



**Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores Acatlán  
Coordinación de Posgrado  
Especialidad en Sistemas de Calidad**



# **Estrategia para Remediar la Contaminación de Suelos por la Industria en México**

**Tesis para obtener el grado de  
Especialista en Sistemas de Calidad**

**Presenta:**

**Ing. Sofía Rangel Figueroa**

**Asesora: Mtra. Nelly Karina Jiménez Genchi**

**Naucalpan, Estado de México, julio de 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*"Vide ut quod ore cantas, corde credas, et quod corde credis, operibus comprobas<sup>1</sup>"*  
*Historia de la Música, Robert Stevenson, s. XI*

## **Dedicatorias y Agradecimientos**

A mi mamá, por ser el ser humano más maravilloso que he conocido y a quien debo lo que soy, con gratitud y un profundo amor.

A mi hermano Arturo quien siempre me escucha, me hace reír, me impulsa a seguir estudiando y es sin duda, un excelente ejemplo.

A mis adorados sobrinos Itza y Cui que siempre me inspiran y me alegran con sus ocurrencias, nos queda mucho por vivir...

Con cariño a mi papá y a mi hermano Ricardo que están ahí, siempre presentes, pero distantes.

Agradezco profundamente a la FES Acatlán-UNAM haberme permitido ser parte de su comunidad y al COMECYT por apoyarme con una beca.

A mis queridos maestros Roberto Fernández y Ximena Alcalá por haberme introducido a nuevos conocimientos.

Un agradecimiento especial a la maestra Nelly Karina Jiménez, quién con paciencia y esmero me ayudo a realizar este trabajo.

Finalmente, **Gracias** a todas las personas que siempre tienen palabras de aliento y de cariño para que me mantenga siempre de pie, esperando lo que venga!

---

<sup>1</sup> Fíjate que lo que digas, salga de tu corazón y que lo que salga de tu corazón, lo compruebes con tus obras.

## Contenido

	Página
<b>Introducción</b>	i
<b>Capítulo 1. Situación Problemática</b>	1
1.1 Principales causas de contaminación	1
1.2 Contaminantes más frecuentes	3
1.3 Principales fuentes de contaminación	6
1.3.1 Industria Minera	6
1.3.2 Industria Petroquímica	8
1.3.3 Industria de Agroquímicos	9
1.3.4 Estaciones de Servicio	10
1.3.5 Empresas Paraestatales	10
1.4 Tipos de contaminantes más frecuentes	10
1.5 Causas que conducen a sitios abandonados	11
1.6 Principales problemas que se presentan por la contaminación de suelos y en la remediación de sitios contaminados	11
<b>Capítulo 2. Antecedentes</b>	20
2.1 Contexto nacional	20
2.1.1 Causas	20
2.1.2 Evolución	21
2.1.3 Efectos	22
2.1.4 Factores de respuesta frente a la contaminación	23
2.1.4.1 Vulnerabilidad	23
2.1.4.2 Poder de amortiguamiento	24
2.1.4.3 Biodisponibilidad	24
2.1.4.4 Movilidad	25
2.1.4.5 Persistencia	25

2.2 Contexto Internacional	25
<b>Capítulo 3. Metodología</b>	<b>32</b>
3.1 Esquema metodológico	32
3.2 Objetivos	34
3.2.1 Objetivo general	34
3.2.2 Objetivos específicos	34
3.3 Preguntas de la investigación	35
3.4 Justificación	35
3.5 Viabilidad	37
3.6 Tipo de investigación	38
3.7 Formulación de hipótesis	39
3.8 Determinación de la muestra	39
3.9 Recolección y procesamiento de información	40
3.10 Análisis de información	40
3.11 Presentación de resultados	40
<b>Capítulo 4. Marco Teórico</b>	<b>41</b>
4.1 Herramientas de calidad	41
4.1.1 Diagrama causa efecto	41
4.1.2 Pareto	42
4.1.3 Planes de muestreo	42
4.1.4 Diagrama de árbol	44
4.1.5 Sistema de gestión de calidad	44
4.1.6 Competencias técnicas y funcionales	45
4.2 Información relevante sobre contaminación de suelo	47
4.2.1 Legislación en materia de suelos contaminados en México	47
4.2.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	48

4.2.1.2 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	49
4.2.1.3 Código Penal	50
4.2.1.4 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	51
4.2.1.5 Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas relacionadas con la remediación de sitios contaminados	55
4.2.2 Técnicas de identificación de contaminantes en el suelo	55
4.2.3 Técnicas de remediación o restauración de suelos contaminados	57
4.2.3.1 Biorremediación por biopilas	59
4.2.3.2 Extracción de vapores del suelo y/o Bioventeo	60
4.2.3.3 Estabilización en el sitio	60
4.2.3.4 Restauración y confinamiento de suelos contaminados	60
4.2.3.5 Vertido del suelo contaminado en un relleno sanitario	61
4.2.4 Influencia del tipo de suelo y las condiciones climatológicas en los problemas de contaminación	61
4.2.5 Degradación del suelo	63
<b>Capítulo 5. Análisis y evaluación de la información</b>	<b>64</b>
5.1 Aplicación de las herramientas de calidad	64
5.2 Análisis de las acciones del Gobierno en torno a la problemática de contaminación de suelos ocasionada por la industria versus las acciones que deberían tomarse para asegurar la sustentabilidad	72
5.3 Opinión de los expertos respecto a la problemática ambiental que se genera por la contaminación de suelos ocasionados por la industria	80
5.4 Recomendaciones	91

<b>Capítulo 6. Consejo Multidisciplinario</b>	93
6.1 Propuesta técnica	96
6.2 Propuesta administrativa – operativa	104
<b>Conclusiones</b>	111
<b>Bibliografía</b>	112
<b>Glosario de términos</b>	114
<b>Anexos</b>	127
1. Cuestionario a Expertos	128
2. Invitación a participar en el panel de expertos con el Método Delphi	129
3. Método Delphi	130

*"Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla  
mientras el género humano no la escucha"*  
Victor Hugo

## **Introducción**

La problemática ambiental es tan antigua como el hombre, lo que ha variado es su dimensión y escala, algunos de los factores que han contribuido son: el elevado crecimiento demográfico, la utilización de tecnologías obsoletas en la industria, la explotación intensiva de los recursos naturales y la acelerada urbanización.

La preocupación por el medio ambiente surgió en los años 60's en Europa y Norteamérica debido principalmente a la acumulación de desechos que contaminaban agua, aire y suelo.

En la década de los 70's, la reestructuración productiva de la industria se modificó debido al crecimiento petrolero. La petroquímica básica se convirtió en la actividad con mayor contribución a la contaminación, de igual manera la producción de fibras sintéticas, resinas, fertilizantes, plásticos, pinturas, pigmentos, y gases industriales que pasaron a ser las actividades más relevantes por su impacto potencial al ambiente.<sup>1</sup>

En la extracción del petróleo no se considera el bienestar del ambiente, contribuyendo a la degradación del aire, agua y suelo; en México se ha realizado poca investigación sobre este último, en comparación al aire y agua referente a estudios de contaminación, por lo que es necesario llevar a cabo estudios que permitan conocer el estado actual de los suelos cercanos a zonas industriales y urbanas, indispensables para el uso adecuado y conservación de éstos.

---

<sup>1</sup> Quadri, T. Gabriel, "Industria y Política Ambiental", El Nacional, 1994.



En los últimos años se han construido desarrollos habitacionales en terrenos que pertenecieron a la industria sin haber realizado un saneamiento del suelo, lo cual puede generar consecuencias futuras en la salud de los habitantes de esas colonias.

En la década de los 90's la presencia de contaminantes en el suelo se convirtió en un problema alarmante, las industrias en sus inicios arrojaban indiscriminadamente sus residuos peligrosos al agua y/o al suelo, debido a la ausencia de una legislación ambiental que regulara la generación y disposición de los contaminantes en el suelo, agua y aire, presentando grandes problemas de contaminación que a fines de los 90's se han ido revisando y corrigiendo, actualmente los suelos presentan altos niveles de contaminación no solo en las zonas industriales, debido a que los contaminantes se mueven en el suelo, en algunos lugares la contaminación ha llegado a los acuíferos naturales y el costo de su saneamiento es elevado, por lo que en la mayoría de los casos no se resuelven los problemas de contaminación.

Miles de toneladas de residuos se han vertido sin ningún control al suelo, subsuelo y aguas subterráneas (freáticas y acuíferos) ocasionando desequilibrio ecológico y trastornos a la flora y la fauna del lugar contaminado, así como afectación a los ciclos de vida e incluso la desaparición de algunas especies. Recientemente la contaminación se incrementó a niveles que la naturaleza por sí sola no podría remediar, por tal motivo es necesario generar estrategias que obliguen a la industria a realizar acciones preventivas y, en los casos donde ya se presenta afectación aplicar acciones correctivas para remediar los suelos afectados por agentes contaminantes.

El impacto generado por la industria sobre el ambiente se fue incrementando conforme al crecimiento de la producción. Los giros industriales que más afectan el ambiente son la petroquímica básica, la química y la industria metalúrgica, que

en total representan más de la mitad de la contaminación del suelo generada por el sector<sup>2</sup>.

La industrialización genera una gran cantidad de desechos orgánicos e inorgánicos que son incorporados al suelo, lo cual se ha demostrado<sup>3</sup> ocasiona tanto la reducción de su fertilidad como la modificación de sus procesos naturales.

En México existe actualmente una gran cantidad de sitios contaminados con diferentes tipos de compuestos, de acuerdo con datos publicados por el INEGI (2000), la superficie de suelo degradado por causas de contaminación es del 13.4 %, debido principalmente a las actividades de la industria minera y petroquímica, además de la disposición clandestina y derrames de residuos peligrosos<sup>4</sup>.

Es deseable que los suelos cumplan con sus funciones ambientales, que estén limpios y con posibilidades de ser productivos, mantener los suelos sanos permitirá tener la certeza de que los ciclos biogeoquímicos se darán de manera natural y sin riesgos para la comunidad.

La calidad del suelo es de vital importancia en el desarrollo de un país, ya que de él se obtiene gran parte de los alimentos que se consumen, cualquier contaminante que se encuentre en el suelo puede ser absorbido por los vegetales, los cuales directamente van a afectar a quien los consuma.

Las características del suelo, hacen que absorban compuestos en cualquiera de sus estados (sólido, líquido o gaseoso), por lo cual es muy fácil que los contaminantes, cualquiera que sea su naturaleza puedan difundirse con gran facilidad a lo largo y ancho del terreno afectado.

---

<sup>2</sup> INE, 2002.

<sup>3</sup> SEMARNAP/INE 1996.

<sup>4</sup> INE, 2002.

En virtud de que en 1988 se publicó la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) los trabajos de identificación y saneamiento de suelos contaminados son muy recientes, principalmente en materia de emergencias ambientales. Sin embargo los resultados aún no son del todo satisfactorios debido a las limitantes económicas.

En México, el desarrollo industrial ha generado grandes volúmenes de suelos contaminados, si se considera que antes de que hubiera legislación en este tema todas las industrias vertían sus residuos peligrosos en el drenaje o directamente en el suelo, seguramente en todas las zonas industriales hay gran variedad de contaminantes que van desde hidrocarburos, metales pesados, solventes, y en general sustancias altamente tóxicas usadas por la industria.

Los suelos contaminados implican un gran riesgo a la salud, debido a que los alimentos surgen del suelo y en algunos lugares los contaminantes han llegado a los acuíferos que abastecen comunidades enteras, por tal motivo esta investigación propone acciones que permitan por un lado frenar la contaminación del suelo y por otro sanear y controlar aquellos sitios que pueden representar un riesgo a la comunidad. El problema de la contaminación en México y el mundo es alarmante, pues la contaminación de suelos es un riesgo a la salud, debido a que el contaminante puede entrar en forma directa en contacto con fuentes de agua potable. El saneamiento de suelos contaminados es una tarea que requiere mucho tiempo y dinero, quizá por ello sigue habiendo gran cantidad de sitios contaminados, además es necesario un equipo multidisciplinario para poder atacar este problema de raíz.

Mejorar la calidad ambiental de los suelos es importante para la comunidad, ya que al desarrollarse en un ambiente más sano, tendrá menos riesgos a la salud, inherentes principalmente por la contaminación de acuíferos, adicional a que el suelo conservará sus propiedades de fertilidad para ser productivo.

En regiones donde por las características del suelo se tiene una velocidad de infiltración mayor, las probabilidades de contaminar un acuífero van en aumento, por lo tanto, es muy importante sanear los sitios contaminados donde el tipo de suelo es permeable.

La finalidad de esta investigación es proponer un Consejo Multidisciplinario para el análisis de suelos contaminados, que permita determinar la calidad de éstos en las zonas industriales, con el fin de identificar el nivel de cumplimiento respecto a las Normas Oficiales Mexicanas, con la intención de vigilar y controlar los sitios contaminados y en los casos de alto riesgo proponer las acciones necesarias para sanearlos y/o minimizar el riesgo.

Para el desarrollo del tema de la presente investigación, se abordará en el primer capítulo la Situación Problemática, describiendo como se encuentra la contaminación de suelos en México, se presentarán los datos publicados por las autoridades en materia de sitios contaminados y las poblaciones humanas que están potencialmente expuestas a una situación de riesgo a la salud debido a los efectos causados por diferentes contaminantes; los Antecedentes serán abordados en el segundo capítulo al explicar las medidas que se han tomado en México para combatir esta problemática.

En el tercer capítulo se presenta la metodología utilizada para realizar esta investigación, así como la justificación y la viabilidad que tiene este tema en el contexto nacional. El Marco teórico se expondrá en el capítulo cuatro, donde se presentará por un lado, la información referente a la legislación vigente en materia de suelos en el país, las técnicas de saneamiento más utilizadas en México y en el mundo; así como las herramientas de calidad que apoyarán la investigación a través del Análisis de la Información, que será visualizado en el capítulo cinco, en el cual se presenta un comparativo de la información recopilada, se revisan ventajas y desventajas de los mecanismos de saneamiento de suelos

contaminados, causas principales por las que no se ha atacado el problema de manera eficaz y una evaluación de las diferentes alternativas. Se desarrolla un pronóstico de que sucederá en caso de no tomar acciones preventivas y correctivas, así como recomendaciones elaboradas con información proporcionada por expertos.

En el capítulo seis se desarrolla la propuesta, resultado de esta investigación donde se presentan acciones tanto para las industrias como para las autoridades a fin de abordar este problema desde una perspectiva sistémica, a través de la creación de un Consejo Multidisciplinario que involucre a diferentes instancias que identifiquen y controlen el problema; y finalmente se presentan las Conclusiones y Recomendaciones de esta investigación.



Figura 1  
Fauna silvestre afectada por la contaminación.



Figura 2  
Áreas naturales contaminadas por hidrocarburos.



Esta investigación tiene la intención de contribuir a mejorar el medio ambiente a través de acciones concretas que ayuden a sanear, controlar y/o eliminar la contaminación del suelo, así como los riesgos a la comunidad ocasionados por la industria.

Figura 3

Personal trabajando en el saneamiento de suelo contaminado por hidrocarburos.

## Capítulo 1. Situación Problemática

Este capítulo describe la problemática en México de la contaminación de suelos ocasionada por la industria, a continuación se presentarán las principales causas que han originado la contaminación del suelo, los contaminantes más frecuentes, las fuentes de contaminación y los problemas que se presentan por esta situación así como los que se dan en la remediación de sitios contaminados.

### 1.1 Principales causas de contaminación

En la industria, la contaminación de los suelos se produce por la infiltración de sustancias químicas, ya sea a través de residuos líquidos o sólidos. Entre las principales causas de contaminación se identifican las siguientes:



Figura 1 Disposición inadecuada



Figura 2 Disposición inadecuada

- La disposición inadecuada de residuos peligrosos en terrenos baldíos, bodegas, almacenes e instalaciones industriales.
- Las fugas de materiales peligrosos de tanques y contenedores subterráneos, y/o en tuberías y ductos.
- La lixiviación de residuos peligrosos en sitios de almacenamiento y en sitios donde se desarrollan actividades de manejo de residuos peligrosos.

- Los derrames de sustancias químicas por accidentes de transporte, derrames de carros tanque y/o robo de hidrocarburos en ductos (la famosa ordeña).
- Disposición inadecuada de residuos peligrosos o sólidos contaminados en los sitios de disposición final para residuos sólidos urbanos.



Figura 3  
Contaminación de un acuífero



Figura 4  
Disposición inadecuada de residuos



Figura 5  
Contaminación en suelos industriales

En el periodo 2003 – 2006 ocurrieron en el país 742 emergencias ambientales en las cuales se derramaron materiales o residuos peligrosos que condujeron a la elaboración de una propuesta de remediación. El análisis de cuatro años muestra que los contaminantes más involucrados son, en su orden de magnitud: gasolina magna, diesel, hidrocarburos, petróleo crudo, combustóleo, gasolina premium, aceites y turbosina. Los residuos peligrosos solo tienen una participación marginal en las emergencias ambientales. Los responsables de dichas emergencias principalmente son: PEMEX (394), los transportistas de productos derivados de petróleo y residuos peligrosos (241), otras industrias (90), Ferrocarriles (17)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión



Las entidades más afectadas por las emergencias ambientales son: Veracruz, Tamaulipas, Oaxaca, Hidalgo, Puebla, Guanajuato, San Luís Potosí, Jalisco, Tabasco y Coahuila<sup>2</sup>.

En cuanto al volumen de suelo contaminado, la fuga de ductos contribuyó con el mayor porcentaje al volumen total de suelos contaminados en el periodo 2003 - 2006<sup>3</sup>, respecto al área contaminada las gasolinas generan las mayores extensiones de contaminación por accidente.

Las carreteras donde más accidentes de carros tanque ocurren son, en el orden de importancia: Carapan – Playa Azul, México – Cd. Cuauhtémoc, Tampico – Sánchez Román, México – Nogales y Pachuca – Tuxpan.<sup>4</sup>

## **1.2 Contaminantes más frecuentes**

Todos los eventos en los que se encuentran involucradas sustancias que implican algún riesgo para el ambiente o la población y que puedan generar la contaminación de suelos y cuerpos de agua, son conocidos como emergencias ambientales. De acuerdo con estadísticas de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), cada año se presentan en México un promedio de 470 emergencias ambientales asociadas con materiales y residuos peligrosos.<sup>5</sup> Dentro de los compuestos peligrosos más comúnmente involucrados en emergencias ambientales, se encuentran el petróleo y sus derivados (gasolinas, combustóleo, diesel), agroquímicos, gas LP y natural, entre otros, como se muestra en la siguiente gráfica:

---

Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Octubre de 2008, Versión para consultar por Internet, [http://siscop.ine.gob.mx/descargas/pnrsc\\_version\\_5.pdf](http://siscop.ine.gob.mx/descargas/pnrsc_version_5.pdf)

<sup>2</sup> <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/372/fuentes.html>, mayo 1° de 2010.

<sup>3</sup> *PROFEPA, Informe Trianual 1995 -1997, 1998.*

<sup>4</sup> *Ibidem*

<sup>5</sup> <http://www.profepa.gob.mx/PROFEPA/EmergenciasAmbientales/AnalisisNacionaldeEmergenciasAmbientales/> PROFEPA 2002, mayo 16 de 2010.

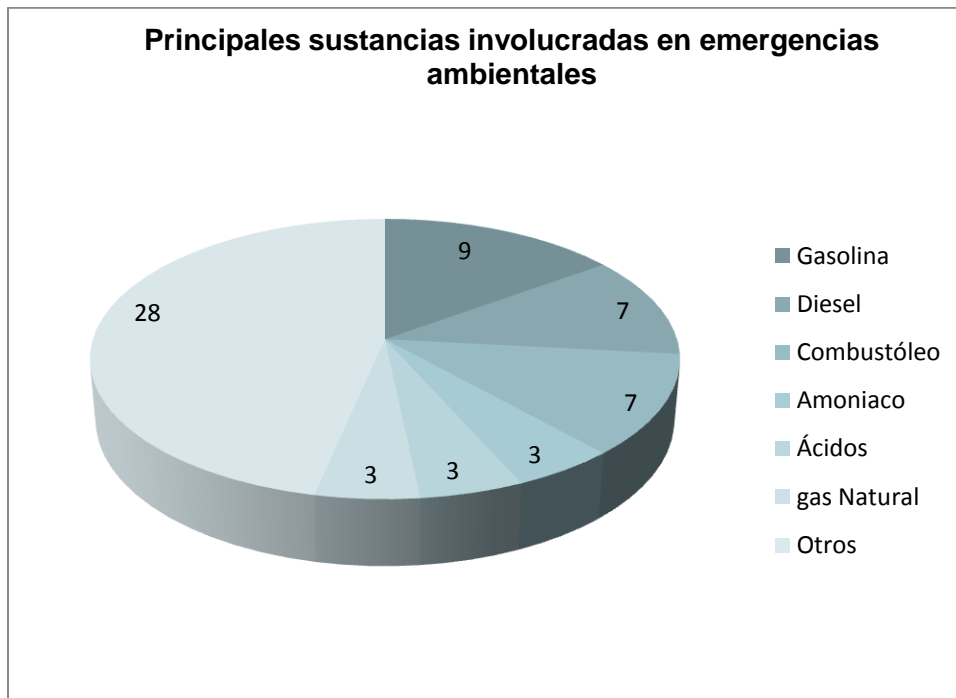


Figura 6

Fuente: Elaboración propia con información de las Principales sustancias involucradas en emergencias ambientales reportadas a la PROFEPA en 2005<sup>6</sup>

Entre los contaminantes que se consideran prioritarios en México debido a su alta toxicidad y a su persistencia en el ambiente, se encuentran los siguientes: dioxinas, furanos, hexaclorobenceno, bifenilos policlorados (BPCs), plaguicidas organoclorados, mercurio, plomo, cromo, cadmio, compuestos tóxicos atmosféricos e hidrocarburos poliaromáticos (HAPs). De éstos, compuestos como los BPCs se almacenaron en tambores que, en muchas ocasiones, han sido dispuestos clandestinamente. Por su parte, los HAPs se encuentran como componentes de los hidrocarburos totales del petróleo (HTPs).<sup>7</sup>

En todo el país existen problemas de contaminación aún no cuantificados con precisión, sin embargo, pueden mencionarse de manera cualitativa los problemas por el uso de agroquímicos, tanto fertilizantes (en especial los nitrogenados) como

<sup>6</sup> <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/372/fuentes.html>, mayo 1° de 2010.

