	0	0
	Morelos	0	0
	Nayarit	0	0
	Nuevo León	0	0
	Oaxaca	0	0
	Puebla	0	0
	Querétaro	0	0
	Quintana Roo	0	0
	San Luis Potosí	0	0
	Sinaloa	0	0
	Sonora	0	0
	Tabasco	0	0
	Tamaulipas	0	0
	Tlaxcala	0	0
	Veracruz	0	0
	Yucatán	0	0
	Zacatecas	0	0
	Nacional	0	0

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. Febrero 2011.

En cuanto a las entidades federativas de las que más generadores enviaron residuos peligrosos a las empresas de servicios, destacan: Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Guanajuato, Tamaulipas, Estado de México y Distrito Federal. Esta información se resume en el Cuadro VIII.4.

## Efectos nocivos en la salud del hombre causados por residuos peligrosos

Cuadro VIII.4.

<b>Estimación de residuos peligrosos a generar, indicada por empresas al registrarse en el padrón de generadores de Semarnat</b>														
Entidad federativa	2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010	
	Número de empresas	Generación estimada (toneladas)	Número de empresas	Generación estimada (toneladas)	Número de empresas	Generación estimada (toneladas)	Número de empresas	Generación estimada (toneladas)	Número de empresas	Generación estimada (toneladas)	Número de empresas	Generación estimada (toneladas)	Número de empresas	Generación estimada (toneladas)
Aguascalientes	95	24,871.45	117	6,930.48	152	590.82	117	590.47	118	561.68	34	87.79	55	440
Baja California	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	181	1,852.96	190	266
Baja California Sur	147	216.45	233	206.73	136	293.47	141	152.92	123	157.02	26	25.83	37	49
Campeche	60	829.72	112	9,013.76	56	54,135.11	80	2,428.68	71	600.01	24	105.60	2	10
Coahuila	122	2,027.09	63	2,219.54	107	1,491.68	162	947.73	95	674.31	59	979.52	61	2,485
Colima	92	202.48	87	264.30	69	323.37	121	1,160.71	75	102.83	28	12.71	40	140
Chiapas	120	1,657.97	171	11,215.01	89	4,715.11	272	3,028.87	324	20,254.41	431	34.28	143	92
Chihuahua	478	50,294.70	545	10,949.34	546	61,333.42	649	48,811.39	626	25,088.70	76	1,649.04	102	1,603
Durango	173	267.55	90	383.92	103	276.52	170	184.69	148	425.34	105	274.73	51	178
Guanajuato	0	0.00	0	0.00	-	0.00	0	0.00	159	499.12	52	63.83	49	6,438
Guerrero	190	2,037.66	123	134.52	241	226.61	261	136.77	205	128.58	53	38.11	80	114
Hidalgo	123	1,927.95	100	5,555.33	208	2,166.42	131	544.60	115	205.99	17	39.21	41	1,619
Jalisco	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	680	5,240.44	57	152.37	265	1,154
México	358	6,675.73	454	1,194.81	258	892.27	282	1,761.69	208	2,777.27	69	199.79	117	673
Michoacán	540	942.63	314	440.37	363	1,977.04	312	505.09	269	876.67	145	159.99	156	279
Morelos	199	1,412.69	250	579.98	124	682.11	249	1,032.44	117	108.52	44	46.77	35	147
Nayarit	46	15.33	89	56.86	53	161.94	71	74.64	51	68.91	16	466.60	32	64
Nuevo León	225	16,008.14	250	19,157.97	283	34,600.36	352	12,208.22	418	9,658.83	67	2,652.92	60	1,974
Oaxaca	130	467.01	77	164.23	53	116.38	110	278.71	198	291.17	73	102.70	37	49
Puebla	253	660.96	287	860.73	259	481.73	362	307.23	250	472.36	106	139.85	58	489
Querétaro	130	1,200.07	147	1,889.74	140	747.85	286	537.32	224	2,570.38	103	231.27	131	687
Quintana Roo	34	485.07	29	1,424.48	43	1,870.86	104	152.77	64	290.13	24	32.47	13	19
San Luis Potosí	211	1,704.98	188	671.29	119	955.65	174	3,693.29	215	8,371.97	41	161.97	54	347
Sinaloa	229	419.98	104	123.58	109	979.52	181	1,467.86	272	1,416.81	0	0.00	60	118
Sonora	146	3,655.01	208	4,695.11	142	1,447.92	193	682.71	189	773.68	59	112.05	55	120
Tabasco	64	2,584.19	64	13,735.87	62	33,635.95	118	6,429.62	99	990.81	35	140.19	45	233
Tamaulipas	358	5,224.34	267	4,280.61	152	4,817.57	0	0.00	163	3,094.00	50	1,117.29	77	1,406
Tlaxcala	223	432.55	52	62.97	90	260.84	106	685.56	64	45.41	15	220.99	50	9
Veracruz	98	1,809.36	183	3,302.37	206	3,446.37	380	1,723.94	345	1,447.44	84	514.33	113	441
Yucatán	76	230.49	169	230.39	82	330.92	229	135.10	258	133.20	39	41.68	39	31
Zacatecas	54	575.12	48	73.35	66	476.29	36	334.60	96	976.79	16	2,668.06	25	16
Total	6	281,052.60	6	295,855.37	6	261,208.95	7	137,837.90	8	134,892.76	2	16,502.22	2,558	22,978
de la Ciudad de México	622	152,215.93	1	196,037.74	2	47,774.84	1	47,840.27	2	46,590.00	351	2,177.34	285	1,290