<sup>7</sup> Ibidem

de pesticidas (fungicidas, herbicidas e insecticidas); los que son consecuencia del derrame y fugas de combustibles (petróleo y derivados), además de los ligados a actividades mineras, en sus etapas de extracción y en las de procesamiento de los materiales.

La información más reciente reporta los principales contaminantes involucrados en la contaminación de sitios a tres grupos<sup>8</sup>:

- Hidrocarburos o productos derivados del petróleo: Están presentes en sitios donde se realizaron o realizan actividades vinculadas a la producción petrolera en los que se encuentran hidrocarburos en general y sustancias orgánicas asociadas a ellos.
- Metales y metaloides como son por ejemplo Plomo, Cadmio, Mercurio, Arsénico: Se presentan donde se realizaron o realizan actividades mineras y en los cuales se generan diversos tipos de residuos como lo son jales, escorias de fundición (masivas y granulares), patios de lixiviación, polvos y cenizas (calcinas) que en algunos casos son tóxicos por sus propiedades físicas y químicas.
- Hidrocarburos halogenados: Son característicos en sitios industriales en los que se manejaron solventes y desengrasantes y otros productos halogenados como lo son Tricloroetano TCE, Diclороetano DCE o Pentaclorobenceno PCB (antiguos transformadores), Compuestos Orgánicos Persistentes (COP's), plaguicidas y BPC's.

---

<sup>8</sup> Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Octubre de 2008, Versión para consulta por internet.

### **1.3 Principales fuentes de contaminación**

En México la actividad minera y la industria de la química básica, petroquímica y de refinación del petróleo, tienen consecuencias graves, debido a que se han producido cantidades muy grandes, pero muy difíciles de cuantificar, de residuos peligrosos; adicional a esto, la intensa actividad de otras industrias, junto con accidentes durante el almacenamiento, transporte o trasvase de sustancias (fugas, derrames, incendios) y la disposición clandestina e incontrolada de residuos, contribuyen en gran medida a la contaminación de suelos. El número de sitios contaminados, aún en las estimaciones más conservadoras, asciende a varios miles de lugares cuyo riesgo potencial es desconocido. De acuerdo con datos publicados por el INEGI en 2007<sup>9</sup>, la superficie de suelo degradado por causas de contaminación fue de 10,692.6 hectáreas.

#### **1.3.1 Industria Minera**

La industria minera es una de las actividades económicas de mayor tradición en México, contribuye en gran medida con el desarrollo económico del país, suministrando insumos a una serie de industrias (construcción, metalúrgica, siderúrgica, química y electrónica). De acuerdo con información de la Dirección General de Minas, la industria minera nacional es mayoritariamente metálica, y se dedica principalmente a la producción de cobre, zinc, plata y plomo.<sup>10</sup>

Debido al desarrollo y modernización en los procesos de extracción y procesamiento de los recursos minerales, así como a la generación de grandes cantidades de residuos provenientes de sus procesos, la industria minera en México ha generado por décadas una gran cantidad de desechos y sitios contaminados a lo largo de todo el país. La producción minera en México, se

<sup>9</sup><http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/sis/sisept/default.aspx?t=mamb71&s=est&c=8517>, abril 30 de 2010.

<sup>10</sup><http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/372/fuentes.html>, mayo 10 de 2010.

concentra en doce entidades: Chihuahua, Michoacán, Zacatecas, Durango, Sonora, Coahuila, Guanajuato, San Luis Potosí, Hidalgo, Sinaloa, Colima y Jalisco. En la siguiente tabla, se resumen las etapas de los procesos mineros y su relación en cuanto al impacto al ambiental.

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 Vibración y emisión de polvo
Fundición y refinación	Obtención de metales y sus aleaciones (uso de hornos industriales) Eliminación de impurezas en los metales para aumentar la ley de contenido	Emisiones a la atmósfera, residuos peligrosos y aguas residuales

Tabla 1 Relación de la actividad minera y su impacto al ambiente.<sup>11</sup>

En general, todas las etapas que incluye un proceso minero, con excepción de la prospección, que implica estudios preliminares, generan problemas ambientales de alto impacto. Como puede verse, en todas las etapas se generan aguas residuales, residuos peligrosos y, en algunos casos, emisiones a la atmósfera. Sin

---

<sup>11</sup> <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/372/fuentes.html>, mayo Fuente: Dirección General de Minas, Subsecretaría de Minas, SEMIP, 1994, mayo 16 de 2010.

embargo, dos de las etapas que más contaminación producen son las de explotación de los minerales y la de fundición/refinación.

### **1.3.2 Industria Petroquímica**

La industria petroquímica en México se desarrolló aceleradamente, sin embargo, su expansión dio origen a graves problemas ambientales, derivados de emergencias ambientales, con repercusiones a la salud de la población y al equilibrio ecológico de los ecosistemas.<sup>12</sup> Entre las causas que contribuyeron a este deterioro ambiental por la contaminación de cuerpos de agua y suelos a lo largo de todo el país, se encuentran las siguientes:

- a) manejo inadecuado y abandono de materiales y residuos peligrosos;
- b) mantenimiento inadecuado o falta de éste en instalaciones petroleras;
- c) explosiones en instalaciones de alto riesgo;
- d) fugas en líneas de conducción;
- e) derrames de hidrocarburos

En el inventario de residuos peligrosos de PEMEX en el 2001 reportan la generación de más de 270 mil toneladas de residuos peligrosos. Aproximadamente el 86% del volumen total de estos residuos, corresponde a lodos y recortes de perforación (72 %), lodos aceitosos (8 %) y aceites gastados (6 %).

Con respecto a los derrames y fugas de hidrocarburos, PEMEX reportó que durante el año 2001 hubo un total de 8,031 toneladas de hidrocarburos (crudo, diesel y gasolina) derramados en su mayoría en tierra, en los cuatro sectores de ductos del país (PEMEX, 2001). Esta última cifra es importante, ya que de esta

---

<sup>12</sup> <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/372/fuentes.html>, Quadri, 1994; PROFEPA, 2000, mayo 1<sup>o</sup> de 2010.

manera puede estimarse la magnitud de la contaminación en los sitios cercanos a los derrames. Uno de los estados con mayor incidencia de sitios contaminados por actividades petroleras es Veracruz. De acuerdo con información de PEMEX, dos de los lugares más contaminados por hidrocarburos a nivel nacional son la refinería "Lázaro Cárdenas" y el pantano de "Santa Alejandrina", ambos ubicados en el sureste de México.

### **1.3.3 Industria de Agroquímicos**

El uso excesivo de agroquímicos, así como el inadecuado manejo y disposición de sus envases, es un problema generalizado en México. Muchos de los plaguicidas empleados en el país hasta la fecha, se han prohibido en otros países por su toxicidad. Sin embargo, el número de plaguicidas se incrementa a razón de 10% al año. Esto permite que el número de productos que entran en contacto con la población, se incremente en más de seis veces<sup>13</sup>.

Los plaguicidas son el nombre genérico que recibe cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se utiliza para controlar plagas que atacan los cultivos o insectos que son vectores de enfermedades. Según su composición química se clasifican en: insecticidas (organoclorados, organofosforados, piretroides y carbamatos), herbicidas (dinitrofenoles y triazinas) y fungicidas (fenoles y compuestos de cobre y azufre).

Todas estas sustancias son compuestos químicos tóxicos y por su aplicación en tierras de cultivo, evidentemente son compuestos que se encuentran como contaminantes de grandes extensiones de suelos en todo el país. En México aún continúan en el mercado agroquímicos organoclorados como el ácido 2,4 dicloro-

---

<sup>13</sup> Ibidem.

fenoxiacético (2,4-D), el pentaclorofenol (PCP) y dicofol, además de plaguicidas a base de carbonatos y los organofosforados como el malatión.<sup>14</sup>

#### **1.3.4 Estaciones de Servicio**

En las estaciones de servicio, los productos combustibles como gasolina, diesel, combustóleo, gasóleo, gas avión y gas LP, son producidos y distribuidos en México por PEMEX. La distribución al menudeo de gasolina y diesel, se lleva a cabo en estaciones de servicio (gasolineras). Uno de los riesgos ambientales que involucra el manejo de estas estaciones, son los derrames o fugas de combustibles, que provocan la contaminación de los sitios en donde se encuentran los tanques de almacenamiento.<sup>15</sup>

#### **1.3.5 Empresas Paraestatales**

Otra de las empresas paraestatales que contribuyó a la contaminación de aguas y suelos, es Ferrocarriles Nacionales, se caracterizó por la generación de aceites gastados. La principal razón por la que esta empresa provocó la contaminación de suelos es por el almacenamiento inadecuado de residuos y combustibles.

### **1.4 Tipos de contaminantes más frecuentes**

Los principales contaminantes involucrados en la contaminación de sitios son: donde se realizaron o realizan actividades vinculadas a la producción petrolera en los que se encuentran hidrocarburos en general y sustancias orgánicas asociadas a ellos por ejemplo productos derivados del petróleo; actividades mineras: elementos potencialmente tóxicos como son plomo, cadmio, mercurio, arsénico contenidos en los distintos tipos de residuos que generan estas actividades; entre

---

<sup>14</sup> <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/372/fuentes.html>, mayo, CICOPLAFEST, 2002, 16 de mayo de 2010.

<sup>15</sup> <http://www.cenapred.unam.mx/es/>, mayo 16 de 2010



las que se encuentran contaminantes orgánicos halogenados por ejemplo tricloroetano TCE, dicloroetano DCE (solventes y desengrasantes) o pentaclorobenceno PCB utilizados en antiguos transformadores, los llamados compuestos orgánicos persistentes, plaguicidas e hidrocarburos especiales, compuestos orgánicos clorados y los bifenilos policlorados BPC's.

### **1.5 Causas que conducen a sitios abandonados**

Las causas principales que contribuyeron a que se contaminaran y abandonaran los sitios fueron por un lado, las malas prácticas en el manejo, almacenamiento y disposición final de materiales y residuos peligrosos, y por otro, la falta de una legislación ambiental (LGEEPA 1988), y de un marco regulatorio en los siguientes temas: remediación de sitios contaminados, responsabilidad por la reparación de daños y la remediación, responsabilidades antes y durante el cierre de operaciones, control sobre las transferencias (compra-venta) de sitios contaminados, la generación y disposición de residuos peligrosos sin control ni vigilancia, el cierre de operaciones y actividades y el crecimiento desordenado de las áreas urbanas, los cuales fueron cubiertos hasta el 2003 con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

Todo esto condujo a que en el proceso de cierre de operaciones, se abandonaran sitios altamente contaminados en especial aquellos donde se encuentran presentes grandes cantidades de residuos. Con el avance de las manchas urbanas dicho sitios se convirtieron en problemas de salud pública, sociales y políticos, los cuales no han sido atendidos en su totalidad.

### **1.6 Principales problemas que se presentan por la contaminación de suelos y en la remediación de sitios contaminados**

Una problemática recurrente que se vive en algunos sitios contaminados por la industria minera son los problemas de salud pública ocasionados por altos niveles

de contaminación de metales principalmente en el agua, casos de plomo y arsénico (Pb y As) en sangre, estos metales son cancerígenos y mutagénicos, en comunidades enteras, es importante mencionar que en México se siguen construyendo colonias en predios que fueron industriales, donde seguramente hay contaminantes en el suelo y que de no tomar acciones, en un futuro no muy lejano pueden traer consecuencias en la salud de los habitantes de dichas colonias.

Entre las principales razones por las que no se lleva a cabo la remediación de sitios contaminados se encuentran:

- Se carece de un inventario/diagnóstico completo sobre los sitios contaminados (número y ubicación),
- Carencia de recursos financieros para la remediación de sitios contaminados
- Falta de interés en la recuperación urbana de sitios contaminados,
- Los problemas derivados de las relaciones de posesión de predios.

Una de las principales causas de la contaminación de suelos está ligada a las malas prácticas que se dieron en el pasado en el manejo, almacenamiento y disposición final de los residuos peligrosos y que en algunas empresas se siguen dando en la actualidad.

Disposición de residuos peligrosos. Debido al creciente volumen de residuos peligrosos generados en el país y a la baja capacidad para su manejo, frecuentemente se presenta la disposición clandestina de éstos en diversos sitios (tiraderos municipales, terrenos baldíos, patios de empresas, drenajes), ocasionando así un aumento de sitios contaminados con sustancias peligrosas de naturaleza tanto orgánica como inorgánica. Por ejemplo, en 1980 en la mina Rosicler (Nuevo Mercurio, Zacatecas), se encontraron abandonados cientos de tambores que contenían residuos peligrosos como cloruro de mercurio, mezclas

de químicos y BPC's. Se tiene información de que el contenido de varios de los tambores se derramó accidental o deliberadamente.<sup>16</sup>

A continuación se muestra una relación de sitios ilegales y/o abandonados, que se detectaron por la PROFEPA en el periodo 1995 - 1997, en donde se desecharon residuos peligrosos provenientes de diversas industrias.

<b>Estado</b>	<b>Número de sitios - 161</b>	<b>Principales residuos*</b>
Baja California	8	Aceites, metales, polvo de fundición, solventes
Baja California Sur	2	Escorias de fundición, jales
Campeche	4	Aceites, lodos de perforación
Chiapas	17	Hidrocarburos, plaguicidas, solventes
Chihuahua	13	Aceites, hidrocarburos, químicos
Coahuila	15	Aceites, hidrocarburos, jales, metales, químicos
Durango	3	Hidrocarburos, insecticidas
Estado de México	10	Aceites, escorias de fundición, químicos
Guanajuato	10	Aceites, escorias de fundición, lodos, metales, compuestos organoclorados
Hidalgo	6	Escorias de fundición, pinturas
Jalisco	7	Diesel y combustible, baterías, lodos, químicos
Nayarit	5	Hidrocarburos, jales
Nuevo León	22	Aceites, cianuros, escorias de fundición, hidrocarburos, metales
San Luis Potosí	10	Asbesto, escorias de fundición, lodos, metales, pinturas
Sinaloa	4	Agroquímicos
Tamaulipas	8	Aceites, escorias de fundición, químicos
Veracruz	8	Azufre, hidrocarburos
Zacatecas	9	Jales, metales, químicos

Tabla 2 Tipos de residuos peligrosos que se encuentran como principales contaminantes en sitios abandonados y/o ilegales en varios Estados de México<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/372/fuentes.html>, mayo, mayo 16 de 2010

<sup>17</sup> <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/372/fuentes.html>, contaminantes en los estados, mayo 2 de 2010

Desde 1988, más de 27 mil empresas han cumplido con la obligación de informar la generación de residuos peligrosos. Aunque, se desconoce el universo de empresas generadoras que no informan y desechan sus residuos clandestinamente, y se considera que el universo potencial es mayor a 100,000. De acuerdo con esta información, dentro de los residuos peligrosos encontrados con mayor frecuencia en tiraderos clandestinos se encuentran los desechos provenientes de la industria minera (jales, metales y escorias de fundición) y petroquímica (hidrocarburos y químicos), además de aceites gastados provenientes de talleres mecánicos.

En el periodo de 1995 a 1997, se detectaron 161 sitios abandonados contaminados con residuos peligrosos en 18 Estados de la República.

Hasta noviembre de 2000, se inventariaron 108 sitios contaminados en 17 entidades (Baja California, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas), quedando en curso la integración de los inventarios de los estados de Aguascalientes, Campeche, Michoacán y Tabasco. Entre los principales contaminantes se encontraron hidrocarburos, metales pesados y plaguicidas (incluyendo contaminantes orgánicos persistentes). Lo anterior no es sorprendente en un país con una actividad petrolera, minera y agrícola importante<sup>18</sup>.

La SEMARNAT también informó que en 2003 operaban en México unos 26 mil establecimientos industriales y de servicios que generaban residuos peligrosos, dentro de los cuales sobresalen las industrias química, automotriz y de servicios.

---

<sup>18</sup> SEMARNAT, Regulación de los Residuos Peligrosos en México, Primera Edición, Julio 2007.

En 2007 se reportó que la República Mexicana tenía al menos 432 sitios contaminados<sup>19</sup> con residuos peligrosos tóxicos, según se desprende de una evaluación que realizó el Instituto Federal de Acceso a la Información Pública (IFAI). Conforme datos proporcionados por SEMARNAT, solo cinco entidades, Distrito Federal, Baja California Sur, Guerrero, Quintana Roo y Tabasco, no poseen residuos peligrosos. Esta información no resulta muy convincente si se considera que en el Distrito Federal se encontraba la Refinería 18 de marzo la cual tuvo problemas de contaminación en el suelo, los cuales fueron atendidos y según reportes de PEMEX, la remediación del suelo concluyó en diciembre de 2009, también en el Distrito Federal, se pueden considerar los suelos de las zonas industriales de Vallejo, Tlalpan e Iztapalapa, donde se desconoce la calidad del suelo, de la mayoría de las industrias.

Con respecto a los estados que concentran el mayor número de sitios con ese tipo de residuos, sobresalen San Luis Potosí con 46; Estado de México 30; Aguascalientes 28; Coahuila 21 y Veracruz con 20 sitios.

Los residuos peligrosos se identifican por sus características CRETIB (corrosividad, reactividad, toxicidad, explosividad, inflamabilidad o biológico infeccioso). Por ello, un manejo inadecuado de los mismos puede ocasionar accidentes graves.

La exposición prolongada a residuos tóxicos puede causar en la población enfermedades vinculadas con el cáncer, malformaciones genéticas y daños renales y hepáticos.

Datos de la SEMARNAT señalan que los residuos peligrosos también afectan ecosistemas y recursos naturales, principalmente fuentes de agua subterránea y superficial del país.

---

<sup>19</sup> Periódico La Jornada 21 de marzo de 2007.

Un dato más reciente, en 2008 la SEMARNAT reportó que en el país existen al menos 297 sitios con suelo contaminado debido a residuos tóxicos, se trata de predios abandonados en los que operaban instalaciones industriales en las que se empleaban productos químicos de alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente, y de zonas dañadas por accidentes, principalmente derrames de hidrocarburos. Las entidades con mayor número de sitios contaminados son:

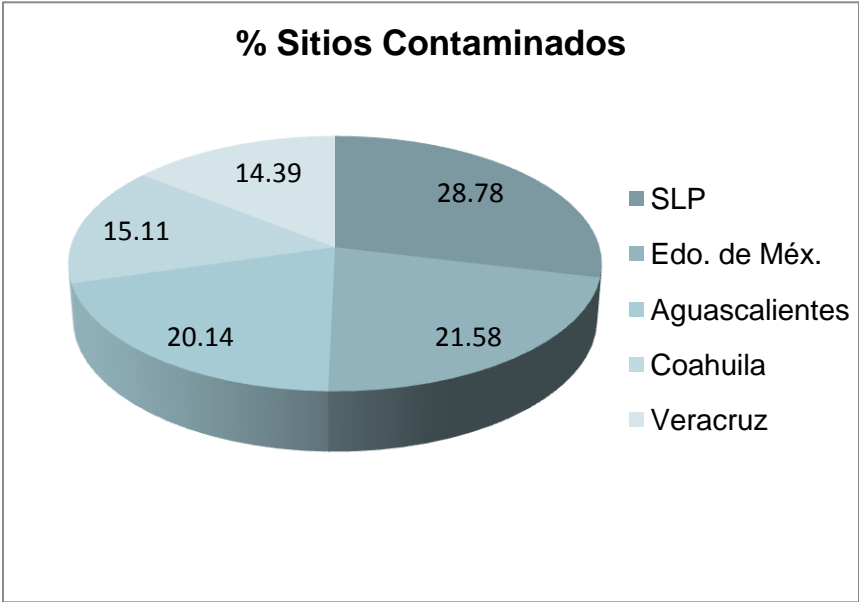


Figura 7

Fuente: Elaboración propia con información de los principales estados que concentran el mayor número de sitios contaminados<sup>20</sup>

El 36 % de los sitios contaminados del país, de acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (INE), registran altas concentraciones de metales como zinc, plomo, mercurio y cromo; el 17 % de residuos biológico-infecciosos; el 13 % de restos de procesos de fundición; el 11 % de grasas y aceites gastados, y el resto de solventes, químicos inorgánicos e hidrocarburos<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> Periódico La Jornada 21 de marzo de 2007

<sup>21</sup> Periódico Reforma, 23 abril 2008

En la siguiente gráfica se presenta la proporción de contaminantes que se encuentra en la República Mexicana.