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. Febrero 2011.

Con el cuadro anterior, podemos resaltar los cambios bruscos que sufren las entidades federativas en cuanto a la infraestructura para el manejo de residuos peligrosos.

Por su parte, PEMEX Refinación reporta que para el manejo integral de los residuos peligrosos que se generan se llevan a cabo diferentes acciones dependiendo del residuo. Algunos de estos procesos se especifican a continuación

1. Lodos aceitosos. Se originan en los tanques de almacenamiento de crudo, combustóleo, gasóleo y en plantas de tratamiento de efluentes. Los lodos aceitosos están constituidos por parafinas, asfaltenos, agua y material inorgánico englobado por hidrocarburos. El manejo que se le da a estos lodos consiste en darles tratamiento para reducir de inmediato el volumen del residuo, donde los hidrocarburos se procesan, el agua es enviada a las plantas de tratamiento y el resto se va a disposición final.
2. Lodos plumizos. Se originan al añadir tetraetilo de plomo a la gasolina Nova. Este residuo se encapsula con el cemento o es lavado para reincorporar a la gasolina el tetraetilo de los residuos, cumpliendo así con la normatividad que regula su disposición final.
3. Lodos blancos. La disposición final del lodo blanco se realiza en la industria calera, adicionando el lodo a la cal durante su proceso de manufactura.
4. Catalizador agotado. Estos provienen de las plantas de desintegración catalítica de gasóleos pesados. Está compuesto principalmente de sílice, al perder la reactividad, el catalizador es desechado y sustituido por uno nuevo. A los catalizadores agotados se les da disposición final en las plantas cementeras.
5. Aceites gastados. Proviene del uso del lubricante en equipos como bombas, motores, etcétera. La mejor opción para el manejo de los aceites gastados consiste en su reprocesamiento en la industria lubricantera.
6. Carbón desactivado. Cuando el carbón pierde su potencial de servir como activador tiene que desecharse. Éste se puede comercializar o de lo contrario se dispone en confinamientos controlados.
7. Escoria de calderas y calentadores. Proviene del uso de combustibles con alto contenido de azufre, vanadio y otros metales. Éste se puede comercializar para recuperar los metales o en su defecto se dispone en confinamientos controlados.

(Olivares, 1995)

## **IX. ANÁLISIS DE UN CASO TIPO DE RIESGOS A LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RESIDUOS PELIGROSOS**

En el estudio y evaluación de sitios contaminados con residuos peligrosos, se encuentra por lo general, una contaminación dada por mezclas químicas de varios contaminantes y que

afectan a varios grupos poblacionales, por lo que se vuelve una tarea compleja que requiere de una metodología específica para su análisis.

Estados Unidos es el país que ha marcado la pauta en el diseño de metodologías para el estudio de sitios contaminados. Dos de ellas, complementarias entre sí, son las más populares; una fue diseñada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la otra fue originada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades del Departamento de Salud Pública (ATSDR). La primera estima el riesgo en salud basándose en datos ambientales del sitio, y la segunda evalúa el riesgo en la salud con fundamento en los datos ambientales y en los antecedentes de salud registrados en el área de influencia del sitio. (Díaz Barriga, 1996).

La correcta aplicación de estas metodologías en México y América Latina, presenta algunas dificultades debido al desconocimiento total de la localización de sitios contaminados y la escasez de recursos económicos para efectuar los estudios tan detallados que se requieren en dichas metodologías, por lo que se requiere adaptarlas según sea el caso de estudio, y así lograr resultados que conlleven a la remediación de sitios contaminados.

Para esto SEMARNAT propone una metodología general que consta de tres fases: la obtención de un listado preliminar de sitios potencialmente contaminados, caracterización de los sitios listados y la evaluación de la exposición en aquellos sitios que como resultado de una clasificación de sitios contaminados se consideren como de alto riesgo.