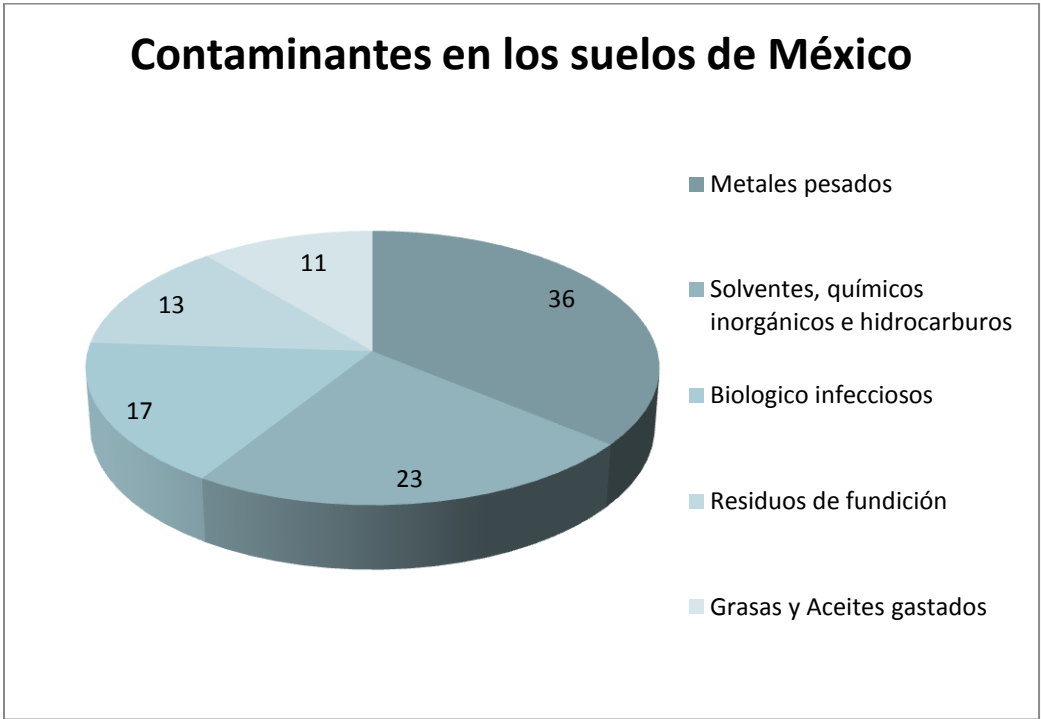


Figura 8

Fuente: Elaboración propia con información de los principales contaminantes reportados por el INE<sup>22</sup>

El mal manejo de los materiales y residuos peligrosos trae consigo la contaminación de los suelos, ya sea como resultado de eventos inesperados que provocaron su vertimiento accidental o de su liberación continua al ambiente debido a prácticas inadecuadas, reconoce el organismo en el borrador del Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos<sup>23</sup>.

Entre los sitios contaminados con residuos peligrosos se encuentran los ex confinamientos de Guadalcázar, en San Luis Potosí, y de Cytrar, en Hermosillo;

<sup>22</sup> Periódico Reforma, 23 abril 2008

<sup>23</sup> Ibidem

las plantas de Metales y Derivados, en Tijuana, y de Cromatos de México, en Tultitlán, Edo. de Méx.; la mina Nuevo Mercurio, en Zacatecas; la ex Unidad Industrial de Fertimex, en Salamanca, y la ex Refinería 18 de Marzo, en el DF.

La SEMARNAT calcula que tan sólo 184 de los sitios contaminados albergan 553 mil metros cúbicos de residuos peligrosos, un volumen equivalente al de medio Estadio Azteca.

Cada año se generan 8.4 millones de toneladas de residuos peligrosos en México y sólo existen un confinamiento autorizado para su disposición final, ubicado en Mina, Nuevo León.

Mauricio Limón, Subsecretario de Gestión para la Protección Ambiental de la SEMARNAT, reconoció que los sitios contaminados por residuos peligrosos podrían ser muchos más de los hasta ahora ubicados. Consideró que será hasta dentro de dos años que se cuente con la información completa, que servirá de base para el Programa Nacional de Remediación de Suelos Contaminados. Se tienen registrados 297 sitios contaminados con residuos peligrosos, pero se calcula que debe haber más de 3 mil.<sup>24</sup>

Hasta la fecha se ha concluido la remediación del suelo en dos sitios, en Metales y Derivados, en Tijuana, donde se invirtieron más de 12 millones de pesos, y La Pedrera, en Guadalcázar, que fungía como centro de recepción de residuos peligrosos, donde la inversión fue de 24 millones de pesos.

El Subprocurador de la PROFEPA sugiere que debería tenerse un confinamiento por estado. Un país que sabe manejar sus residuos es más competitivo. Esta afirmación, muestra el desconocimiento de la LGEEPA, al no considerar las condiciones climáticas, geográficas y del suelo para poder instalar un

---

<sup>24</sup> Ibidem



confinamiento de residuos peligrosos, de acuerdo a la LGEEPA y al Reglamento para el manejo de Residuos Peligrosos un cementerio industrial debe estar en terrenos áridos, en suelos que no sean permeables, donde no haya cerca acuíferos, retirados de áreas habitacionales, etc.

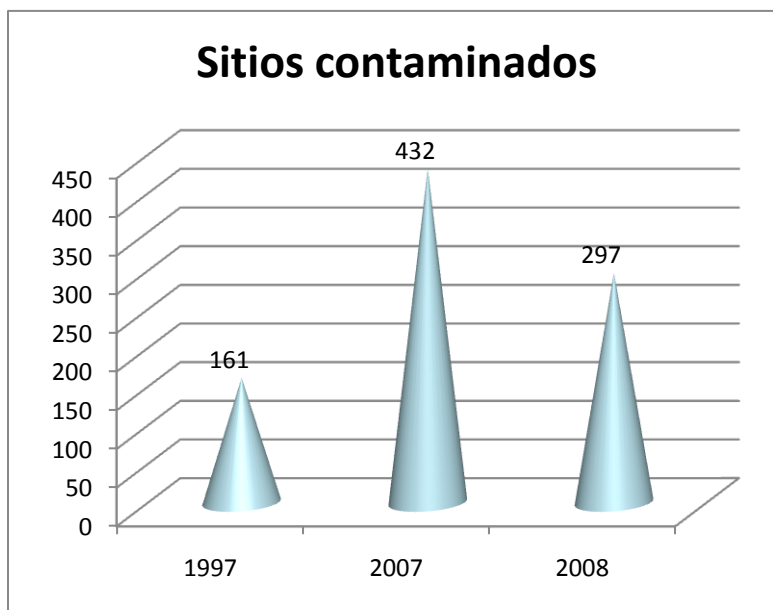


Figura 9

Fuente: Elaboración propia con información de los Sitios contaminados reportada por SEMARNAT<sup>25</sup>

Como se puede observar las fuentes de información presentan datos contradictorios, ya que en 2007 mencionan 135 casos más que en 2008 y únicamente se ha terminado el trabajo en la restauración de dos sitios, con esto, se puede concluir que la dimensión del problema de contaminación de suelos ocasionada por la industria, debida a las malas prácticas en el manejo y disposición de residuos antes de la LGEEPA es desconocida por las autoridades.

<sup>25</sup> SEMARNAT, Regulación de los Residuos Peligrosos en México, Primera Edición, Julio 2007.

*Cuando se sabe una cosa, sostener que se sabe, y cuando no se sabe, admitir que no se sabe; éste es el verdadero conocimiento.*  
Confucio

## **Capítulo 2. Antecedentes**

Con base en el planteamiento del problema de la presente investigación a continuación se resume la información relativa al tema de contaminación de suelos generado por la industria, primero se presenta el contexto nacional y posteriormente el internacional.

### **2.1 Contexto Nacional**

En México no se tiene un control adecuado de las emisiones contaminantes al suelo, adicional a que la legislación en esta materia es relativamente nueva, lo que provoca un nivel de desconocimiento en la mayoría de las industrias.

El tema de suelos contaminados se trata en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003, la cual entro en vigor el 6 de enero de 2004. Su última reforma se publicó en el DOF el 19 de junio de 2007, el Capítulo V está enfocado a este tema “Responsabilidad acerca de la contaminación y remediación de sitios”. El 30 de noviembre de 2006 se publicó el Reglamento, el cual entró en vigor el 30 de diciembre de ese mismo año.

#### **2.1.1 Causas**

La mayor parte de las industrias utilizan materiales peligrosos en sus procesos de manufactura, adicional a las grasas y aceites de las máquinas que normalmente tienen fugas, las cuales suelen infiltrarse al subsuelo provocando contaminación, que de no controlarse puede afectar severamente el ambiente, cuando la

contaminación se concentra en el suelo se tiene un **Sitio Contaminado**, al cual podemos definir como el lugar, espacio, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha sido contaminado con materiales o residuos que, por sus cantidades y características, pueden representar un riesgo para la salud humana, los organismos vivos y el aprovechamiento de los bienes o propiedades de las personas.<sup>26</sup>

### 2.1.2 Evolución

Se presentan problemas de contaminación en acuíferos causados por la contaminación de suelos. Entre las principales causas de la contaminación del suelo están los desechos peligrosos depositados en él, siendo los principales contaminantes los hidrocarburos y sus derivados. Una parte de los suelos de México son de origen volcánico y la otra son de origen calcáreo y ambos tipos son muy porosos, esto permite a los contaminantes llegar a los mantos acuíferos por el efecto de la lluvia.

Los predios contaminados se convierten en un pasivo ambiental que legalmente puede ocasionar ciertos problemas a los dueños, la LGPGIR dice en el Capítulo V Responsabilidad acerca de la contaminación y remediación de sitios, en su **Artículo 68.-** Quienes resulten responsables de la contaminación de un sitio, así como de daños a la salud como consecuencia de ésta, estarán obligados a reparar el daño causado, conforme a las disposiciones legales correspondientes; el **Artículo 69.-** Las personas responsables de actividades relacionadas con la generación y manejo de materiales y residuos peligrosos que hayan ocasionado la contaminación de sitios con éstos, están obligadas a llevar a cabo las acciones de remediación conforme a lo dispuesto en la presente Ley y demás disposiciones aplicables; el **Artículo 70.-** Los propietarios o poseedores de predios de dominio privado y los titulares de áreas concesionadas, cuyos suelos se encuentren

---

<sup>26</sup> Definición de sitio contaminado, tomado del glosario de la LGPPGIR.

contaminados, serán responsables solidarios de llevar a cabo las acciones de remediación que resulten necesarias, sin perjuicio del derecho a repetir en contra del causante de la contaminación; el **Artículo 71.-** No podrá transferirse la propiedad de sitios contaminados con residuos peligrosos, salvo autorización expresa de la SEMARNAT. Las personas que transfieran a terceros los inmuebles que hubieran sido contaminados por materiales o residuos peligrosos, en virtud de las actividades que en ellos se realizaron, deberán informar de ello a quienes les transmitan la propiedad o posesión de dichos bienes. Además de la remediación, quienes resulten responsables de la contaminación de un sitio se harán acreedores a las sanciones penales y administrativas correspondientes.

En la LGEEPA la contaminación del suelo no estaba regulada, ahora el capítulo V de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) trata sobre la Responsabilidad acerca de la contaminación y remediación de sitios, en párrafos anteriores se hace mención de algunos puntos importantes.

### 2.1.3 Efectos

El suelo contaminado erosiona la tierra y le quita sus propiedades productivas. Un suelo se puede degradar al acumularse en él sustancias a concentraciones tales que repercutan negativamente en su comportamiento. Las sustancias, a esos niveles de concentración, se vuelven tóxicas para los organismos del suelo. Se trata pues de una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo.



Figura 1  
Organismos que habitan en el suelo

Los fenómenos naturales pueden ser causas de importantes contaminaciones en el suelo. Es bien conocido el hecho de que un solo volcán activo puede aportar mayores cantidades de sustancias externas y contaminantes, como cenizas, metales pesados, iones de hidrógeno y sulfatos ( $H^+$  y  $SO_4^-$ ), que varias centrales térmicas de carbón. Pero las causas más frecuentes de contaminación son debidas a la actuación antrópica, que al desarrollarse sin la necesaria planificación producen un cambio negativo en las propiedades del suelo.



Figura 2  
Evolución del suelo a causa de la  
contaminación

En los estudios de contaminación, no basta con detectar la presencia de contaminantes sino que es necesario definir los máximos niveles admisibles y además se deben analizar los posibles factores que puedan influir en la respuesta del suelo a los agentes contaminantes.

## 2.1.4 Factores de respuesta frente a la contaminación

### 2.1.4.1 Vulnerabilidad

Representa el grado de sensibilidad del suelo frente a la agresión de los agentes contaminantes. Este concepto está relacionado con la capacidad de amortiguación. A mayor capacidad de amortiguación, menor vulnerabilidad.

El grado de vulnerabilidad de un suelo frente a la contaminación depende de la intensidad de afectación, del tiempo que debe transcurrir para que los efectos indeseables se manifiesten en las propiedades físicas y químicas de un suelo y de

la velocidad con que se producen los cambios secuenciales en las propiedades de los suelos en respuesta al impacto de los contaminantes.

#### **2.1.4.2 Poder de amortiguación**

El conjunto de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo lo hacen un sistema clave, especialmente importante en los ciclos biogeoquímicos superficiales, en los que actúa como un reactor complejo, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc.

Por todo ello, el suelo actúa en calidad de barrera protectora de otros medios más sensibles, como los hidrológicos y los biológicos. La mayoría de los suelos presentan una elevada capacidad de depuración.

Un suelo contaminado es aquél que supera su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias, y en consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera, y los organismos. Al mismo tiempo, se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas.

#### **2.1.4.3 Biodisponibilidad**

Se entiende la asimilación del contaminante por los organismos, y en consecuencia la posibilidad de causar algún efecto, negativo o positivo.

#### **2.1.4.4 Movilidad**

Es la capacidad del contaminante de extenderse en el suelo y hacia otros sistemas con él relacionados.

#### **2.1.4.5 Persistencia**

Es la capacidad para permanecer en el suelo sin ser neutralizado o degradado, pequeñas acciones duraderas pueden conseguir mayores efectos que grandes daños esporádicos.

La mayoría de los procesos de pérdida y degradación del suelo son originados por la falta de planificación y el descuido de los seres humanos. Las causas más comunes de dichos procesos son: la erosión corresponde al arrastre de las partículas y las formas de vida que conforman el suelo por medio del agua (erosión hídrica) y el aire (erosión eólica). Una parte se produce por la intervención humana debido a las malas técnicas de riego (inundación, riego en pendiente) y la extracción descuidada y a destajo de la cubierta vegetal (sobrepastoreo, tala indiscriminada y quema de la vegetación).

Cuando en el suelo se deposita de forma voluntaria o accidental diversos productos como papel, vidrio, plástico, materia orgánica, materia fecal, solventes, plaguicidas, residuos peligrosos o sustancias radioactivas, etc., se afecta de manera directa las características físicas, químicas y biológicas, desencadenando con ello innumerables efectos sobre los seres vivos.

## **2.2 Contexto Internacional**

En la sociedad actual, grandes cantidades de productos químicos son diariamente producidos, almacenados, transportados y comercializados. En muchos países, el

manejo de estos químicos es regulado por leyes y reglamentos diseñados para minimizar el riesgo de daños al ser humano, al ambiente y la propiedad. No obstante, tales regulaciones no garantizan que no ocurrirán emergencias ambientales asociadas con sustancias químicas.

Prueba de lo anterior, es la lista de emergencias ambientales más relevantes ocurridas a nivel mundial que a continuación se indican (Tabla 1). Dicha lista no constituye un inventario extensivo de todos los accidentes que han ocurrido, únicamente incluye aquellos que por su magnitud, provocaron severos daños a la población, al ambiente y/o pérdidas económicas significativas. Asimismo, considera los eventos que, de algún modo, tuvieron impacto internacional en cuanto a las regulaciones para su prevención y control.

Como se puede observar, en México ocurrieron algunas de las emergencias ambientales, por lo que resulta particularmente importante para nuestro país continuar fortaleciendo la cultura de la prevención.

Tabla 1 Emergencias Químicas de Mayor Relevancia a Nivel Mundial

Tipo de Emergencia	Fecha	Localización	Sustancia involucrada	Número de			Pérdidas materiales
				Muertos	Heridos	Evacuados	
Explosión/fuego	16/ 04/1947	Ciudad de Texas, EUA	Nitrato de amonio	561	~3 000		
BLEVE	04/ 01/1966	Feyzin, Francia	Gas LP	18	90		87 000 000
Explosión de nube de vapor	01/06/1974	Flixborough, UK	Ciclohexano	28	104	3 000	635 900 000



Tipo de Emergencia	Fecha	Localización	Sustancia involucrada	Número de			Pérdidas materiales
				Muertos	Heridos	Evacuados	
Explosión en planta	01/01/1975	Baton Rouge, EUA	Cloro	10 000			
Explosión de nube de vapor	07/11/1975	Beek, Holanda	Propileno	14	107		114 000 000
Explosión de reactor químico	10/07/1976	Seveso, Italia	Dioxina (TCDD)		193	226 000	
Fuga	1977	Cartagena, Colombia	Amoníaco	30	25		
Derrame e Incendio	03/06/1979	Pozo Iztoç 1, Sonda de Campeche, México	Petróleo				
Transporte Ferroviario	04/08/1981	Estación Montaña, SLP, México	Cloro	28	1 000	5 000	
BOILOVER	19/12/1982	Tacoa, Venezuela	Combustible	150	>500	40 000	74 500 000
BLEVE	19/11/1984	St. J. Ixhuatepec, México	Gas LP	>500	>4 300	>200 000	31 300 000
Fuga	03/12/1984	Bhopal, India	Metil isocianato	2 800	50 000	200 000	
Explosión de un reactor	26/04/1986	Chernobyl, Ucrania	Material nuclear	31	299	135 000	
Explosión/ fuego	06/07/1988	Piper Alfa, mar del norte	Petróleo/ gas	167			1 860 000 000 8 850 000 000*
Derrame	03/1989	Exxon Valdez, Prince William Sound, Alaska, EUA	Petróleo crudo				4 000 millones 2.1 billones (a)

(a) Cabe señalar que los 4 000 millones de dólares son solamente de multa, y los 2.1 billones son por concepto de los trabajos de des-contaminación de las áreas afectadas

Tipo de Emergencia	Fecha	Localización	Sustancia involucrada	Número de			Pérdidas materiales
				Muertos	Heridos	Evacuados	
Explosión	23/10/1989	Pasadena Texas, EUA	Isobutano	23	~103		>623 500 000 1 770 000 000 *
Explosión en el drenaje de la ciudad	22/04/1992	Guadalajara, México	Gasolina	>206	>1 500	500	
Derrame	19/11/2002	Barco Prestige, Costas de Galicia, España	Petróleo crudo				

Tabla 1

Fuente: Emergencias Químicas de Mayor Relevancia a Nivel Mundial, UNEP, APPEL<sup>27</sup>.

Las pérdidas materiales o financieras están dadas en dólares americanos e indican pérdidas por daños directos.

En la tabla anterior se presentan emergencias ambientales de 1947 a 2002, sin embargo es importante considerar desde cuando se tienen lineamientos legales en materia ambiental en otros países, por ejemplo en Alemania se publicó la Ley para Promover la Gestión de los Residuos como ciclo cerrado de las sustancias y asegurar la disposición de los residuos ambientalmente compatibles, también denominada Ley para Evitar, Recuperar y Disponer de los Residuos, fue publicada el 27 de septiembre de 1994. El objetivo de esta Ley, es: promover el manejo de los residuos como un ciclo cerrado de las sustancias que los conforman a fin de conservar los recursos naturales y asegurar la disposición ambientalmente adecuada de los residuos. Tras su publicación, se han producido reformas a algunas de sus disposiciones que han quedado plasmadas también en las

<sup>27</sup> UNEP. APPEL . Disasters Data Base. 2003. Tomado de: OECD, MHIDAS, TNO, SEI, UBA-Handbuch Stoerfaelle, SIGMA, Reportes de prensa, UNEP, BARPI, [http://www.The European Centre for Disaster Medicine \(CEMEC\).2003. Chemical Accidents of the 20th Century, mayo 15 de 2010](http://www.The European Centre for Disaster Medicine (CEMEC).2003. Chemical Accidents of the 20th Century, mayo 15 de 2010).

reformas de otras legislaciones, como: la Ley de Conservación del Suelo publicada el 17 de marzo de 1998<sup>28</sup>.