### IX.1. Elaboración de un listado de sitios potencialmente contaminados

La generación de un listado de sitios contaminados es la primera etapa, donde se obliga a las autoridades a realizar estudios, motiva la conciencia en los tomadores de decisiones y facilita la instrumentación de planes preventivos. Este primer listado lo elabora un grupo integrado por diferentes especialistas en el tema, miembros del gobierno, iniciativa privada, etcétera.

El primer paso en la elaboración de un listado de sitios potencialmente contaminados es la homogenización de criterios bajo los cuales se listarán los sitios. Uno de estos criterios es definir las categorías para la identificación de sitios potencialmente contaminados; por ejemplo, los sitios podrían identificarse considerando sólo aquellos que se localicen en una determinada población, municipio o estado; aquellos donde la fuente contaminante sea la misma, enlistando zonas mineras o zonas petroleras; o aquellos sitios donde los contaminantes compartan características similares.

Una vez definidos estos criterios se comienza a reunir información utilizando todas las fuentes disponibles, como pueden ser datos de inventarios industriales en la región o información de fuentes estadísticas.



Antes de pasar a la etapa de inspección preliminar, es importante evaluar cuáles son los sitios que pudieran ser más riesgosos. Esto no se realiza con la finalidad de eliminar sitios, sino de realizar una priorización para evaluar primero los sitios más riesgosos.

*Ejemplo de generación de un listado de sitios potencialmente contaminados. Caso: Estado de Veracruz, México.*

Se elaborará un listado de sitios potencialmente peligrosos en el estado de Veracruz, cuya principal fuente de residuos peligrosos sea la industria petrolera.

En Veracruz, las zonas industriales se pueden dividir como norte, centro y sur. La base industrial del estado es la explotación de petróleo y azufre. Además cuenta con el mayor número de pozos petrolíferos en la planicie costera del Golfo de México, con refinerías y plantas de absorción.

En Veracruz también se encuentra la planta nucleoelectrica de Laguna Verde, la única en México, misma que garantiza la provisión de energía para la actividad industrial, incluso fuera de los límites del estado.

La importancia de la industria veracruzana se refleja en los porcentajes de participación en la producción nacional y destaca por su liderazgo. Así la mayor parte de la producción nacional azucarera, petroquímica, agroquímica, aluminio, y tubos de acero proviene de Veracruz.

Los datos anteriores podrían ubicar a Veracruz como una región potencialmente contaminada y con poblaciones expuestas a sustancias químicas en niveles de alto riesgo.

Examinando la información del INEGI, en el Sistema Informático de Sitios Contaminados (SISCO) se cuentan 69 sitios contaminados, registrados como pasivos ambientales<sup>4</sup>, en el estado de Veracruz, de los cuales entre 12 y 15 sitios, el responsable involucrado es PEMEX.

En otras palabras, existen un total de 15 sitios contaminados cuya principal fuente de contaminación es la industria petrolera.

## IX.2. Caracterización de sitios contaminados

Una vez que se cuenta con el listado de sitios potencialmente contaminados, la segunda etapa es la de caracterización de sitios. Esta etapa debe ser simple y económica tomando en cuenta el gran número de sitios contaminados que se obtienen en el listado, pero siempre se

---

<sup>4</sup> Son aquellos sitios contaminados que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que implican una obligación de remediación.

debe realizar con la calidad suficiente para concluir si un sitio está contaminado o no con sustancias químicas o microorganismos patógenos. La caracterización es una etapa de inspección que se realiza con base a la NOM-138-SEMARAT-SS-2003 que establece las especificaciones para la caracterización y remediación de sitios contaminados.

La LGPGIR define la caracterización de sitios contaminados como la determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación. En otras palabras, la caracterización del sitio es la manera de conocer la peligrosidad del sitio.

Esta etapa es una tarea onerosa y técnicamente compleja, porque requiere de equipos de trabajo especializados, instrumental sofisticado y considerable infraestructura analítica. Pero una caracterización insuficiente provoca un pobre conocimiento del sitio, ya que los datos recabados en esta etapa permiten identificar el problema de contaminación del sitio, así como los posibles receptores de las sustancias tóxicas presentes, y con base en esta información se pueden tomar decisiones respecto a las medidas que deben tomarse para evitar afectaciones a la salud humana o al medio ambiente; es decir, elaborar un programa de remediación del sitio.

La caracterización de los sitios contaminados se realiza mediante métodos indirectos (evaluación preliminar) y métodos directos (evaluación detallada).

### IX.2.1. Evaluación preliminar

Los métodos indirectos consisten en la primera fase o caracterización preliminar, en la que se establece un modelo teórico del sitio con base en un proceso sistemático de análisis de la información que ya se tiene del sitio. Consta de dos partes, el estudio del material de documentación y el reconocimiento del sitio, donde al final se tendrá información de: los registros históricos del sitio y del área aledaña; el marco físico regional detallado del sitio; los usos de suelo actuales y futuros del lugar; los datos analíticos de estudios previos; reconocimiento del sitio y del área aledaña. La información recabada debe abarcar la información del sitio, los tipos de contaminantes y las fuentes de exposición.