Lo anterior, llevó a países como Francia, Bélgica, y Alemania, a introducir el enfoque de Responsabilidad Compartida como una alternativa al esquema de responsabilidad extendida del productor.

En EUA, los residuos peligrosos junto con los residuos sólidos municipales son legislados a nivel federal por la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA por sus siglas en inglés), a partir de 1976, al encontrarse que la ausencia de involucramiento federal y las prácticas pasadas de disposición de los residuos de toda índole habían tenido consecuencias graves desde la perspectiva ambiental, creando sitios con altos niveles de contaminación en suelos y cuerpos de agua subterráneos y superficiales. El enfoque de RCRA es eminentemente preventivo, el propio nombre de la Ley señala que su intención es conservar y recuperar los recursos, a partir de prevenir riesgos a la salud y al ambiente.<sup>29</sup>

La interrelación que existe entre las políticas nacionales de algunos países y las directrices o lineamientos establecidos por organismos multilaterales de los que forman parte; tal es el caso de Alemania, que al mismo tiempo forma parte de la Unión Europea y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), y de los Estados Unidos de América (EUA), que es miembro de esta última organización, como lo es México,<sup>30</sup> favorece a la creación de una legislación encaminada a prevenir y controlar las emisiones contaminantes al suelo.

---

<sup>28</sup> Cortinas de Nava Cristina, "Hacia un México sin basura", Bases e implicaciones de las legislaciones sobre residuos, Primera edición 2001, pág. Web [www.cristinacortinas.com](http://www.cristinacortinas.com), 2 octubre de 2010.

<sup>29</sup> Ibidem

<sup>30</sup> Ibidem

Como puede observarse la problemática en el mundo es similar a la de México, ya que tampoco tenían requerimientos legales que cumplir, aunque se ha avanzado con la implantación de estrategias orientadas a resolver el problema de contaminación de suelos.

A continuación se presenta un ejemplo sobre cómo un desastre ambiental puede afectar irreversiblemente a una comunidad.



Figura 3  
Liberación de gases letales en la planta de Unión Carbide



Figura 4  
Victimas de la liberación de gases letales en Bhopal India

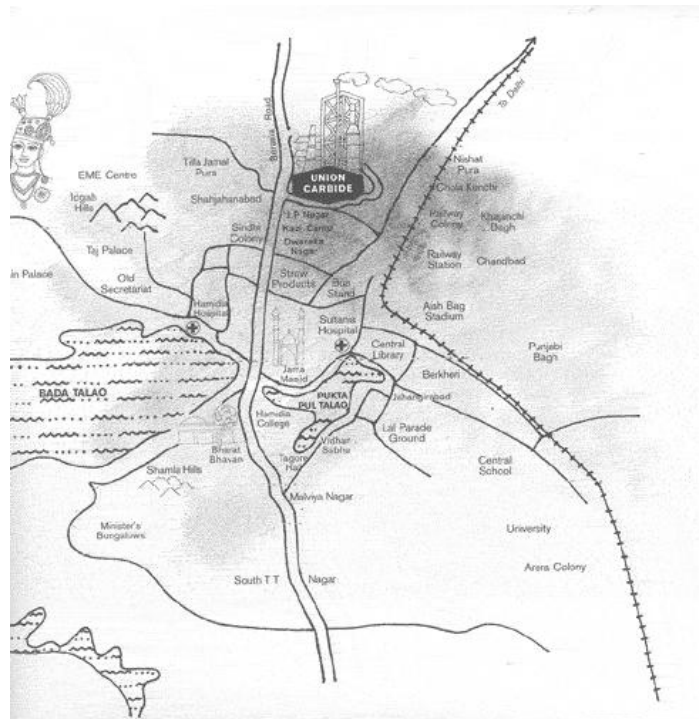


Figura 5  
Nube tóxica en Bhopal India, después de la liberación de 40 toneladas de gases letales

Estas imágenes muestran la catástrofe de la fábrica de pesticidas de Unión Carbide en Bhopal India, la noche del 2 al 3 de diciembre de 1984. Se liberaron 40 toneladas de gases letales, 8 000 personas murieron en el acto, otras 15 000 han muerto durante estos 25 años como consecuencia de las enfermedades que produjo el escape, aunado a los contaminantes que se depositaron en el suelo y que provocaron la continuidad del problema.

Otro ejemplo reciente es el derrame de la British Petroleum (BP)<sup>31</sup> en el Golfo de México ocurrido el 22 de abril de 2010. Al principio se dijo que el vertido era de 5 mil barriles diarios de crudo<sup>32</sup>, después de que el vertido podría ser de hasta 100 mil barriles por día.



Figura 6



Figura 7



Figura 8

Imágenes del accidente que provocó el derrame de la British Petroleum en el Golfo de México

Una cantidad considerable de petróleo está asfixiando al Golfo. Se estima que la marea negra ya mide alrededor de 500 mil hectáreas y que los daños son incalculables: tortugas, aves, delfines, plancton, atunes, entre muchas otras especies están siendo severamente afectadas, esto sin contar que ya se encuentra en costas de varios estados de Estados Unidos, incluido Florida.



Figura 9

Fauna silvestre afectada por la contaminación.

<sup>31</sup> <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Noticias/2010/Junio/Dos-meses-y-sigue-el-desastre/>, junio 30 de 2010.

<sup>32</sup> [www.greenpeace.org/México/](http://www.greenpeace.org/México/)

*"Somos lo que hacemos, la excelencia,  
por lo tanto, no es un acto sino una costumbre"  
Aristóteles*

### **Capítulo 3. Metodología**

Dada la complejidad de la problemática del tema de Contaminación de Suelos en las zonas industriales, el papel de la metodología es el de preparar las diferentes etapas de la investigación para integrar la propuesta de diseñar un Consejo Multidisciplinario que pueda ayudar a conocer la calidad de los suelos en las zonas industriales, con el objeto de tener el nivel de cumplimiento respecto a las Normas Oficiales Mexicanas, para vigilar y controlar los sitios contaminados y en los casos de alto riesgo proponer las acciones a seguir para eliminarlos y/o controlarlos.

#### **3.1 Esquema Metodológico**

El esquema metodológico empleado en esta investigación es la planeación comprensiva,<sup>33</sup> se caracteriza porque el cambio es visto como un proceso para ganar conocimiento, contempla las siguientes etapas:

- a) El análisis de la situación para definir los problemas por atender;
- b) La formulación de los objetivos del plan;
- c) La identificación de las alternativas de cambio;
- d) El análisis de las ventajas y desventajas de cada opción para definir la más conveniente;
- e) El desarrollo de la alternativa seleccionada para su implantación y posterior control.

---

<sup>33</sup> Arturo Fuentes Zenón. Enfoque de Planeación, un sistema de metodologías, octubre 2001

Dado que el tema de estudio es la Contaminación de suelos en la industria, se tiene el siguiente planteamiento: el proyecto propone la creación de un Consejo Multidisciplinario para identificar suelos contaminados en las zonas industriales, valorar el riesgo y en caso necesario restaurar los suelos, en aquellos sitios donde la concentración de los contaminantes y el tipo de suelo puedan representar un riesgo a la salud y/o a la comunidad, aunado a corregir fallas en la industria provocadas principalmente por un mantenimiento deficiente de las máquinas y equipos utilizados, se pretende mejorar la calidad ambiental de los suelos, por lo cual esta investigación se realizará a través del planteamiento de un problema de tipo operacional<sup>34</sup>.

El Consejo Multidisciplinario tendrá como tarea fundamental buscar las causas raíz que originan el problema y analizarlas a fin de proponer posibles soluciones y/o acciones de mejora que permitan tener por un lado, un ambiente más sano, a partir de la no afectación al suelo y por otro un mejor aprovechamiento de recursos en la industria.

En esta investigación se utilizarán primeramente los métodos causales<sup>35</sup>, aplicando herramientas de calidad que permitan identificar las causas que originan el problema, para posteriormente identificar alternativas de solución, a partir de los resultados que se obtengan se emplearán también métodos funcionales, los cuales consisten en la representación gráfica de los procesos involucrados en la solución del problema y procesos de mejora.

---

<sup>34</sup> Ibidem

<sup>35</sup> Ibidem

## **3.2 Objetivos**

### **3.2.1 Objetivo General**

Diseñar un Consejo Multidisciplinario para la identificación y análisis de suelos contaminados en la industria, valorar el riesgo y en caso necesario restaurar los suelos donde por la concentración de los contaminantes y el tipo de suelo puedan representar un riesgo a la salud y/o a la comunidad, tomando como referencia las Normas Oficiales Mexicanas en materia de suelos.

### **3.2.2 Objetivos Específicos**

1. Describir las principales causas que han originado la contaminación del suelo ocasionada por la industria.
2. Identificar los principales contaminantes en el suelo que pueden provocar riesgos a la salud de las personas y/o a la comunidad.
3. Describir la normatividad existente en la materia, así como los principales elementos a considerar para evitar que un suelo contaminado se convierta en un riesgo potencial.
4. Clasificar la legislación en materia de suelos contaminados, así como las técnicas de remediación más utilizadas.
5. Analizar la información recopilada y compararla con las opiniones de los expertos para concluir hacia dónde dirigir la propuesta de investigación.
6. Evaluar el organismo multidisciplinario para identificar y sanear, en caso de haber riesgos, suelos contaminados por la industria utilizando el ciclo de Deming.



### **3.3 Preguntas de la investigación**

- a) ¿Cuáles son los materiales peligrosos más utilizados en la industria?
- b) ¿Cuáles son las principales causas que han propiciado la contaminación de suelos en la industria?
- c) ¿Qué legislación ambiental sobre contaminación de suelos es aplicable a las industrias en México?
- d) ¿Cuáles son las similitudes y diferencias de la contaminación de suelos a causa de la industria que se presentan en México y otras partes del mundo?
- e) ¿Cuáles son las cifras estadísticas que hay en México respecto a contaminación de suelos a causa de la industria?
- f) ¿Cuáles son los tipos de afectación que se presentan en el suelo a causa de la industria?
- g) ¿Qué tipo de tratamientos se aplican a los suelos contaminados por la industria en México y otras partes del mundo?
- h) ¿Cuáles son las tecnologías usadas en la restauración de suelos contaminados por la industria?
- i) ¿Cuáles son los principales problemas de contaminación que se presentan en la industria?

### **3.4 Justificación**

El problema de la contaminación en México y el mundo se ha convertido en algo relevante, pues la contaminación de suelos es un riesgo a la salud, debido a que el contaminante puede entrar en forma directa en contacto con fuentes de agua potable. El saneamiento de suelos contaminados es una tarea que consume no solo mucho tiempo, sino recursos humanos, financieros y materiales, motivo por el cual existen gran cantidad de sitios contaminados reportados por las autoridades como emergencias ambientales, sin embargo, en las zonas industriales se

desconoce el estado en el que se encuentran los suelos, después de haber tenido por años un mal manejo, almacenamiento y disposición final de los residuos peligrosos, es por ello que se requiere integrar un Consejo Multidisciplinario, capaz de identificar los sitios potencialmente contaminados, evaluar el riesgo y en caso necesario realizar un proceso de restauración de los suelos contaminados, éste ayudará a atacar este problema de contaminación de suelos de raíz.

Mejorar la calidad ambiental de los suelos es importante para la comunidad, ya que al desarrollarse en un ambiente más sano, tendrá menos riesgos o efectos a la salud, inherentes principalmente por la contaminación de acuíferos, adicional a que el suelo conservará sus propiedades (fértil) para ser productivo, sin atentar contra la salud.

En regiones donde las características del suelo tienen una velocidad de infiltración mayor las probabilidades de contaminar un acuífero van en aumento, por lo cual es muy importante sanear los sitios contaminados principalmente donde el tipo de suelo es permeable.

La intención de la herramienta de diagnóstico es recopilar información precisa y relevante de los procesos productivos y los materiales peligrosos que se utilizan para identificar posibles áreas de suelo afectadas por algún contaminante, para posteriormente realizar un muestreo de suelo y evaluar los niveles de contaminación, en caso de exceder los límites permisibles en las NOM's, (NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos y NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio) realizar un estudio más completo considerando: tipo de suelo, la velocidad de penetración del contaminante, así como un estimado de los volúmenes de suelo afectado.

De ahí la importancia de contar con una herramienta de diagnóstico que facilite a la industria identificar las posibles áreas contaminadas, para posteriormente realizar análisis confirmatorios y en caso de existir niveles de contaminación por encima de los límites permisibles, contratar a un experto para que valore el área afectada y proceda a su tratamiento, el diagnóstico preliminar servirá de base para un estudio con mayor confiabilidad y especificidad que permita confirmar si existe o no contaminación en el suelo.

Crear un Consejo Multidisciplinario para el análisis de suelos contaminados ayudará al país por un lado a identificar y cuantificar los problemas existentes de contaminación de suelos y por otro a realizar una priorización de los sitios contaminados con mayor riesgo a la salud y a la comunidad para empezar con el saneamiento.

### **3.5 Viabilidad**

Existen diferentes tecnologías para restaurar suelos contaminados, unas más efectivas que otras, algunas muy costosas y tardadas, la idea de la herramienta de diagnóstico es con la finalidad de identificar áreas posiblemente afectadas, para posteriormente hacer un muestreo; conocer la calidad de suelos que tienen las zonas industriales, respecto a la normatividad vigente, que se describe en el capítulo 4, ayudará a priorizar el tratamiento de aquellos que presenten un nivel de riesgo a la salud y/o comunidad, lo cual permitirá al país alcanzar el desarrollo sustentable. De acuerdo con la definición de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas<sup>36</sup>, se define sustentable, como: “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”, por lo tanto esta investigación sugiere crear un Consejo Multidisciplinario para el análisis de suelos contaminados que permita tener una actividad para prevenir y mejorar la

---

<sup>36</sup> [http://www.cinu.org.mx/temas/des\\_sost.htm](http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost.htm), mayo 12 de 2010.

calidad ambiental del suelo, a fin de no afectar a futuras generaciones por las consecuencias que ésta puede generar; los recursos para la operación de éste organismo se revisarán en la propuesta.

Este Consejo Multidisciplinario al estar integrado por las autoridades competentes en el área ambiental trabajará de forma holística.

### **3.6 Tipo de investigación**

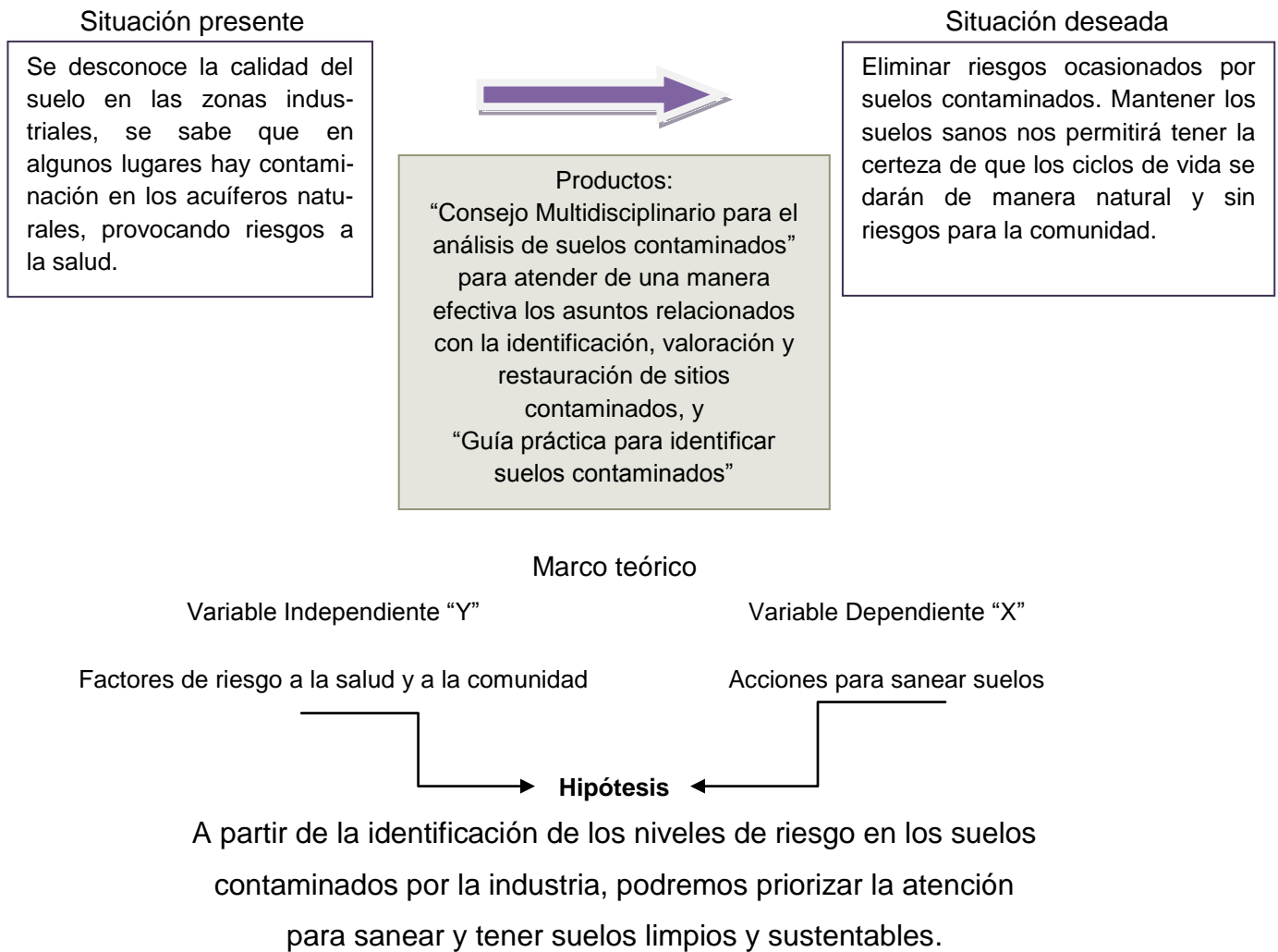
Se utilizó la investigación descriptiva, orientada a describir situaciones y eventos, es decir, ¿cómo es?, ¿cómo se manifiesta determinado problema de investigación?, comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos.

La investigación descriptiva<sup>37</sup> trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta.

---

<sup>37</sup>Arturo Fuentes Zenón. Enfoque de Planeación, un sistema de metodologías, octubre 2001

### 3.7 Formulación de Hipótesis y variables



### 3.8 Determinación de la Muestra

En esta parte de la investigación, se llevo a cabo el método Delphi, el cual consiste en seleccionar a un grupo de expertos para que opinen respecto al tema de estudio. El panel se integró con 14 expertos de las siguientes instituciones UNAM, UAM, SEMARNAT, CIA<sup>38</sup> y dos empresas dedicadas a la restauración de suelos contaminados: Genermasa y Germen, todos ellos con

<sup>38</sup> Colegio de Ingenieros Ambientales

una amplia experiencia teórico - práctica en materia de suelos contaminados en México.

### **3.9 Recolección y procesamiento de la información**

En esta fase de la investigación se recopiló la mayor información bibliográfica procedente de las instituciones responsables de dar seguimiento al problema de contaminación de suelos en México, como es la SEMARNAT, PROFEPA, CONAGUA, INE y se analizó que se está haciendo por parte de las dependencias gubernamentales.

### **3.10 Análisis de la Información**

Con toda la información recopilada en la investigación se realizó un análisis completo de todos los datos, utilizando las herramientas de calidad descritas en el capítulo 4 para asegurar la confiabilidad del análisis.

### **3.11 Presentación de los resultados**

Los resultados se presentan en diagramas, gráficos y esquemas que permitan su mejor comprensión y entendimiento, a fin de que sean la herramienta principal para definir las conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

*"Las oportunidades son como la salida del sol.  
Si esperas demasiado las perderás"  
George Lukas*

## **Capítulo 4 Marco teórico**

Este capítulo presenta la información en dos vertientes, la primera muestra las herramientas de calidad que serán utilizadas en esta investigación y la segunda, presenta información relevante del tema de contaminación de suelos, que va desde la legislación ambiental en México, hasta las técnicas de remediación de suelos contaminados, pasando por los tipos de suelo y su influencia ante un problema de contaminación.

### **4.1 Herramientas de Calidad**

En esta sección se presenta una descripción de las herramientas de calidad que serán utilizadas en esta investigación y que se podrán ver aplicadas en el capítulo 5. Es importante resaltar que el problema de contaminación de suelo, será abordado con un enfoque de procesos y éstos están constituidos por personas, equipos y procedimientos de trabajo.