Las principales actividades a realizar en la caracterización preliminar son:

1. Análisis de la historia del terreno a través de fotografías y mapas.
2. Descripción detallada de la actividad en el sitio, procesos, productos, subproductos y residuos.
3. Conocimiento de actividades previas a través de archivos y dependencias.
4. Entrevistas con los ocupantes del sitio pasados y presentes y con autoridades.
5. Visitas al sitio para conocer la topografía, condiciones y principales rasgos.
6. Establecimiento de la geología del sitio a partir de mapas geológicos.
7. Revisión de la información sobre hidrología del área y localización de los acuíferos.

8. Obtención de datos meteorológicos.
9. Localización de construcciones, desagües, alcantarillas, tanques de almacenamiento.
10. Recopilación de información sobre suministros de agua.
11. Ubicación de centros de población cercanos y caracterización de la población expuesta.
12. Detección de tanques, tambores y demás contenedores y registro de marcas, fugas y derrames en ellos.
13. Ubicación de lagos, lagunas, pozos, áreas pantanosas, depresiones.
14. Detección de manchas, vapores, lugares con aceite, olores, colores y contaminación obvia.

(Izcapa Treviño, 2003)

*Ejemplo de caracterización preliminar de sitios contaminados. Caso: Tiradero de la Congregación Gavilán de Allende II. Municipio de Coatzacoalcos, Veracruz. Estudio realizado por Coplain Ingenieros Civiles S.A. de C.V.*

El sitio se ubica en México en el Estado de Veracruz, en la región Coatzacoalcos-Minatitlán. Colinda con una laguna y con un pequeño monte de vegetación alta. Se estima que el sitio abarca un área de 40 x 1200 m y tiene una profundidad promedio de 1,5 m. El terreno es propiedad privada.

En la visita al sitio se pudieron observar costales y bolsas que por haber estado en contacto con sustancias tóxicas e inflamables se consideran como residuos peligrosos. Existe fauna nociva que ha desplazado a la fauna natural y, debido a la contaminación del suelo y del agua, la vegetación y los peces han sido afectados.

La disposición de residuos se efectuó en una excavación de tipo trinchera en una zona de lomeríos. El área de influencia es semiplana con una pendiente promedio de 2%. El suelo es de tipo acrisol, cuya característica es la acumulación de arcilla en el subsuelo, la cual es ácida, de color amarillo claro y susceptible a la erosión. La gente cercana al sitio reporta irritación de ojos y garganta por la emanación de sustancias tóxicas al momento de quemar la basura del tiradero.

En el sitio se han dispuesto residuos provenientes de actividades petroleras y sus derivados. Se encontraron bolsas y costales que contenían carbonato de sodio ligero, fluoruro de potasio, silicato de aluminio, yodato de potasio, asbesto y lana mineral que al haber estado en contacto con tales sustancias, se consideran como residuos peligrosos. El volumen de residuos en el tiradero es de aproximadamente 72000 m<sup>3</sup>, de los cuales aproximadamente el 20% corresponden a residuos industriales.

Debido a la presencia de residuos químicos y a la generación de lixiviados, producto de la descomposición de los residuos orgánicos, se han contaminado el suelo y el lago que limita el tiradero y se ha dañado la vegetación de la zona. Por lo que los puntos de exposición donde la población puede entrar en contacto con los contaminantes son los gases tóxicos que se

desprenden cuando se quema la basura, el agua que los abastece y la flora y la fauna de la región.

Como parte de esta investigación se realizaron entrevistas entre la población del área de influencia con lo que se detectaron los siguientes problemas:

- a) Debido a la velocidad y dirección del viento se han llegado a percibir malos olores causados por la descomposición de los residuos y por los desechos químicos que se encuentran en el tiradero.
- b) Existe la presencia de fauna nociva, principalmente moscas, que son comunes en los domicilios de los entrevistados.
- c) Se han presentado casos de problemas en la piel, como la aparición de manchas rojas muy grandes comparadas con la sarna, así como la irritación del sistema respiratorio y enfermedades oftálmicas, problemas que son más frecuentes en los niños.
- d) El agua con la que se abastece a la población de la zona de influencia del tiradero es de mala calidad y presenta malos olores, produciendo comezón al bañarse.
- e) Se comentó sobre el caso de una niña que sufrió llagas en la piel y el médico diagnosticó que era debido a la contaminación ambiental.