El saneamiento de suelos contaminados será el resultado de un proceso de calidad que dependerá de las variables y factores que intervienen.

#### **4.1.1 Diagrama causa efecto<sup>39</sup>**

El Diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto, es una herramienta para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como es la calidad de los procesos, los productos y servicios.

---

<sup>39</sup> Michael Brassard & Diane Ritter, El impulsor de la memoria™ II, primera edición, Goal/QPC, 1994.

Fue concebido por Kaoru Ishikawa. Se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también: diagrama de espina de pescado.

La variabilidad de las características de calidad es un efecto observado que tiene múltiples causas. Cuando ocurre algún problema con la calidad del producto, se debe investigar para identificar las causas del mismo.

#### **4.1.2 Pareto**

El principio de Pareto<sup>40</sup>, también conocido como la regla del 80-20 y recibe este nombre en honor a Vilfredo Pareto.

El principio dice que el 20 % de una acción producirá el 80 % de los efectos, mientras que el 80 % restante sólo origina el 20 % de los efectos.

En control de calidad el 80% de los defectos radican en el 20% de los procesos.

#### **4.1.3 Planes de Muestreo**

En estadística se conoce como muestreo a la técnica utilizada para seleccionar una muestra a partir de una población o universo, dicho de otra forma una muestra es un subconjunto de una población<sup>41</sup>.

Al elegir una muestra se espera conseguir que sus propiedades sean extrapolables a la población o universo. Este proceso permite ahorrar recursos, y a la vez obtener resultados parecidos a los que se alcanzarían si se realizase un

---

<sup>40</sup> Ibidem

<sup>41</sup> Ronald E. Walpole et al, Probabilidad & Estadística para ingeniería y ciencias, Pearson Prentice Hall, Octava Edición, México, 2007



estudio de toda la población, para que el muestreo sea válido y se pueda realizar un estudio adecuado debe cumplir ciertos requisitos.

La técnica de muestreo se usa ante la imposibilidad de efectuar un examen a la totalidad de la población. La muestra se puede seleccionar por:

- Métodos estadísticos
- Juicio del experto

Es estadístico cuando se utilizan los métodos ya conocidos en estadística para la selección de muestras, por ejemplo:

- a) Aleatoria, cuando todos los datos tienen la misma oportunidad de ser escogidos o seleccionados.
- b) Sistemática, se escoge al azar un número y luego se designa un intervalo para los siguientes números.
- c) Selección por celdas, elaborar una tabla de distribución estadística y luego se selecciona una de las celdas.
- d) Al Azar, es el muestreo basado en el juicio o la apreciación. Viene a ser un poco subjetivo.
- e) Selección por bloques, seleccionar las transacciones similares que ocurren dentro de un período dado.

El muestreo se aplicará a las áreas de suelo donde se tenga la sospecha de que puede haber alguno de los contaminantes legislados (hidrocarburos y metales pesados), muchos de los expertos en saneamiento de suelos, utilizan el método de muestro basado en el juicio del experto.

#### **4.1.4 Diagrama de árbol**

El diagrama de árbol<sup>42</sup> es una forma de resolver problemas en los que se requiere tomar decisiones para poder determinar qué alternativas son las más viables; es bueno usarlo para descomponer cualquier meta general, gráficamente, en niveles de acciones detalladas que deben o pueden realizarse para alcanzar las metas establecidas.

Esta herramienta ayuda a mantener a todos los involucrados orientados en la tarea, es empleada para ordenar de forma gráfica y estructurada las distintas acciones que se deben llevar a cabo para alcanzar una meta o resolver un problema. El diagrama de árbol<sup>43</sup> va de lo general a lo específico, es decir, parte de un problema general (el “tronco”) y continua con niveles subsecuentes o causas (las “ramas”). Las causas se convierten a su vez en problemas a los cuales se le deben asociar causas y así sucesivamente hasta llegar al máximo nivel de detalle posible o causas primarias. La acción para resolver cada causa representa los medios para alcanzar la meta general, que es la solución del problema.

#### **4.1.5 Sistema de Gestión de Calidad**

El propósito de integrar este punto en la propuesta es describir el sistema de Gestión de calidad y su estructura de acuerdo a los requerimientos de ISO 9001:2008, para asegurar que los clientes (población en general) reciban consistentemente productos y servicios (suelos limpios) de calidad; enfocando los resultados a la mejora continua.

---

<sup>42</sup> Michael Brassard & Diane Ritter, El impulsor de la memoria™ II, primera edición, Goal/QPC, 1994.

<sup>43</sup>Ibidem

El sistema de gestión de calidad está basado en un enfoque de procesos en el cual se han definido e identificado la secuencia y sus interacciones entre los mismos, obteniendo las siguientes ventajas:

- Entendimiento y cumplimiento de los requisitos.
- El valor agregado que nos ofrecen los procesos.
- El resultado del desempeño de los procesos y su efectividad.
- Mejoramiento continuo de los procesos y la medición del cumplimiento de los objetivos.
- La satisfacción del cliente (población).

#### **4.1.6 Competencias técnicas y funcionales**

Las competencias técnicas son los saberes y destrezas que un individuo tiene sobre un dominio específico, mientras que las competencias funcionales o genéricas son las capacidades necesarias para la realización de un conjunto muy diverso de acciones, tales como generar una red de vínculos, transmitir ideas y conceptos en forma clara y convincente, interactuar en grupos multidisciplinarios, liderar equipos de trabajo, negociar y generar acuerdos, tomar decisiones en forma colectiva y consensuada, resolver conflictos, trabajar en simultaneidad y cooperación con los diferentes actores involucrados, gestionar proyectos, seleccionar, utilizar y compartir conocimientos.<sup>44</sup>

El siguiente esquema presenta la estructura de las competencias y los distintos saberes<sup>45</sup>

---

<sup>44</sup> Anzorena Oscar, "Maestría Personal", el camino del liderazgo, ediciones LEA, S.A., primera edición, Buenos Aires, Argentina, agosto de 2008.

<sup>45</sup> Ibidem

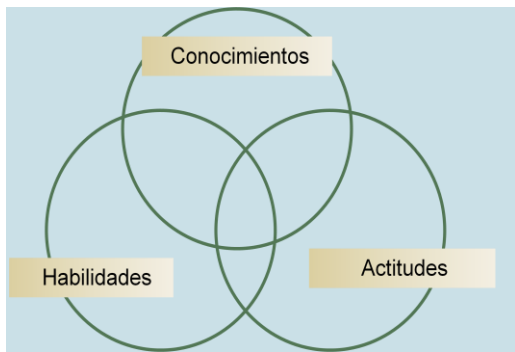


Figura 1

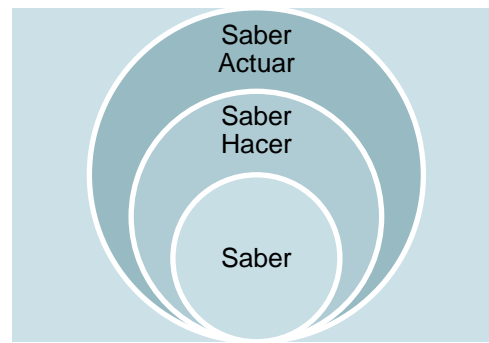


Figura 2

Saber actuar es conseguir el vínculo adecuado entre recursos, acción y resultados.

John Maxwell sostiene que “cuando nuestras actitudes superan nuestras habilidades, aun lo imposible se hace posible”.

Dado que el CMASC debe ser un organismo que trabaje bajo un esquema de red conversacional en el trabajo, donde para todos y cada uno de los integrantes se cumpla el siguiente esquema

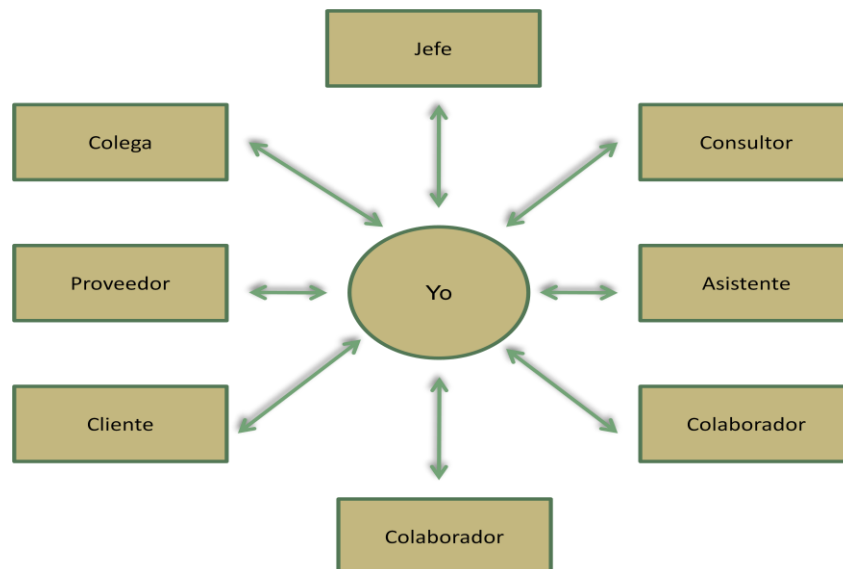


Figura 3 Red conversacional<sup>46</sup>

<sup>46</sup> Ibidem

## **4.2 Información relevante sobre contaminación de suelos**

Este tema será revisado en tres vertientes, por un lado la legislación ambiental, por otro las técnicas de identificación de suelos contaminados y finalmente las técnicas de remediación más usadas en México. La razón por la que se consideran estos tres aspectos es debido principalmente a que es importante considerar la estructura legal que soporta en el país el tema de suelos contaminados con el fin de reconocer los principales requerimientos que se están manejando para la industria, la identificación es un factor importante porque será el móvil que llevará a cuantificar la problemática actual y finalmente investigar las técnicas de remediación más utilizadas en el país permitirá tener una visión completa de cómo se puede empezar a trabajar para resolver el problema de contaminación de suelos.

### **4.2.1 Legislación en materia de suelos contaminados en México**

A partir de la década de los 90's México tiene la preocupación por proteger, conservar y preservar el medio ambiente, especialmente en lo que respecta a bosques, áreas naturales y manejo de residuos peligrosos; el agotamiento de los recursos naturales y la liberación de contaminantes al ambiente han llegado a extremos preocupantes, por lo que resulta importante revisar la legislación ambiental en materia de suelos contaminados.

A continuación se presenta todo el soporte legal que la industria debe conocer, se cita textualmente lo más relevante.



Figura 4

#### 4.2.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Carta Magna o la Ley Suprema de los Mexicanos, fija los límites y define las relaciones entre los poderes legislativo, ejecutivo y judicial del Estado, estableciendo así las bases para su gobierno. También garantiza al pueblo determinados derechos. La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos promulgada en 1917 es la que actualmente rige el sistema político mexicano.

Artículo 27. Párrafo tercero

... el aprovechamiento de los elementos naturales de apropiación con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar su conservación, lograr el desarrollo equilibrado y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana...

... y regular la función, conservación, mejoramiento de los centros de población para preservar y restaurar el equilibrio ecológico...

#### **4.2.1.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)**

Esta Ley se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988, se enfoca a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección del ambiente en el territorio nacional y es el primer documento oficial donde se contempla la prevención de la contaminación de aire, agua y suelo, así como la restauración de sitios contaminados.

##### Artículo 15, Fracción IV

Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar al ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique.

##### Artículo 134, Fracción V

En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados.

##### Artículo 139

Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga esta Ley, la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas ...

#### Artículo 152 Bis

Cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo...

#### **4.2.1.3 Código Penal**

Dentro del sistema jurídico mexicano, el incumplimiento con lo expuesto en leyes y reglamentos se tipifica como delito, éstos se encuentran contenidos en el Código Penal Federal, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de agosto de 1931, en este documento se especifican las sanciones que van desde multas hasta prisión dependiendo de la magnitud de la falta.

#### Título Vigésimo Quinto, Capítulo Único, Delitos Ambientales

Artículo 414 Se impondrá pena de tres meses a seis años de prisión y de mil a veinte mil días de multa, al que sin contar con las autorizaciones respectivas o violando las Normas Oficiales Mexicanas a que se refiere el Artículo 147 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, realice, autorice u ordene la realización de actividades que conforme a ese mismo ordenamiento, se consideren como altamente riesgosas y que ocasionen daños a la salud pública, a los recursos naturales, a la flora, a la fauna o a los ecosistemas.

En el caso de que las actividades a que se refiere el presente Artículo se lleven a cabo en un centro de población se incrementará hasta en tres años.

Artículo 415 Se impondrá pena de tres a seis años de prisión y mil a veinte mil días de multa a quien:



Sin autorización de la autoridad federal competente o contraviniendo los términos en que haya sido concedida, realice cualquier actividad con materiales o residuos peligrosos que ocasionen o puedan ocasionar daños a la salud pública, a los recursos naturales, a la fauna o a los ecosistemas.

Artículo 416 Se impondrá pena de tres meses a seis años de prisión y de mil a veinte mil días de multa, al que sin la autorización que en su caso se requiere o en contravención a las disposiciones legales, reglamentarias y normas oficiales mexicanas:

I.- Descargue, deposite o infiltre, o lo autorice u ordene, aguas residuales, líquidos químicos o bioquímicos, desechos o contaminantes en los suelos, aguas marinas, ríos, cuencas, vasos y demás depósitos o corrientes de agua de jurisdicción federal, que ocasionen o puedan ocasionar daños a la salud pública, a los recursos naturales, a la flora, a la fauna, a la calidad del agua de las cuencas o a los ecosistemas.

Cuando se trate de aguas para ser entregadas en bloque a centros de población, la pena se podrá elevar a tres años más.

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

Publicada el 8 de octubre de 2003, la LGPGIR es la primera que dedica un capítulo entero a la contaminación y remediación de sitios contaminados; es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional.

## Capítulo V Responsabilidad acerca de la contaminación y remediación de sitios

Artículo 68. Quienes resulten responsables de la contaminación de un sitio, así como de daños a la salud como consecuencia de esta, estarán obligados a reparar el daño causado, conforme a las disposiciones legales correspondientes.

Artículo 70. Los propietarios o poseedores de estos predios de dominio privado y los titulares de áreas concesionadas, cuyos suelos se encuentren contaminados, serán responsables solidarios de llevar a cabo las acciones de remediación que resulten necesarias, sin perjuicio del derecho a repetir en contra del causante de la contaminación.

Artículo 71. No podrá transferirse la propiedad de sitios contaminados con residuos peligrosos, salvo con autorización expresa de la SEMARNAT.

Las personas que transfieran a terceros los inmuebles que hubieran sido contaminados por materiales o residuos peligrosos, en virtud de las actividades que en ellos se realizaron, deberán informar de ello a quienes les transmitan la propiedad o posesión de dichos bienes.

Además de la remediación, quienes resulten responsables de la contaminación de un sitio se harán acreedores a las sanciones penales y administrativas correspondientes.

Artículo 72. Tratándose de contaminación de sitios con materiales o residuos peligrosos, por caso fortuito o fuerza mayor, las autoridades competentes impondrán las medidas de emergencia necesarias para hacer frente a la contingencia, a efecto de no poner en riesgo la salud o el medio ambiente.

## Capítulo III Infracciones y Sanciones Administrativas

Artículo 106. De conformidad con esta Ley y su Reglamento, serán sancionadas las personas que lleven a cabo cualquiera de las siguientes actividades:

IV. Verter, abandonar o disponer finalmente los residuos peligrosos en sitios no autorizados para ello;

XI. Disponer de residuos peligrosos en estado líquido o semisólido sin que hayan sido previamente estabilizados y neutralizados;

XIII. No llevar a cabo por sí o a través de un prestador de servicios autorizado, la gestión integral de los residuos que hubiere generado;

XXIV. Incurrir en cualquier otra violación a los preceptos de esta Ley.

Artículo 108. Si vencido el plazo concedido por la autoridad para subsanar la o las infracciones que se hubieren cometido, resultare que dicha infracción o infracciones aún subsisten, la Secretaría podrá imponer multas por cada día que transcurra sin que se subsane la o las infracciones de que se trate, sin que el total de las multas exceda del monto máximo permitido.

Artículo 109. En caso de reincidencia, el monto de la multa podrá ser hasta por dos veces del monto originalmente impuesto, sin exceder del doble máximo permitido, así como la clausura definitiva.

## Título Séptimo Medidas de Control y de Seguridad, Infracciones y Sanciones

### Capítulo I Visitas de Inspección

Artículo 101. La Secretaría realizará actos de inspección y vigilancia del cumplimiento de las disposiciones contenidas en el presente ordenamiento, en

materia de residuos peligrosos e impondrá las medidas de seguridad y sanciones que resulten procedentes, de conformidad con lo que establece la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Artículo 103. Si como resultado de una visita de inspección se detecta la comisión de un delito, se deberá dar vista a la autoridad competente.

Artículo 111. Sin perjuicio de la obligación de remediar el sitio a que se refiere esta Ley, la autoridad correspondiente podrá otorgar al infractor la opción a que se refieren el artículo 168 y el párrafo final del artículo 173 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

En el caso en que el infractor realice las medidas correctivas o de urgente aplicación o subsane las irregularidades en que hubiere incurrido previamente a que la Secretaría imponga una sanción, dicha autoridad deberá considerar tal situación como atenuante de la infracción cometida.

Artículo 112. Las violaciones a los preceptos de esta Ley, y disposiciones que de ella emanen serán sancionadas administrativamente por la SEMARNAT, con una o más de las siguientes sanciones:

- I. Clausura temporal o definitiva, total o parcial
- II. Arresto Administrativo hasta por treinta y seis horas
- III. La suspensión o revocación de las concesiones, licencias, permisos o autorizaciones correspondientes y,
- IV. La remediación de sitios contaminados

Artículo 113. En caso de que alguna de las conductas descritas en los artículos anteriores, derive en la comisión de algún delito, cualquier sanción señalada en esta Ley no exime a los responsables de la probable responsabilidad penal.

#### 4.2.1.5 Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas relacionadas a la remediación de sitios contaminados

NOM-052- SEMARNAT-2005	Residuos Peligrosos
NOM-133-SEMARNAT-2000	Bifenilos policlorados
NOM-138-SEMARNAT/SS-2003	Hidrocarburos
NOM-141-SEMARNAT-2003	Jales Mineros
NOM-147-SEMARNAT/SS-2005	Metales pesados y metaloides
NMX-AA-132-SCFI-2006	Muestreos de suelos contaminados con metales pesados y metaloides
NMX-AA-134-SCFI-2006	Análisis químicos de muestra de suelos con hidrocarburos fracción pesada
NMX-AA-141-SCFI-2006	Análisis químicos de muestra de suelos con BTEX
PROY-NMX-AA-105-SCFI-2007	Análisis químicos de muestra de suelos con hidrocarburos fracción ligera

#### 4.2.2 Técnicas de identificación de contaminantes en el suelo<sup>47</sup>

Para identificar los posibles contaminantes presentes en un suelo, se parte de las características básicas como son: color, textura y olor de éste, para las últimas dos, se usan técnicas diversas, dependiendo de la exactitud requerida (textura) o de los compuestos presentes (olor).

Posteriormente es posible realizar las siguientes pruebas para su caracterización:

- Parámetros preliminares. Se especifica si el contaminante se encuentra en fase sólida, líquida o gaseosa.

---

<sup>47</sup> <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/133/restauracion.html>, mayo 19 de 2010.

- Parámetros básicos. Se precisan parámetros electroquímicos como son el pH, las reacciones de óxido-reducción en medio acuoso y la conductividad y los parámetros de contaminación orgánica.

Para otros análisis, las muestras deberán ser sometidas a métodos de preparación como es la mineralización ácida o extracciones.

Existen diversas técnicas analíticas para determinar contaminantes orgánicos<sup>48</sup>

- Cromatografía de gases
- Cromatografía líquida
- Cromatografía de capa fina

Algunas técnicas utilizadas para determinar contaminación con compuestos inorgánicos<sup>49</sup>.

- Espectrometría de rayos X
- Absorción atómica
- Espectrometría de emisión
- Cromatografía iónica

Afectación Biológica. Evaluación de efectos ecotoxicológicos<sup>50</sup> en los siguientes organismos:

- Daphnias
- Algas
- Bacterias
- Lombrices de tierra

---

<sup>48</sup> Ver Glosario

<sup>49</sup> Ver Glosario

<sup>50</sup> Ver Glosario

- Vegetales
- Insectos

Otros parámetros a considerar en la contaminación del suelo son los parámetros de movilidad<sup>51</sup> de los contaminantes:

- Retención por sólidos
- Lixiviados (solubles)
- Volatilización
- Degradación

#### **4.2.3 Técnicas de remediación o restauración de suelos contaminados**

Se entiende por técnicas de restauración a los procesos que se aplican a materiales contaminados para alterar su estado en forma permanente por medios químicos, físicos o biológicos. El objetivo de estos tratamientos es que los materiales contaminados sean sometidos a dichos procesos para que se disminuya o elimine su peligrosidad.