### IX.2.2. Evaluación detallada

La evaluación detallada o los métodos directos de caracterización de sitios contaminados consisten en una etapa de planeación, una etapa de muestreo y análisis, y otra de interpretación y evaluación de los resultados.

En la etapa de planeación debe revisarse toda la información disponible generada durante la evaluación preliminar, para elaborar planes de trabajo y de muestreo. La NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, establece que el plan de muestreo debe incluir: las responsabilidades del personal involucrado en cada procedimiento; la ubicación y el número de los puntos de muestreo, la profundidad y el volumen de las muestras; la técnica de muestreo, el equipo de muestreo y las medidas de seguridad; las medidas de aseguramiento de calidad del muestreo incluyendo la cadena de custodia; los recipientes, la preservación y el transporte de la muestra. El diseño del muestreo es indispensable para asegurar que las muestras representan todos los estratos presentes en el sitio y para definir todos los parámetros y contaminantes a analizar en cada muestra.

Una vez establecido el plan de muestreo se procede a la ejecución del trabajo de campo durante el cual se colectan muestras de suelo, agua superficial y subterránea, sedimentos y aire. El muestreo debe tender a identificar los niveles más altos de contaminación y describir la distribución de la contaminación; también deberá ser completo y representativo. Todo contaminante detectado dentro del sitio deberá ser buscado fuera del sitio. Todo contaminante

ubicado dentro de algún medio ambiental, deberá ser buscado en otros medios ambientales siempre y cuando sus características fisicoquímicas así lo indiquen. Es muy importante que los primeros puntos a muestrear sean los que representen mayores riesgos de salud; estos lugares son los puntos de exposición donde los contaminantes entran en contacto con la comunidad afectada. (Environmental Protection Agency, 1992).

Por otro lado, el equipo utilizado para la toma de muestras depende de los objetivos, considerando las condiciones particulares del sitio y de los recursos disponibles. El muestreo se ve complementado por una etapa de análisis de los contaminantes, la cual se realiza con la finalidad de conocer las propiedades físico-químicas de las muestras obtenidas. Algunas de estas pruebas se pueden realizar en campo y otras en el laboratorio, siempre siguiendo los procedimientos de calidad más estrictos. En todos los sitios se encontrarán alguno o algunos de los tres tipos de contaminación más importantes: por compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos y por contaminantes biológicos. Para lo cual se efectúa una combinación de técnicas de análisis no intrusiva e intrusiva; en la primera se usan aparatos para localizar rasgos bajo la tierra, como objetos enterrados, lechos de roca o plumas de contaminantes, sin necesidad de excavar utilizando métodos electromagnéticos y magnéticos; en la segunda se obtienen muestras del medio a través de perforaciones, y con ellas se determinan las concentraciones exactas de contaminantes.

Los análisis toxicológicos se realizan mediante bioensayos, que consisten en exponer organismos vivos (algas, bacterias, vegetales y fauna en general) a sustancias tóxicas en diferentes concentraciones, y registrar los efectos sobre los mismos. Finalmente, para cada concentración se determina el número de organismos afectados, dato con el que se pueden establecer varios parámetros.

Para concluir con la etapa de muestreo y análisis se procede a una evaluación e interpretación, donde las concentraciones de contaminantes detectadas se comparan con criterios o valores máximos permisibles, con la finalidad de proporcionar una indicación de la existencia de contaminación en el sitio.

Con base en las conclusiones de la evaluación se puede tomar una de las siguientes decisiones: la evaluación está concluida, se requiere investigación adicional o se establece la necesidad de restauración (Izcapa Treviño, 2003).

### IX.3. Clasificación de sitios contaminados

Si una vez finalizada la caracterización del sitio se ha determinado que está contaminado con residuos peligrosos, requiriendo que se lleve a cabo su restauración, el sitio debe clasificarse con respecto a otros para establecer la prioridad de restauración de cada uno y antes que

nada dar atención primero a los sitios que representan un mayor riesgo a la salud y al ambiente.

Esta clasificación debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Tipo de contaminante y su concentración.
- 2) Naturaleza del contaminante
- 3) Toxicidad intrínseca de las sustancias químicas
- 4) Riesgo de exposición humana
- 5) Proximidad del sitio a ambientes sensibles
- 6) Uso del suelo actual y futuro
- 7) Distribución de la contaminación
- 8) Potencial para contaminar cuerpos de agua superficial y agua subterránea

(Izcapa Treviño, 2003)

La clasificación es necesaria para darle un mejor uso a los recursos materiales, financieros y humanos de los que dispone México, ya que actualmente no existen las posibilidades para darle una solución inmediata a todos los sitios contaminados, por lo que es necesario priorizar a los sitios que representan un mayor riesgo a la salud del hombre y al medioambiente.