En el mundo se han desarrollado diferentes tecnologías para sanear los suelos contaminados, las cuales podrían dividirse en dos tipos:

Procesos Físicoquímicos, se utilizan procesos físicos y químicos para estabilizar, inmovilizar y remover los contaminantes.

Procesos Biológicos, se aprovecha la acción de microorganismos para la desintegración de los contaminantes.

---

<sup>51</sup> Ver Glosario

Existen diversas técnicas utilizadas para la restauración de un suelo o un sitio contaminado que podemos clasificar de la siguiente manera:

- a) **Biorremediación intrínseca**, esta técnica consiste en que el propio ambiente natural resuelva el problema si se determina que en el propio ambiente hay las poblaciones y condiciones óptimas (temperatura, pH, nutrientes etc.), es importante que se siga un control para asegurar que no se producen compuestos tóxicos secundarios. A continuación se muestra una figura que esquematiza los procesos de degradación intrínseca que dispone el ambiente:

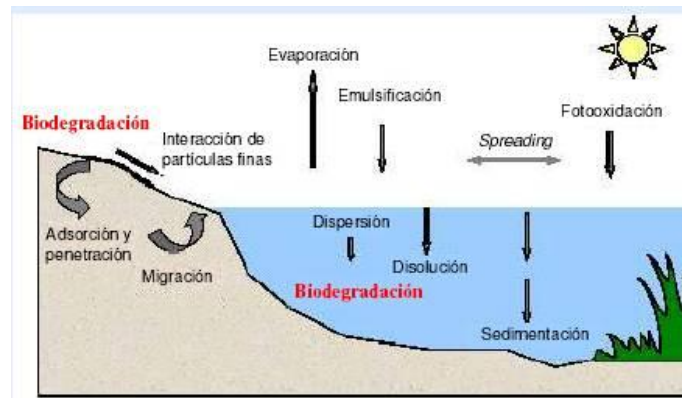


Figura 5

- b) **Técnicas in situ**, se refiere al tratamiento de materiales contaminados sin excavarlos ni sacarlos del lugar:

- Extracción de vapores del suelo y extracción del aire
- Enjuague del suelo
- Barreras electrocinéticas
- Vitrificación
- Estabilización y solidificación
- Biorremediación



**c) Técnicas fuera del sitio o sobre el sitio.** En estas técnicas se requiere la excavación del suelo para ser tratado, entre las más comunes se encuentran:

- Lavado del suelo
- Incineración
- Extracción con solventes
- Deshalogenación química
- Biorremediación
- Desorción térmica

Una de las técnicas de remediación más utilizadas y reconocidas en el mundo es la biorremediación la cual puede clasificarse de la siguiente manera:

- In-situ, consiste en acelerar el proceso en el mismo ambiente modificando las condiciones ambientales o por inoculación microbiana.
- Ex-situ, consiste en extraer el contaminante y degradarlo en otro sitio en condiciones controladas de laboratorio. Evidentemente la mayoría de veces no se puede hacer, adicional a que es un proceso más caro.

A continuación se presenta una breve descripción de algunos de los métodos de remediación más utilizados en México.

#### **4.2.3.1 Biorremediación por biopilas**

El suelo contaminado es excavado y colocado en una celda de tratamiento, el material es homogenizado y se le adicionan soluciones que pueden contener mezclas de microorganismos adaptados por métodos tradicionales, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y tenso-activos. El material apilado es aireado por medios mecánicos. El establecimiento de las condiciones óptimas en las biopilas induce a que los microorganismos autóctonos del suelo realicen la degradación de los

contaminantes. Este método se utiliza principalmente para la eliminación de hidrocarburos. Este tipo de proceso de remediación de suelos es el más utilizado en México.

#### **4.2.3.2 Extracción de vapores del suelo y/o bioventeo**

Consiste en la colocación de pozos de extracción e inyección en el sitio contaminado. Una fracción del número total de pozos instalados se utiliza para la extracción de los vapores de los compuestos orgánicos volátiles (COV) y semivolátiles (COSV) del suelo. La otra fracción del número total de pozos se aplica para inyectar al suelo aire con lo cual se induce la degradación de los COV's y COSV a través de los microorganismos autóctonos del suelo. Los vapores extraídos son incinerados o adsorbidos en carbón activado.

#### **4.2.3.3 Estabilización en el sitio**

Cuando se trata de contaminantes no biodegradables como pueden ser metales pesados o hidrocarburos de la fracción pesada pueden reducirse los riesgos a través de su estabilización en una matriz estable y su confinamiento en celdas de estabilización en el sitio. Se aplica principalmente para contaminantes de baja toxicidad.

#### **4.2.3.4 Restauración y confinamiento de suelos contaminados**

Existen sitios contaminados donde por las características del contaminante y del tipo de suelo resulta más práctico llevar a cabo un confinamiento para eliminar riesgos a la salud y la población.

**Confinamiento**, consiste en recurrir al aislamiento y sellado del sitio contaminado, existen diferentes tipos de confinamiento que sólo serán mencionados:

- Sistemas de recubrimiento.
- Capas de protección superficial.
- Capa de drenaje.
- Capa de arcilla compactada y geomembranas.
- Capa drenante de gases.
- Pantallas impermeables o de aislamiento.
- Pantallas impermeables con base en fluido viscoso.
- Pantallas estructurales de hormigón armado.
- Pantallas por inyección de cemento.

**Restauración de suelos**, se entiende por técnicas de restauración a los procesos que se aplican a materiales contaminados para alterar su estado en forma permanente por medios químicos, físicos o biológicos. El objetivo de estos tratamientos es que los materiales contaminados sean sometidos a dichos procesos para que se disminuya o elimine su peligrosidad.

#### **4.2.3.5 Vertido del suelo contaminado en un relleno sanitario**

Esta técnica es usada cuando el suelo contaminado presenta riesgos a la salud humana y al ambiente en general y no puede ser tratado de manera eficiente por las técnicas antes mencionadas para que alcance niveles satisfactorios en cuanto a riesgo se refiere.

#### **4.2.4 Influencia del tipo de suelo y las condiciones climatológicas en los problemas de contaminación**

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre, en la cual encuentra soporte la cubierta vegetal, y es el resultado de la interacción de varios factores ambientales, tanto geológicos, fisiográficos, climáticos, biológicos y el material parental que proviene de la roca madre. La interacción de estos factores ha

repercutido en la gran diversidad de suelos que existen en México, actualmente existen 25 categorías de suelos reconocidas en el mundo de las cuales 23 se encuentran en el país, el 74 % de la superficie nacional está conformada por 10 de éstas.

El suelo tradicionalmente era visto como simple productor de plantas, fuente de minerales y de alimentos para los seres vivos, sin embargo, en los últimos años se reconoce el papel primordial que cumple en los ecosistemas. Cada gota de agua que recorre el suelo regenera los mantos freáticos; funge como reserva biológica de muchos organismos potencialmente útiles al hombre; el suelo sirve además como medio físico sobre el cual se asienta la infraestructura de desarrollo.



Figura 6 Principales tipos de suelo en la República Mexicana

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Datos Básicos de geografía de México, 1989

## Principales categorías de suelos en México

Clave	Categoría	Superficie (Millones de ha)	Porcentaje
I	Litosol	29.9	14.83
K	Castanozem	29.0	14.75
L	Luvisol	17.3	8.78
Y	Yermosol	16.9	8.59
E	Rendsina	13.4	6.79
X	Xerosol	10.0	5.10
V	Vertisol	9.5	4.81
R	Regosol	9.3	4.72
T	Andosol	7.3	3.72
B	Cambisol	3.9	1.95

Tabla 1 Principales categorías de suelos en México

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Datos Básico de geografía de México, 1989, Modificado de Ortiz, V. y S. Ortiz., 1984, Edafología, UACH, México

### 4.2.5 Degradación del suelo

La degradación de los suelos puede conducir a una situación irreversible, la desertificación. Ésta consiste en la reducción o destrucción del potencial biológico de la tierra que puede llevar a la creación de condiciones análogas a las de un desierto natural. La desertificación es provocada por un sin número de factores entre los que se encuentran: la sobreexplotación de los recursos naturales; el uso inadecuado de tecnologías en zonas agrícolas de temporal y de riego (el abuso de plaguicidas y fertilizantes, y el uso incorrecto de técnicas de riego); el incremento de la presión sobre las tierras de cultivo de temporal; la pérdida de control al emplear el fuego para ciertas labores agrícolas y pecuarias; el depósito de desechos urbanos e industriales; la erosión, favorecida por la deforestación y el empleo de prácticas agrícolas y pecuarias que exponen el suelo a vientos y lluvias; el agotamiento de corrientes y cuerpos de agua superficiales y subterráneos; los fenómenos atmosféricos entre otros.

*"La virtud de un hombre no debe medirse  
por sus esfuerzos, sino por sus obras cotidianas"*  
Pascal

## **Capítulo 5. Análisis y evaluación de la información**

En este capítulo primero se expone la aplicación de las herramientas de calidad las cuales fueron de gran ayuda para identificar la problemática con el fin de establecer esquemas de trabajo de una manera más objetiva y eficiente; en segundo término se presenta un análisis de las acciones que ha tomado el gobierno, así como lo que no ha considerado y que representa una oportunidad para asegurar la sustentabilidad; posteriormente se muestra un análisis de la información emanada de las entrevistas a los expertos y finalmente se hacen algunas recomendaciones que serán la base para la propuesta de ésta investigación.

### **5.1 Aplicación de las herramientas de calidad**

La calidad es la búsqueda permanente de la excelencia, de manera que todo cuanto hacemos es posible mejorarlo, por lo que se puede decir que es un proceso que nunca termina, a continuación se presenta la aplicación de las herramientas usadas en esta investigación.

El tipo de operaciones que realizan las industrias y las malas prácticas que por años fueron recurrentes en el manejo de materiales y residuos peligrosos, son algunas de las causas que han originado el problema de contaminación de suelos, para ello se utilizó el diagrama causa efecto (Ishikawa) del problema de contaminación de suelos en la industria, el cual incluye: fugas, malas prácticas, derrames, problemas de mantenimiento, ausencia de legislación y disposición inadecuada de los residuos. Este diagrama muestra de una manera gráfica las

principales causas que han dado origen al problema que se expone en esta investigación.

### Causas de contaminación de suelo por la industria

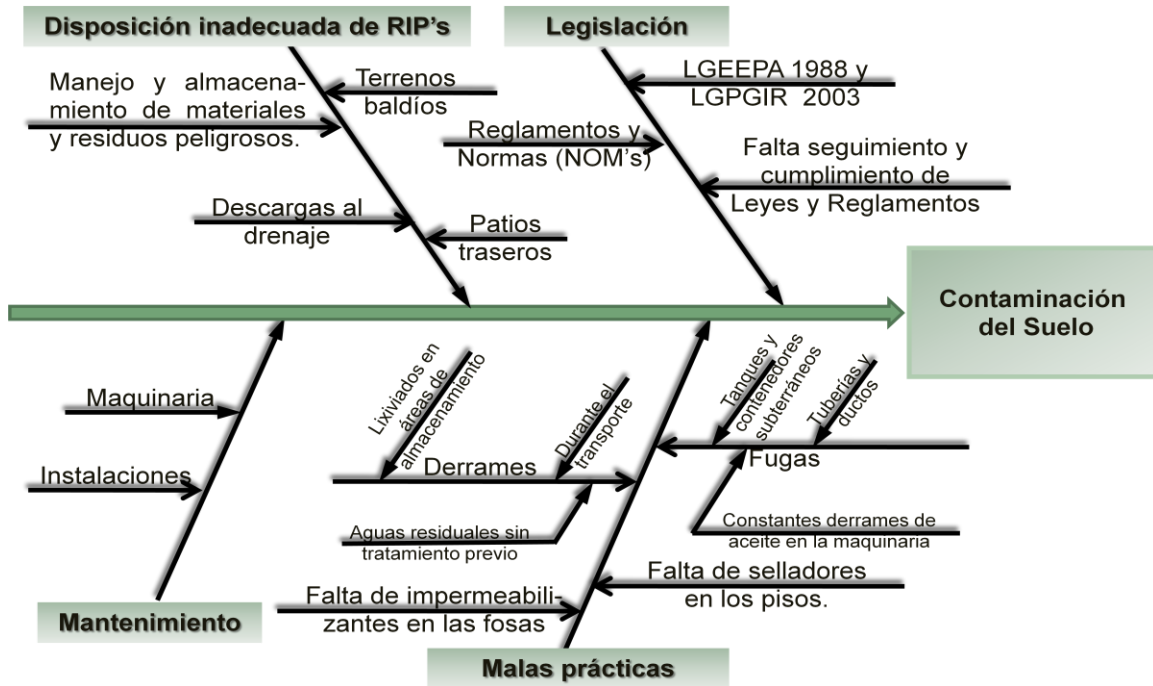


Figura 1

Fuente: Elaboración propia. Diagrama Causa-Efecto, elaborado a partir del análisis que se realizó de la información revisada en esta investigación.

Es necesario evaluar en todas las empresas el estado en que se encuentra el suelo-subsuelo, así como mejorar las condiciones de operación de las máquinas para evitar que se sigan infiltrando contaminantes al suelo.

De acuerdo a la información reportada por SEMARNAT y la PROFEPA los sitios contaminados a causa de emergencias ambientales reportan básicamente cinco tipos de contaminantes. Esto se analizó mediante el empleo de un Diagrama de Pareto donde se puede visualizar esta problemática.

## Diagrama de Pareto con los contaminantes más problemáticos en México

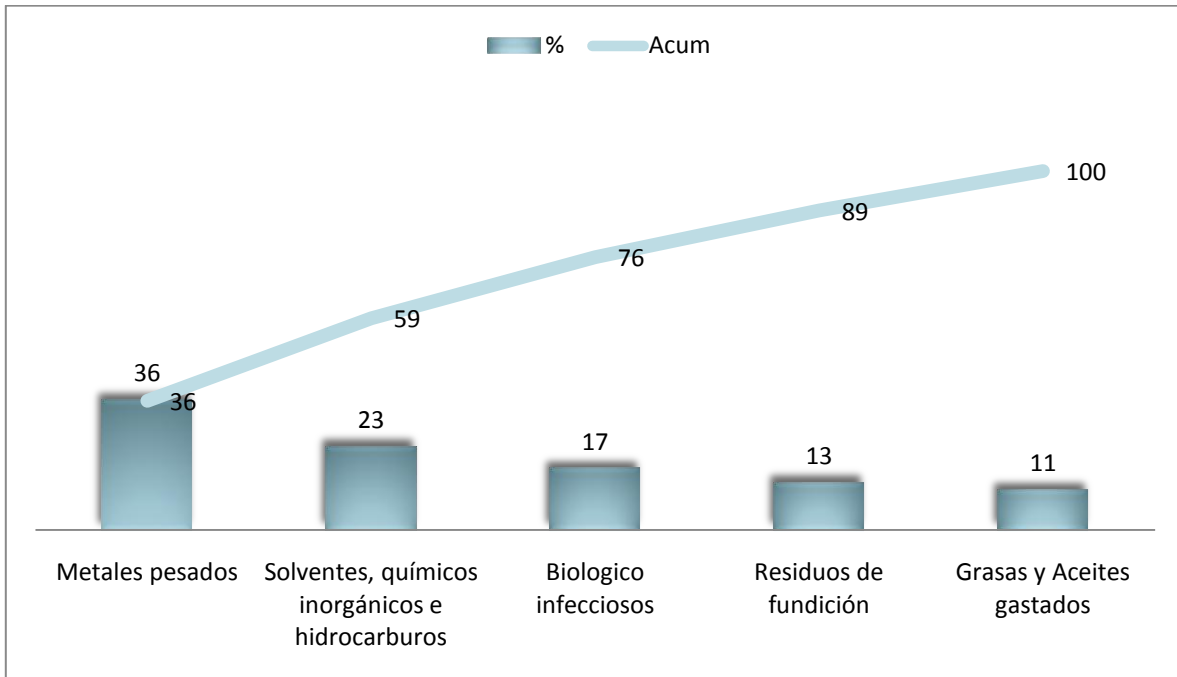


Figura 2

Fuente: Elaboración propia con información reportada por SEMARNAT y PROFEPA de sitios contaminados por emergencias ambientales, 2007.

Como se puede observar en el gráfico el principal problema de contaminación esta dado por: metales pesados, hidrocarburos y biológico infecciosos, los cuales representan los mayores riesgos en nuestro país, por lo que si los contaminantes generados en la industria fueran los mismos que los reportados en las emergencias ambientales, entonces se podrían empezar a revisar las tecnologías de saneamiento para este tipo de contaminantes, con el objeto de minimizar los riesgos a la población. Las acciones del Consejo Multidisciplinario se enfocarán en éstas.

En el capítulo 4 se describió en qué consiste un plan de muestreo, esta herramienta deberá ser usada una vez que en las industrias identifiquen las áreas donde potencialmente pueda haber infiltración de contaminantes al subsuelo



debido a las diferentes causas que se plantearon en el diagrama de Ishikawa, es muy importante seleccionar los puntos del muestreo más representativos para identificar la calidad del suelo en estudio, dado que los muestreos y análisis resultan bastante costosos, a continuación se presenta un ejemplo de cómo elegir la muestra con base en el juicio del experto.

### Ejemplo de una selección de puntos de muestreo en una fábrica

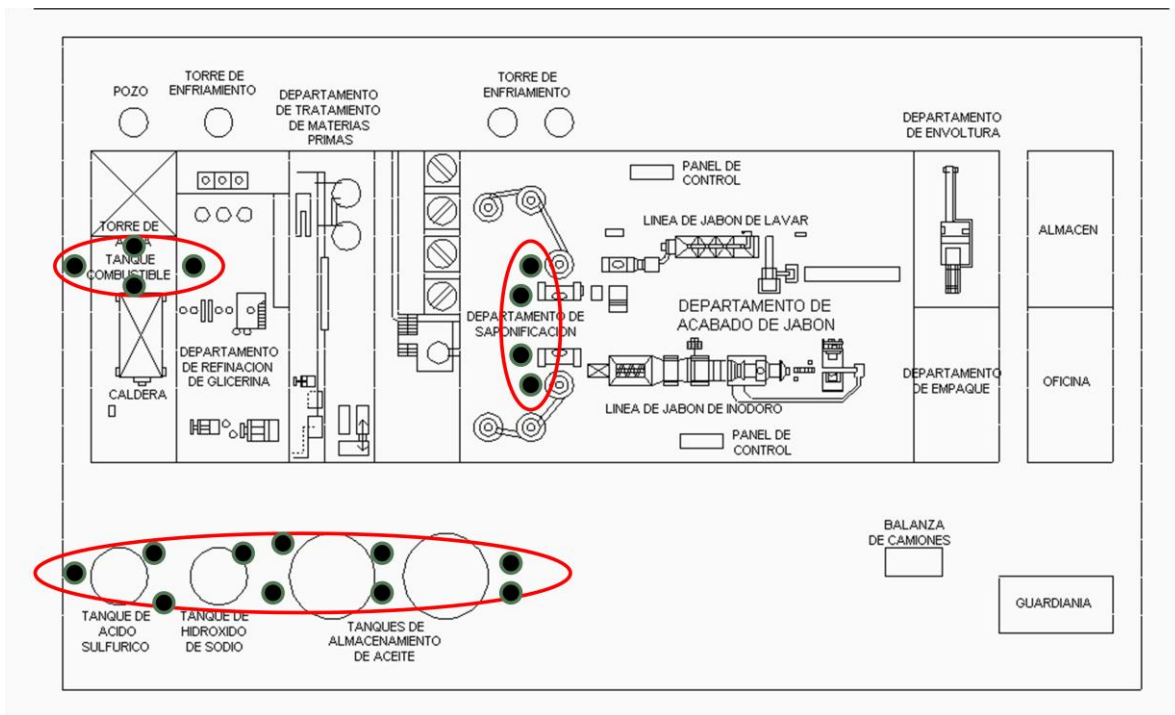


Figura 3

Fuente: Elaboración propia, tomando un layout de internet como ejemplo, para señalar los puntos de muestreo.

Como puede observarse en el layout presentado de una fábrica, únicamente en tres áreas (marcadas en óvalos) podría haber contaminación en el suelo: en donde está el tanque de combustible, en un área operativa y donde se encuentran los tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico, hidróxido de sodio y aceite. El primer muestreo consistiría en tomar 18 muestras de suelo en las tres áreas seleccionadas a una profundidad de 40 cm, con base en los resultados que se obtengan se puede ampliar el plan de muestreo para poder definir

aproximadamente el volumen de suelo afectado, quizá un segundo muestreo fuera en la zona de almacenamiento de materiales con otros puntos de muestreo a diferentes profundidades, con los cuales se pudiera hacer una simulación para conocer las dimensiones de suelo afectado, tanto en área como en volumen.

Una vez que se realiza el muestreo, los resultados analíticos son analizados a través de algún simulador que permita visualizar cómo se encuentra el suelo a nivel superficial y de una manera tridimensional, las siguientes imágenes muestran un ejemplo de cómo el plan de muestreo es vital para identificar el área y volumen de suelo afectado.