Con algunos contaminantes y con algunos medios, es muy difícil obtener un valor máximo permisible de referencia; por lo tanto, a fin de estimar la importancia de los contaminantes, se pueden aplicar varios criterios para realizar una selección de contaminantes críticos.

Uno de los criterios que se emplean para estimar la importancia de los contaminantes es comparar su concentración contra un valor de referencia denominado Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG por sus siglas en inglés). Estos valores EMEG han sido propuestos por la ATSDR (Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de las Enfermedades) (Díaz Barriga, 1996). A continuación veremos un caso de selección de contaminantes críticos.

*Ejemplo de selección de contaminantes críticos. Caso: El arsénico como contaminante crítico.*

El arsénico puede ser encontrado de forma natural en pequeñas concentraciones. Aparece en el suelo y en minerales, y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía.

Las plantas absorben arsénico fácilmente, por lo que hay un alto rango de concentraciones que pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso arsénico inorgánico, que está actualmente presente en las aguas superficiales, aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces; esto es mayormente causado por la acumulación de arsénico en los organismos que consumen plantas de las aguas dulces. A su

vez, las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de arsénico y morirán como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos.

El arsénico es uno de los elementos más tóxicos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al arsénico a través de la comida, agua y aire. La exposición puede también ocurrir a través del contacto de la piel con el suelo o agua que contenga arsénico.

Los niveles de arsénico en la comida son bastante bajos, el elemento no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de este, en peces y mariscos pueden ser altos, porque los peces absorben arsénico del agua donde viven. Afortunadamente se trata de la forma de arsénico orgánico menos dañina, pero los peces que contienen significantes cantidades de arsénico inorgánico pueden ser un peligro para la salud humana.

La exposición al arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con este elemento, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas con conservantes de madera y para quien vive en granjas donde el arsénico de los pesticidas ha sido aplicado en el pasado.

La exposición al arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación en el estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación en los pulmones. Es probable que la toma de significantes cantidades de arsénico inorgánico pueda intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente cáncer de piel, pulmón e hígado.

A partir de un muestreo realizado para el municipio de Matehuala, San Luis Potosí, donde se recolectaron muestras de un sitio abandonado con residuos mineros, muestras de suelo, de un arroyo, de un acuífero y de un estanque, se realizó un análisis de cuantificación de metales del cual se advirtió que los tres metales tóxicos más abundantes fueron el arsénico, el plomo y el manganeso. El cobre, si bien se encontró a niveles altos, representa un menor riesgo debido a que su toxicidad es inferior.

En el cuadro IX.1 se muestran los resultados obtenidos en las muestras de suelo recolectadas en los diferentes puntos. Comparando los datos con los niveles basales se advierte que todos los puntos presentan evidencia de impacto ambiental.

Cuadro IX.1 Concentraciones de arsénico en muestras de suelo en (mg/kg).

Punto	Arsénico
Colonia 1	2157
Colonia 2	1235
Colonia 3	47
Sedimento	7102
La Carbonera	4087
Basales	45

Las muestras de agua se tomaron en tres pozos: La florida, Hotel y Los Ángeles, y en el estanque de Cerrito Blanco. De estos, los pozos de La Florida, del Hotel y el estanque de Cerrito Blanco están contaminados por arsénico (Cuadro IX.2). El pozo de Los Ángeles se encuentra dentro de los parámetros de la Organización Mundial de la Salud, de 10 µg/L.

Cuadro IX.2 Niveles de arsénico en fuentes de agua en (µg/L).

Punto	Arsénico
La Florida	106
Hotel	6897
Los Ángeles	10
Poza Cerrito	5432

Deben calcularse los valores EMEGs para arsénico correspondientes a agua y suelo, tomando en cuenta a la población infantil por ser la población de mayor riesgo, dados los niveles de contaminación encontrados.

$$EMEG = \frac{RfD \left( \frac{mg}{kg \cdot día} \right) \times PC (kg)}{TI \left( \frac{kg}{día} \right)}$$

EMEG = Valor de referencia para definir los contaminantes críticos

RfD = Se aplica el valor para exposición oral ya que en ambos casos, suelo y agua, la ingesta oral es la vía de exposición =  $3 \times 10^{-4}$  mg/kg/día (Environmental Protection Agency, 1992).

PC = Peso corporal de un niño de 10 años = 25 kg.

TI = Tasa de ingestión diaria de agua en niños= 1 L.