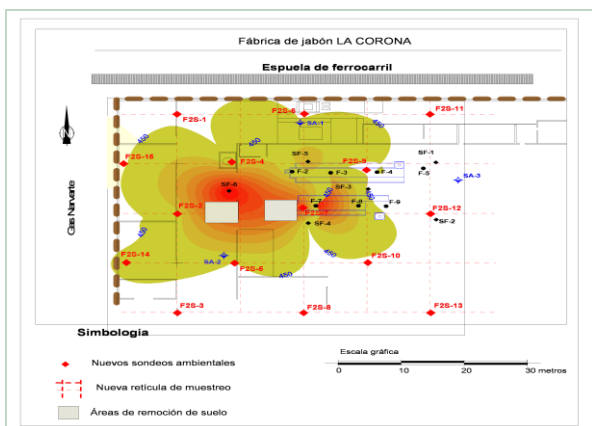


Figura 4  
Vista superficial

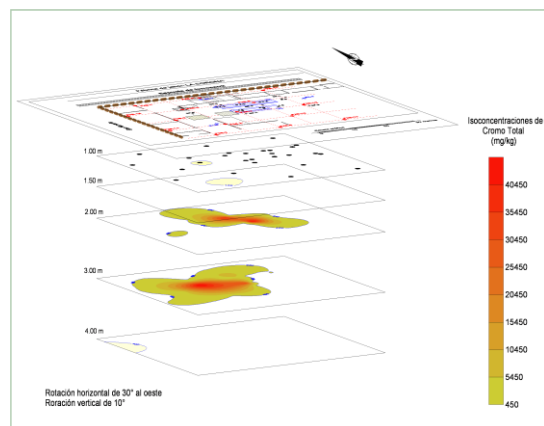


Figura 5  
Vista tridimensional

Fuente: Tomado como ejemplo de un estudio de suelo realizado en una empresa que tenía problemas de contaminación de Cromo hexavalente

En la mejora de la calidad, los diagramas de árbol se emplean generalmente para identificar todas las tareas necesarias para implantar una solución. Se aprovechó esta herramienta para visualizar de una manera integral todos los elementos que deben intervenir para ayudar a resolver el problema de contaminación de suelos originados por la industria.

Para integrar el diagrama de árbol se recurrió a otra herramienta de calidad conocida como “Tormenta de Ideas”, en la que participaron algunos expertos, con

la que se identificaron todos los aspectos relevantes que se debían considerar en la solución del problema, las ideas principales se enfocan a acciones específicas para lograr el objetivo principal.

Diagrama de árbol con acciones para eliminar los riesgos a la salud originados por los suelos contaminados por la industria

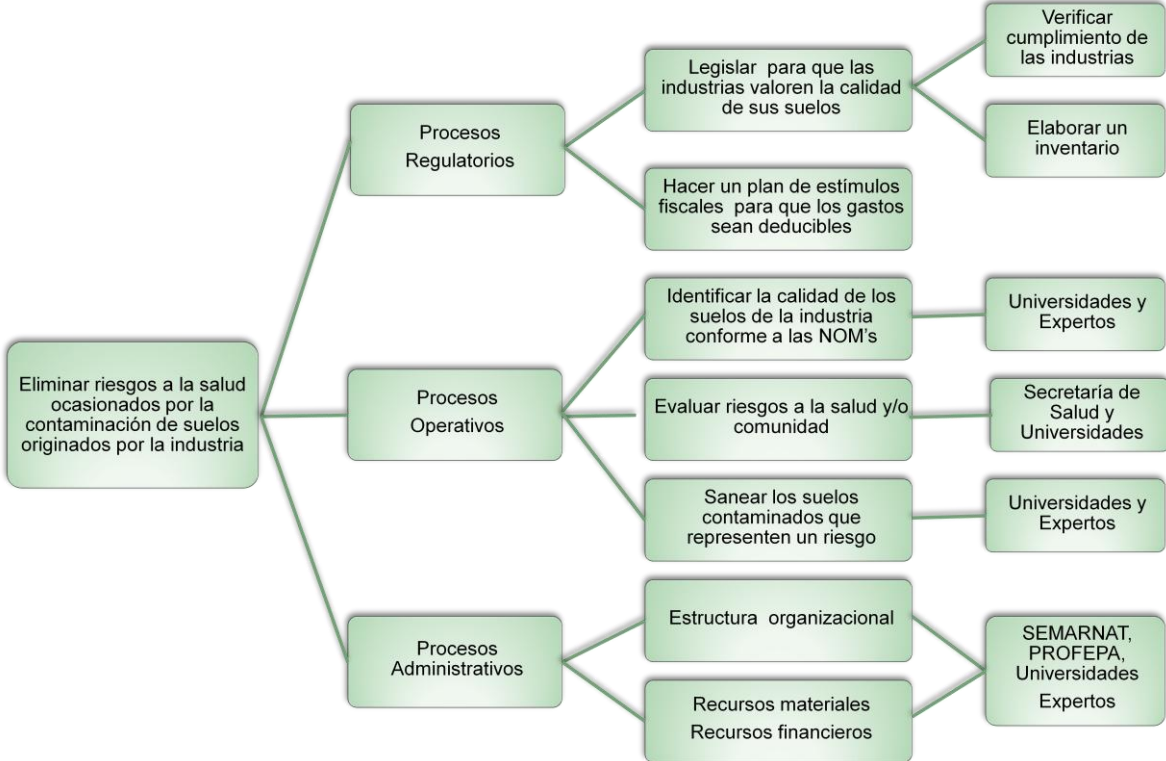


Figura 6

Fuente: Elaboración propia, a partir del análisis que se realizó de la información revisada en esta investigación.

Como se puede apreciar en el diagrama anterior, para eliminar riesgos a la salud ocasionados por la contaminación de suelos originados por la industria, se tienen tres vertientes, procesos regulatorios, procesos operativos y procesos administrativos, esto implica que el trabajo propuesto puede realizarse bajo los estatutos de la Norma ISO 9001:2008.

El siguiente esquema presenta un bosquejo propuesto de cómo debe operar la propuesta para dar respuesta al objetivo de ésta investigación.

Sistema de Mejora Continúa para el Consejo Multidisciplinario para el análisis de suelos contaminados por la industria

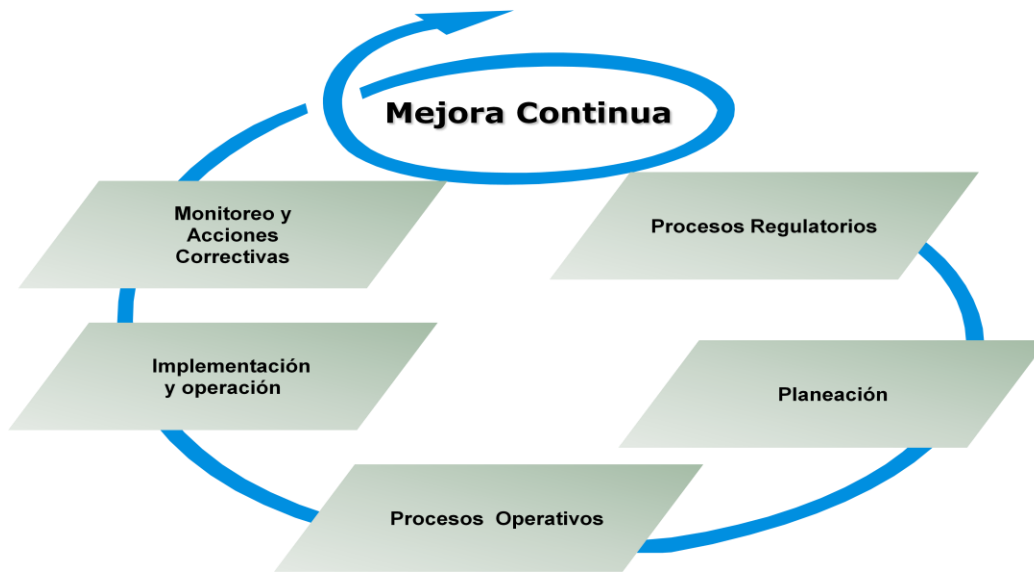


Figura 7

Fuente: Elaboración propia, tomando como base el ciclo de Deming

El siguiente cuadro presenta una breve descripción de cada etapa del Sistema:

<u>Etapa</u>	<u>Descripción</u>
<u>Procesos Regulatorios</u>	<p>Deben estar enfocados hacia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mejoramiento continuo</li> <li>Prevención de la contaminación</li> <li>Cumplimiento de la legislación</li> </ul>
<u>Planeación</u>	<p>Ayuda a establecer las bases para determinar los riesgos y minimizarlos, a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar el problema de contaminación de suelos</li> <li>Definir metas, objetivos y desarrollar un programa operativo</li> </ul>

<u>Etapa</u>	<u>Descripción</u>
<u>Procesos Operativos</u>	<p>En esta etapa se busca identificar las áreas de suelo potencialmente afectadas por algún contaminante, para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analizar su impacto a la salud y comunidad</li> <li>▪ Sanear el suelo contaminado</li> </ul>
<u>Implementación y Operación</u>	<p>Consiste en plantear la estructura operativa para definir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Responsabilidad</li> <li>▪ Entrenamiento y capacitación</li> <li>▪ Comunicación interna y externa</li> <li>▪ Documentación, control y seguimiento de todas las actividades realizadas por el Consejo Multidisciplinario</li> </ul>
<u>Monitoreo y Acciones Correctivas</u>	<p>En esta etapa se considera:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Evaluar y monitorear sistemáticamente el desempeño del Consejo Multidisciplinario estableciendo los indicadores apropiados a fin de establecer las medidas preventivas y correctivas necesarias.</li> <li>▪ Auditar periódicamente la efectividad del Sistema y sus componentes.</li> </ul>
<u>Mejora Continúa</u>	<p>El ciclo PHVA permite mantener una actitud que asegura el aprendizaje y mejora la calidad del Sistema y sus componentes.</p> <p>Implementación de las acciones de mejora.</p>

El sistema de gestión de calidad está basado en un enfoque de procesos, el cual deberá cumplir con la siguiente documentación a fin de asegurar un sistema que vigile y controle los riesgos a la salud y/o a la comunidad por la contaminación de suelos.



Figura 8

Fuente: Elaboración propia, tomando como referencia la documentación requerida en ISO 9001:2008.

## 5.2 Análisis de las acciones del Gobierno en torno a la problemática de contaminación de suelos ocasionada por la industria vs las acciones que deberían tomarse para asegurar la sustentabilidad

En México, con la emisión de la LGEEPA en 1988, se estableció de manera muy general la necesidad de prevenir la contaminación de suelos. En 1996, con las reformas a la LGEEPA se adicionó el artículo 152 BIS el cual estableció la obligación de restaurar el suelo cuando éste se hubiese contaminado; en ese sentido la restauración implicaba realizar acciones tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones del suelo que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales (artículo 3 fracción XXXIII). Ello implicaba literalmente dejar limpio el suelo, de manera que no existiera presencia de contaminantes<sup>52</sup>.

<sup>52</sup> SEMARNAT, "Regulación de los Residuos Peligrosos en México", Primera Edición, julio de 2007.

En 1995 la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), se dio a la tarea de identificar sitios contaminados con materiales y residuos peligrosos, a través de actividades de inspección y de auditorías ambientales, además de promover su remediación<sup>53</sup>.

A continuación se resumen algunas de las actividades que emprendió la PROFEPA con relación al control de los sitios contaminados<sup>54</sup>:

- Se elaboraron y difundieron grupos de “Criterios Interinos de Restauración de Suelos Contaminados” aplicables a hidrocarburos y sustancias inorgánicas tóxicas (por ejemplo, metales pesados) y otros.
- Se definieron métodos de laboratorio a utilizar para la determinación de las concentraciones de los contaminantes y las modalidades de presentación de los resultados que habrán de observarse en las evaluaciones de daños y propuestas de restauración presentadas a la autoridad ambiental.
- Con base en lo anterior, se publicó en la página electrónica de la PROFEPA, la primera parte del documento “Disposiciones y Procedimientos para la Caracterización y Restauración de Suelos Contaminados”, que contiene los trabajos que dieron lugar a los documentos antes señalados, así como una lista de restauraciones exitosas.
- Se estableció el “Programa para la Identificación y Atención de Sitios Contaminados con Residuos Peligrosos” e inició en 1995 trabajos para poner en práctica este Programa, integrar el padrón de sitios y emitir las recomendaciones técnicas básicas para estructurar los planes de atención, por medio de medidas de urgente aplicación y la selección de la mejor alternativa

---

<sup>53</sup> Ibidem

<sup>54</sup> Ibidem

tecnológica para su restauración. Para ello, se elaboraron los términos de referencia para realizar el “Inventario de Sitios Contaminados, Caracterización y Evaluación de Daños Ambientales”, que consiste en un documento que refiere la metodología para integrar estos inventarios y generar información pertinente para establecer prioridades y niveles de limpieza<sup>55</sup>.

Hasta noviembre de 2000, se tenían inventariados 108 sitios contaminados en 17 entidades (Baja California, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas), quedando en curso la integración de los inventarios de los estados de Aguascalientes, Campeche, Michoacán y Tabasco. Entre los principales contaminantes se encontraron hidrocarburos, metales pesados y plaguicidas (incluyendo contaminantes orgánicos persistentes). Lo anterior no es sorprendente en un país con una actividad petrolera, minera y agrícola importante<sup>56</sup>.

Cabe señalar que algunos de los sitios contaminados más conflictivos, están relacionados con actividades de reciclaje de residuos peligrosos en la frontera norte (como acumuladores a base de plomo y ácido) o con la producción de cromo en el Estado de México, en donde las empresas cerraron dejando abandonadas toneladas de estos residuos que se convirtieron en pasivos ambientales sin que necesariamente los responsables hicieran frente a su responsabilidad de llevar a cabo la remediación de los sitios al dejar de operar<sup>57</sup>.

Entre 2001 y 2006 la SEMARNAT, con el apoyo de la Agencia de Cooperación Técnica del Gobierno Alemán (GTZ) desarrolló la primera fase del proyecto de

---

<sup>55</sup> Ibidem

<sup>56</sup> Ibidem

<sup>57</sup> Cortinas de Nava Cristina, “Hacia un México sin Basura”. Bases e Implicaciones de las Legislaciones sobre Residuos.. Publicado por la Cámara de Diputados durante la LVIII Legislatura. 2001, disponible en el portal: [www.cristinacortinas.com](http://www.cristinacortinas.com)



“Fortalecimiento Institucional de la Gestión de Sitios Contaminados”, a través del cual se promovió:

- a) la cooperación y la coordinación entre el sector público y privado;
- b) la mejora de la eficiencia de las autoridades ambientales a nivel federal, estatal y municipal;
- c) la identificación de herramientas económicas, legales y administrativas para la remediación y reutilización de sitios contaminados,
- d) la elaboración de un banco de datos sobre sitios contaminados que incluye una aplicación para su jerarquización conforme a los impactos ecológicos y el riesgo ambiental;
- e) la evaluación de los riesgos que puedan derivar de sitios contaminados y la formulación de planes de remediación al respecto; y
- f) la implantación de proyectos piloto para la remediación de sitios contaminados<sup>58</sup>.

La LGPGIR en su artículo 7 asigna a la Federación la facultad de formular el Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados y regular la prevención de la contaminación de sitios.

A continuación se presentan los diagramas de los enfoques seguidos en el caso de emergencias o pasivos ambientales<sup>59</sup>

---

<sup>58</sup> SEMARNAT, “Regulación de los Residuos Peligrosos en México”, Primera Edición, julio de 2007.

<sup>59</sup> Ibidem

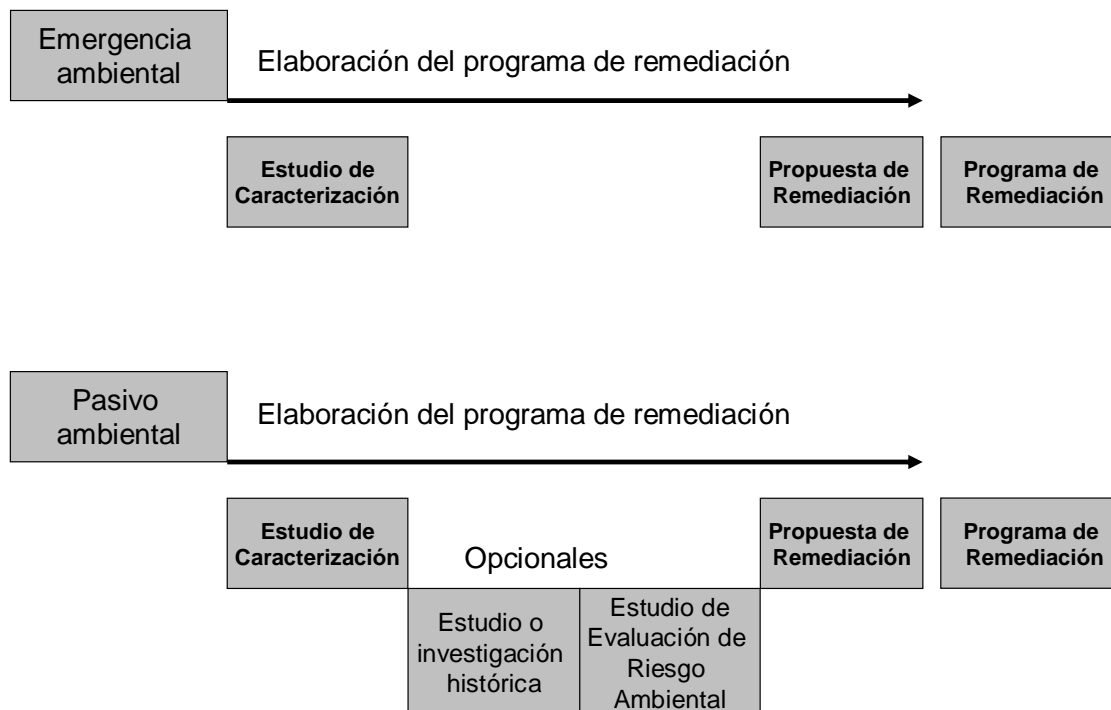


Figura 9

Fuente: SEMARNAT, "Regulación de los Residuos Peligrosos en México", Primera Edición, julio de 2007.

El Reglamento de la LGPGIR plantea de manera diferenciada; los requisitos de información en el caso de una emergencia que se señalan en el artículo 138, y los relativos al caso de un pasivo ambiental previstos tanto en el artículo 138 como en el artículo 139. Tales requerimientos de información particulares atienden a la naturaleza y condiciones técnicas aplicables en cada caso. En una emergencia lo que es importante es la identificación inmediata del tipo de contaminante involucrado, así como del área y volumen de suelo afectado, para con ello determinar las acciones más expeditas para la contención del peligro y evitar la dispersión de los contaminantes<sup>60</sup>.

<sup>60</sup> Ibidem

Un esquema alternativo de identificación y remediación de sitios, es el empleado en el caso de las auditorías ambientales.

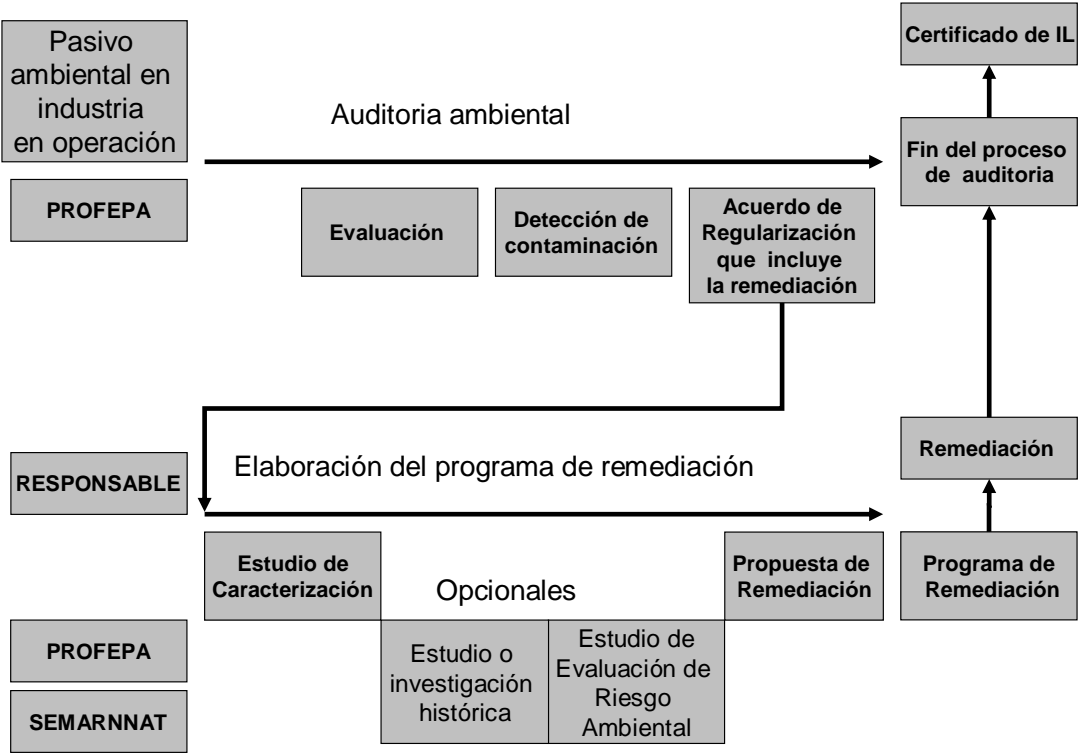


Figura 10

Atención a pasivos ambientales en el contexto de las auditorías ambientales

Fuente: SEMARNAT, "Regulación de los Residuos Peligrosos en México", Primera Edición, julio de 2007.