TI = Tasa de ingestión diaria de suelo en niños= 350 mg.



$$EMEG_{suelo} = \frac{0.0003 \left( \frac{mg}{kg} \right) \times 25(kg)}{0.00035 \left( \frac{kg}{día} \right)} = 21,4 \text{ mg/kg}$$

Todos los puntos del Cuadro IX.1 superan a la EMEG de 21,4 mg/kg. Mientras que los niveles basales se ubicaron en el rango.

$$EMEG_{agua} = \frac{0.0003 \left( \frac{mg}{kg} \right) \times 25(kg)}{1 \left( \frac{L}{día} \right)} = 7,5 \text{ } \mu\text{g/L}$$

De los valores de arsénico en agua que se muestran en el Cuadro IX.2, todos los puntos muestreados se encuentran por arriba de la EMEG de 7,5  $\mu\text{g/L}$ , excepto el pozo de Los Ángeles, el cual se encuentra dentro del rango.

## IX.4. Evaluación de la exposición en sitios contaminados

Esta etapa de la metodología tiene como objetivo reunir la información necesaria para definir el nivel de exposición a los contaminantes en la población de un sitio contaminado con residuos peligrosos.

El primer paso a seguir en esta etapa es realizar un análisis de las rutas de exposición, esto es, el camino que sigue el contaminante desde la fuente de contaminación, pasando por el punto de exposición (lugar donde la población entra en contacto con los contaminantes) y la vía de exposición (inhalación, ingesta, absorción dérmica), hasta la población receptora.

La importancia de las rutas estará determinada por los siguientes puntos

- 1.- Número de gente afectada por la ruta y características demográficas.
- 2.- Cantidad de contaminantes críticos identificados.
- 3.- Rutas que compartan la misma población receptora.

(Díaz Barriga, 1996)

La identificación de las rutas de exposición es un punto medular del método, ya que la ruta es el camino que utiliza el contaminante para llegar al hombre; por consiguiente, cualquier programa de restauración deberá centrarse en el abatimiento de las rutas más importantes. Identificando a los componentes de las rutas de exposición, pueden diseñarse barreras que impidan la exposición humana a los contaminantes críticos.

*Ejemplo de análisis de rutas de exposición. Caso: Tiradero de la Congregación Gavilán de Allende II. Municipio de Coatzacoalcos, Veracruz. Estudio realizado por Coplain Ingenieros Civiles S.A. de C.V.*

La ruta de exposición se divide en cinco puntos, los cuales se describen a continuación:

Fuente de contaminación. Para el caso del Tiradero de la Congregación, las fuentes que emiten contaminantes al ambiente son los desechos industriales, bolsas, sacos y pedacería provenientes de actividades petroleras y sus derivados.

Medio. Los medios responsables de transportar los contaminantes desde la fuente hasta el punto de exposición son: el suelo que se ha contaminado debido a la infiltración de lixiviados, el agua del lago que rodea al tiradero y el aire (polvo) que se contamina por los gases tóxicos que se desprenden por la quema de basura.

Punto de exposición. Los puntos de exposición en los que la población entra en contacto con los contaminantes son, principalmente, las tomas de agua con las que se abastece la población cercana al tiradero, las cuales se reportan de mala calidad. Otro punto de exposición son las áreas que ocupan los niños para jugar, cerca de la zona del tiradero.

Vía de exposición. Las principales vías de exposición son la inhalación, debido a la velocidad y dirección del viento, y la ingesta de agua de mala calidad.

Población receptora. La población más expuesta a los contaminantes son los niños que habitan en las áreas cercanas al tiradero, pero, en general, todas las comunidades cercanas al tiradero se pueden ver afectadas.

Con estos datos se puede definir la existencia de tres rutas: el suelo contaminado por los lixiviados, el polvo y partículas suspendidas que debido a los fuertes vientos llega a las zonas residenciales, y el agua con la que se abastecen las poblaciones cercanas al tiradero. La población de alto riesgo son los niños por las áreas de recreación que frecuentan cerca del tiradero.

Para complementar el análisis de rutas de exposición, se debe llevar a cabo un análisis de dosis–respuesta y una estimación de la exposición. El análisis de dosis–respuesta se lleva a cabo con la información de las dosis de referencia (RfD) de la EPA o las dosis de riesgo mínimo (MRL) de la ATSDR. Ambas clasificaciones de dosis implican que a estos niveles las sustancias químicas no son nocivas para la mayoría de los individuos. Una vez que se cuenta con estos datos, se debe obtener la dosis experimental en la cual no se ha observado efecto adverso para el padecimiento seleccionado, a este valor se le conoce como NOAEL; y la mínima dosis experimental en la cual ya se observan efectos adversos, se le conoce como

LOAEL. Estos valores también se pueden obtener de la EPA o de la ATSDR. Al final se cuenta con tres dosis en mg/kg/día para una misma vía de exposición.

En la estimación de la dosis de exposición se busca conocer de forma aproximada la dosis de contaminante que está siendo absorbida por el individuo expuesto. Para esto se define cuál es el grupo poblacional de mayor riesgo en el sitio, se analiza cuál es la vía de exposición crítica y se calcula la dosis total de exposición promedio y la dosis total de exposición máxima.

Al contar con los datos del análisis de dosis–respuesta y de la estimación de la exposición, se procede a realizar una caracterización del riesgo. Ésta se puede evaluar para efectos cancerígenos y para efectos no cancerígenos. En ambos casos, se calcula el riesgo individual y después se estima el riesgo poblacional.

Otro punto importante son los factores asociados al riesgo, como factores poblacionales, geográficos y climáticos, que pueden alterar la exposición al contaminante o la toxicidad de éste. Estos factores se deben tomar en cuenta al realizar la evaluación.

Al final se cuenta con tres puntos de evaluación: la caracterización del riesgo, los factores asociados al riesgo y los antecedentes bibliográficos sobre toxicidad y comportamiento de los contaminantes. Esta información genera un esquema del riesgo con datos numéricos y cualitativos, de los que se podrán elaborar las conclusiones.

La primera conclusión deberá reflejar el nivel de riesgo encontrado, ya sea de carácter urgente o un riesgo mínimo. Las conclusiones del estudio deberán estar enfocadas en la elaboración de un plan de acción donde se incluyan las autoridades gubernamentales responsables y las actividades que se llevarán a cabo tanto para la remediación del sitio contaminado como las medidas o programas que se establezcan para disminuir la exposición de la población y los riesgos a la salud.

## **X. CONCLUSIONES**

En el tema de los residuos peligrosos, se debe ir un paso adelante de la industria, ya que esta va sufriendo cambios y evolucionando de manera continua, lo cual hace que cambie la naturaleza de los residuos peligrosos que se generan, y al no contar con controles y planes de manejo, las industrias difícilmente llevan a cabo un correcto manejo integral de los residuos peligrosos y de los residuos en general, principalmente al no informar a las autoridades acerca de los residuos peligrosos que generan y no identifican, clasifican y miden la cantidad de estos, así como no precisar su origen y destino.

Es conveniente adoptar políticas estrictas ante las industrias minera y petrolera, quienes son los principales generadores de residuos peligrosos a nivel nacional, para evitar el depósito clandestino de residuos peligrosos y el incorrecto manejo de estos.

Aumentar la capacidad instalada para el manejo de residuos peligrosos en México, ya que no se cuenta con suficiente infraestructura para el adecuado control y manejo de residuos peligrosos.

En la disposición final de residuos peligrosos, optar por medidas de aprovechamiento energético, ya que es una actividad económica altamente rentable y fomenta el aprovechamiento de recursos renovables y no renovables.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Cortinas de Nava, C. (2006). *Regulación de los Residuos Peligrosos en México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Díaz Barriga, F. (1996). *Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados*. México: SEMARNAT.

Environmental Protection Agency (EPA). (1992). *Guidance for Performing Site Inspections under CERCLA, EPA540-R-92-021*. Estados Unidos.

Gutiérrez Avedoy, V. (2006). *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*. México: INE - SEMARNAT.

Gutiérrez, M. E., & Moreno Turrent, M. (1995). Los Residuos en la Minería Mexicana. En *Residuos Peligrosos en México*. Instituto Nacional de Ecología.

Instituto Nacional de Ecología. (1996). *Programa para la minimización y manejo integral de residuo peligrosos en México*. México: INE - SEMARNAT.

Izcapa Treviño, C. (2003). *Criterios Para Evaluar Sitios Contaminados Con Sustancias Potencialmente Peligrosas*. México, D.F.: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

*Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*.

Olivares, J. M. (1995). Tratamiento y disposición final de residuos en PEMEX - Refinación. En F. J. Garfias y Ayala, *Residuos peligrosos en México*. México: Instituto Nacional de Ecología.

PEMEX. (2009). *Informe de Responsabilidad Social 09*. México.

PEMEX. (2009). *Inventario de Residuos Peligrosos 2009*. México.

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Abril de 2009).

<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental>. Obtenido de Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas.

SEMARNAT. (2000). Infraestructura y servicios disponibles. En SEMARNAT, *Programa para la minimización y manejo integral de residuos industriales en México 1996 - 2000*. México: SEMARNAT.

(2002). Disposición de Residuos Peligrosos. En T. Volke Sepúlveda, & J. A. Velasco Trejo, *Tecnologías de Remediación para Suelos Contaminados*. México: INE - SEMARNAT.

Volke Sepúlveda, T., & Velasco Trejo, J. A. (2002). Industria Petroquímica. En *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. México: INE - SEMARNAT.

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

NOM-052-SEMARNAT-2005

NOM-053-SEMARNAT-1993

NOM-055-SEMARNAT-2003

NOM-057-SEMARNAT-1993

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003