En cambio, tratándose de un pasivo ambiental, lo importante es proporcionar la información técnica suficiente a la autoridad para que ésta determine los riesgos ambientales, y con base en ello, las medidas y acciones pertinentes y óptimas a los menores costos posibles<sup>61</sup>.

<sup>61</sup> Ibidem

Vale la pena mencionar que la identificación de los riesgos ambientales y a la salud se basa en la información que proporciona el estudio de caracterización y en aquella que se genera en las investigaciones históricas y el estudio de riesgo ambiental.

Realizar una evaluación del riesgo a la salud de la población o de los ecosistemas derivados de la contaminación de un sitio, tiene la finalidad de identificar la existencia de receptores vulnerables en la cercanía de los mismos (ni acuíferos o cuerpos de agua susceptibles de contaminación). De lo anterior se desprende que dependiendo del nivel de riesgo, puede cambiar el tipo y rigor de las medidas de remediación<sup>62</sup>.

Como puede apreciarse la emisión de la LGPGIR y su Reglamento están encaminando a las dependencias de gobierno responsables de vigilar los niveles de contaminación en el suelo a que tomen acciones en consecuencia, se habla de hacer inventarios de sitios contaminados, sin embargo la información recopilada en las instancias competentes en el tema (SEMARNAT, PROFEPA, INE) referencian sitios contaminados a causa de emergencias ambientales, es decir accidentes que se dan con sustancias peligrosas, sitios abandonados con residuos peligrosos y algunos casos identificados en auditorías ambientales.

Todo esto lleva a pensar que las industrias que nunca han realizado una auditoría ambiental bajo los términos de referencia de la PROFEPA, no han realizado un análisis minucioso para reconocer la calidad ambiental que presentan sus suelos, hasta el momento los casos de contaminación a los que se hace referencia son los generados por Pemex, por la industria minera y por los agroquímicos; sin embargo, no se tiene una evaluación de la calidad del suelo que tienen las industrias, si se parte de que actualmente hay dos Normas Oficiales Mexicanas publicadas para remediar sitios contaminados con hidrocarburos o con metales,

---

<sup>62</sup> Ibidem

NOM-138\_SEMARNAT/SS-2003 y NOM-147-SEMARNAT/SS-2005, no obstante debido a los diferentes giros de las industrias y a la gran variedad de sustancias químicas y materiales peligrosos que ocupan en sus procesos, debe haber una gran diversidad de contaminantes, por tal motivo las acciones que debería tomar la autoridad competente (SEMARNAT) para asegurar la sustentabilidad del suelo son las siguientes:

- Legislar para que las industrias, así como monitorean sus descargas de agua residual y sus emisiones a la atmósfera, también realicen de manera obligatoria un análisis de suelo en las áreas que por sus operaciones puedan estar potencialmente afectadas por algún contaminante.
- Legislar respecto a los niveles máximos permisibles en suelo de otros contaminantes comunes en los suelos industriales.
- Crear un fondo para asegurar la sustentabilidad de los suelos, a través de la creación de alianzas y convenios entre gobiernos e industrias para que en los sitios contaminados donde exista un alto riesgo, se trabaje en la restauración, haciendo exenciones fiscales.
- Crear un Consejo Multidisciplinario a nivel Federal para el análisis de suelos contaminados, donde Gobierno, Universidades, Industrias y Expertos trabajen para integrar un inventario de los sitios contaminados con la intención de priorizar aquellos que sean de alto riesgo para la salud y la comunidad.

### **5.3 Opinión de los expertos respecto a la problemática ambiental que se genera por la contaminación de suelos ocasionados por la industria**

En esta sección se presentan las opiniones de los expertos que participaron en la aplicación de la técnica Delphi<sup>63</sup>. La razón por la cual se decidió utilizar ésta, fue debido a que la información reportada por las autoridades respecto a sitios contaminados únicamente incluye emergencias ambientales ocasionadas en la mayoría de los casos por: accidentes carreteros de pipas que transportan algún material y/o sustancia peligrosa, abandono de residuos peligrosos en algún sitio, infiltración de contaminantes ocasionados por la explotación de minas y desde luego los derrames frecuentes de hidrocarburos ocasionados por PEMEX.

Vale la pena señalar que se solicitó a la SEMARNAT y a la PROFEPA información respecto a las condiciones del suelo en las industrias y hasta el momento no se cuenta con ningún inventario de suelos contaminados, incluso se solicitó a través del IFAI<sup>64</sup> y la respuesta fue contundente “No existe un inventario de contaminación de suelos ocasionado por la industria”, ante esta situación se recurrió a los expertos en el tema de contaminación de suelos para tener un panorama más amplio sobre la problemática actual planteada en esta investigación.

A continuación se describe el desarrollo del Método Delphi:

A) Se seleccionó un grupo de catorce expertos en el tema de contaminación y remediación de suelos.

- 1) M. en C. Hilda Rivas Solórzano, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM

---

<sup>63</sup> Ver Anexo 1, del Método Delphi

<sup>64</sup> Instituto Federal de Acceso a la Información

- 2) M. en C. Margarita Gutiérrez Ruíz, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM
- 3) Dra. Blanca Jiménez Cisneros, Instituto de Ingeniería, UNAM
- 4) Dra. Rosario Iturbe Argüelles, Instituto de Ingeniería, UNAM
- 5) Biol. Gabriela Carranza Ortiz, Coordinación de Investigación Científica, UNAM
- 6) Dra. Mabel Vaca Mier, Ingeniería Ambiental, UAM-A
- 7) M. en C. Margarita Beltrán Villavicencio, Ingeniería Ambiental, UAM-A
- 8) Ing. Miguel Ángel Flores, Ingeniería Ambiental, UAM-A
- 9) M.B.A. Miguel Ángel De la Rosa, Director General de GENERMASA<sup>65</sup>
- 10) Q. Carlos Grant Chan, Director General de GERMEN<sup>66</sup>
- 11) Ing. Juan Manuel Aguilar, Director de restauración de Suelos, SEMARNAT
- 12) Biol. Isabel Aguirre, Restauración de sitios contaminados, SEMARNAT
- 13) Ing. Juan Manuel Muñoz Meza, presidente del CINAM<sup>67</sup>
- 14) Ing. Alberto Pineda, Socio de SICA<sup>68</sup>

B) Se redactaron 8 preguntas relacionadas con el tema con base en los objetivos de la investigación, se revisó con tres expertos, quienes retroalimentaron y sugirieron algunos cambios, considerando estas opiniones se diseñó un cuestionario<sup>69</sup>, donde se formularon nueve preguntas de las cuales cinco eran cerradas y 4 abiertas. Las preguntas cerradas son con la finalidad de obtener información precisa, mientras que en las preguntas abiertas se buscó que los expertos tuvieran libertad para expresarse y opinar de una manera más amplia sobre el tema. Una vez validado el cuestionario por algunos expertos, se les hizo llegar a todos para obtener sus opiniones.

---

<sup>65</sup> Empresa dedicada a la restauración de suelos contaminados

<sup>66</sup> Ibidem

<sup>67</sup> Colegio de Ingenieros Ambientales

<sup>68</sup> Empresa dedicada a la restauración de suelos contaminados

<sup>69</sup> Ver Anexo 2, de Cuestionario a Expertos

C) Se revisaron e integraron las respuestas de los expertos para hacer un análisis estadístico soportado en algunas gráficas, así como una síntesis de la opinión de los expertos.

A continuación se presenta el resultado obtenido de las opiniones de los expertos a las preguntas:

#### 1. Con relación al problema de contaminación de suelos

La totalidad de los expertos afirma que el problema de contaminación de suelos en México es algo **urgente de atender**, adicionalmente, un experto de la UNAM sugiere que solamente donde exista un riesgo comprobable para el ambiente o la población debe hacerse un saneamiento (remediación) pues hay casos en que los mecanismos de atenuación naturales han actuado y el riesgo se ha disminuido drásticamente.

#### 2. Respecto al conocimiento de las autoridades de la magnitud del problema de contaminación de suelos en las zonas industriales

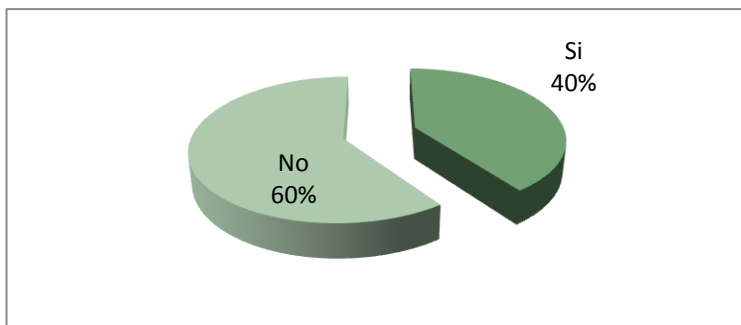


Figura 11

Fuente: Elaboración propia con la información proporcionada por los expertos.

El 40 % de los expertos afirma que las autoridades competentes conocen la magnitud del problema de contaminación de suelos en las zonas industriales, es importante mencionar que éstos trabajan o han trabajado para el gobierno en áreas de Contaminación de Suelo en SEMARNAT y/o PROFEPA. El 60 % lo



ignora, uno de los expertos de la iniciativa privada considera que no hay demasiada información y la que hay, es sobre el contenido total de los contaminantes y no de las fracciones geodisponibles que son las que representan riesgo. En este punto, se puede concluir que el 60 % de los expertos coincide con la información que se obtuvo por parte de las autoridades respecto a la inexistencia de un inventario de suelos contaminados por la industria, y es natural ya que no existe un requerimiento por parte de la SEMARNAT para obligar a las industrias a que realicen un muestreo para conocer la calidad ambiental de sus suelos.

### 3. En cuanto a la legislación ambiental

Los expertos consideran que la legislación ambiental en materia de suelos contaminados es insuficiente en nuestro país. Uno de los expertos de la iniciativa privada expone que los países que han resuelto los problemas de contaminación tienen pocas normas y muchas herramientas legales como: los estudios de caso, programas sectoriales de la industria, etc. Otro experto de la UNAM opina que en México hay “diarrea legislativa” debido a que las normas en ocasiones son contradictorias y/o confusas, ya que permiten defensas legales para no resolver los problemas y a veces impiden que quienes quieren conservar y mantener sus suelos limpios, no lo hagan.

### 4. Con relación a la conveniencia de legislar para determinar la calidad de los suelos en las industrias

El 80 % de los expertos opina que sería conveniente y solo el 20 % opina que con aplicar la legislación actual se daría un gran paso para atender el problema, un experto de la UAM sugiere formar especialistas antes de legislar. “Dado que el desconocimiento de la calidad del suelo en la industria puede representar un

grave problema a futuro, considero que se debería legislar y así como se exige conocer la calidad de las aguas residuales y las emisiones a la atmósfera, también debería requerirse hacer una valoración de las condiciones en las que se encuentra el suelo en las industrias, principalmente en aquellas empresas que manejan sustancias peligrosas y en las que empezaron a funcionar antes de la publicación de la LGEEPA, ya que antes de la ley, las prácticas habituales eran tirar los contaminantes al patio trasero; con ello se podría planear y prevenir futuras afectaciones a acuíferos y en consecuencia a la comunidad”.

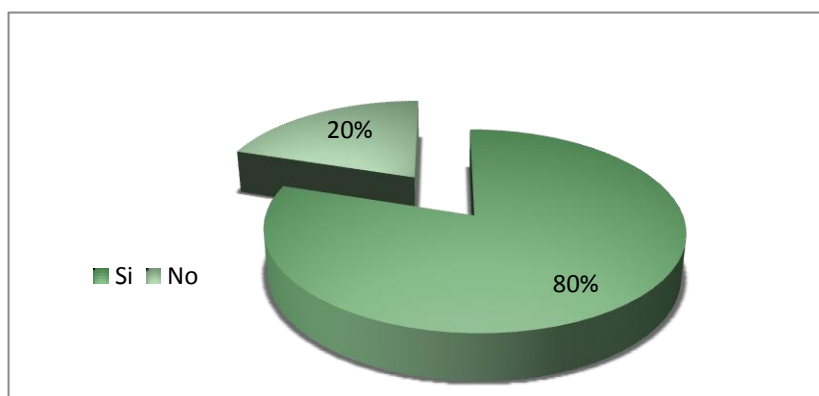


Figura 12

Fuente: Elaboración propia con la información proporcionada por los expertos.

5. Respecto a la pregunta de contar con un programa de trabajo para identificar y sanear suelos contaminados en caso de riesgos a la salud y/o la comunidad.

Los expertos coinciden en que es necesario, un experto de la UNAM comenta que está contemplado en el reglamento de residuos y en las normas, sin embargo pocas industrias han llevado a cabo un monitoreo de sus suelos para saber si está cumpliendo o no con los requerimientos legales.

6. Al preguntarse a los expertos sobre qué tipo de contaminante son los de mayor riesgo en México, el 90% de los entrevistados opinó que los hidrocarburos y sus componentes poli aromáticos, aromáticos y poli cíclicos, así como los inorgánicos

tóxicos, también conocidos como metales pesados, sobre todo por su toxicidad y capacidad de lixiviación a pH ácido, son los más riesgosos. En segundo nivel colocan a los fertilizantes, compuestos orgánicos, metaloides, herbicidas, plaguicidas, pesticidas, solventes, PCB's<sup>70</sup>, lixiviados en tiraderos a cielo abierto, organoclorados, otro punto importante que no se considera en la contaminación de suelos, es el originado por la disposición final de residuos sólidos urbanos, ya que origina una altísima carga orgánica en el suelo, derivada del proceso de estabilización, percolación y lixiviación de la materia orgánica contenida en los mismos. Este debiera ser un punto de atención considerando que el país no cuenta con sitios de disposición final donde se consideren métodos operativos encaminados a la protección del suelo y subsuelo. De hecho a excepción de 3 o 4 sitios de disposición final, los demás no realizan obras encaminadas a evitar la infiltración. El 10 % de los expertos opina que los contaminantes más riesgosos son los plaguicidas, los PCB's y las sales, sin embargo se puede concluir que la opinión de la mayoría de los expertos entrevistados coincide con los contaminantes que referencian los documentos de SEMARNAT, INE y PROFEPA, que se pueden apreciar en el diagrama de Pareto que se presentó en el tema 5.1 de Aplicación de las herramientas de Calidad.

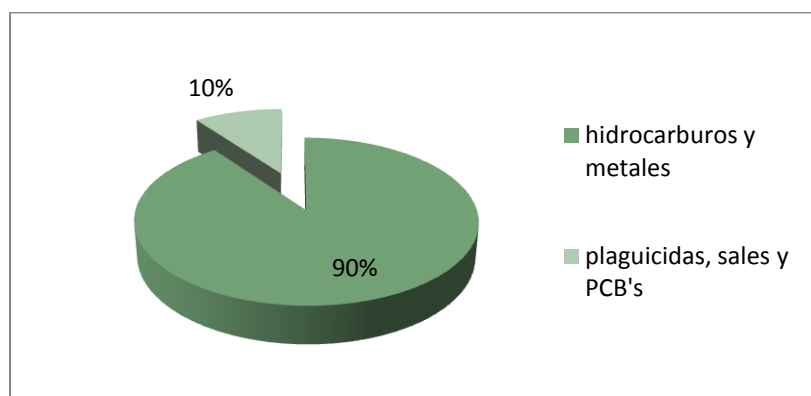


Figura 13

Fuente: Elaboración propia con la información proporcionada por los expertos.

<sup>70</sup> Bifenilos policlorados

7. Respecto a las técnicas de remediación para sanear suelos, el 80 % de los expertos consideran que dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del terreno y el tipo de suelo, se diseñan soluciones hechas a la medida, primero se estudia el suelo, se identifican los contaminantes, se caracterizan los compuestos y finalmente se manejan soluciones ad - hoc, que incluyen insolubilización, degradación, extracción, etc., en el caso de México donde los principales contaminantes son los hidrocarburos, la opción más socorrida es la biorremediación, sobre todo por su bajo costo.

Entre las técnicas más recomendables para sanear suelos contaminados se mencionaron las siguientes: biolabranza, composteo o biopilas, técnicas in situ que eviten emisiones a la atmosfera, oxidación química, lavado de suelos. La Biorremediación debe ser vista como primer alternativa, después todas las técnicas que no destruyan al suelo y como última alternativa el co-procesamiento y confinamiento. Algunos expertos son partidarios de las técnicas In-Situ siempre que la condición misma del problema lo permite. Un experto de la UAM opinó que “la desorción térmica también es aplicable para ciertos casos, aunque en México se desconoce por el momento quién cuente con este equipamiento”. Para el caso de suelos industriales contaminados con hidrocarburos sugieren la técnica de oxidación química con peróxido de hidrógeno, ya que es adecuada por precio y tiempo invertido.

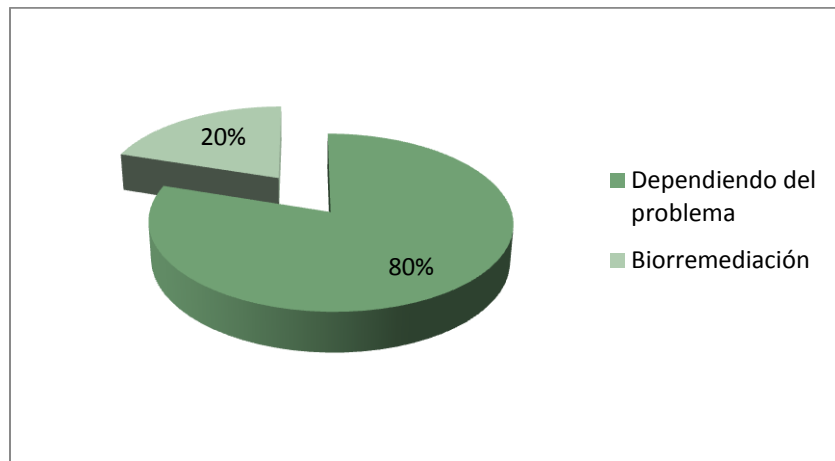


Figura 14

Fuente: Elaboración propia con la información proporcionada por los expertos.

8. En cuanto a las consecuencias ambientales en México, en caso de no aplicar acciones, los 12 expertos participantes coinciden en que la contaminación del suelo, por la transferencia de contaminantes al agua, aire y cadena trófica son un riesgo inminente a la salud de personas, así como la afectación a la flora y fauna, adicional a la pérdida de suelos fértiles, esto provocará un desequilibrio en el suelo ya que las sustancias afectantes se volverían cada vez más tóxicas para los organismos presentes en el sitio, esto genera una degradación del suelo mermando la productividad del mismo generando con ello deforestaciones y hasta pérdida de especies animales.

El 44 % de los expertos concluye que se debe evitar antes la erosión y salinización, aseverando que la destrucción del suelo tiene consecuencias serias sobre la fertilidad, el clima y la retención de agua, las tasas de erosión o desertificación son por si solas alarmantes.

Uno de los expertos de la iniciativa privada que trabajo antes en PROFEPA opina que existe desde aproximadamente el año 1995, un inventario de sitios

contaminados por materiales y residuos peligrosos en el país, el cual fue integrado por el reporte de las Delegaciones de la PROFEPA y reportes ciudadanos. El problema es que aun el conocimiento de la problemática que implican sitios contaminados como la Refinería de Azcapotzalco, Cromatos de México, los terrenos donde se ubicaba la empresa Sosa Texcoco, Azufrera Panamericana y otras más siguen vigentes y continúan sin atenderse por parte de las autoridades responsables.

Para el caso de los hidrocarburos derramados en los lugares donde se localizan equipos de perforación, es frecuente encontrar charcas o lagunas someras, ocasionadas por la disposición de bentonita, en las cuales pueden observarse muchos animales muertos que quedan atrapados en la bentonita al acercarse a beber el agua contenida en el sitio. Esto implica que no solo se puede hablar de contaminación por el vertimiento de materiales o sustancias peligrosas, sino también por materiales que son inertes pero que por sus características particulares, provocan efectos mortales en flora y fauna de las zonas por la falta de control en el manejo y disposición final de las mismas. Es importante resaltar que esta parte no se considera en la legislación ambiental vigente.

Por último se cita el comentario de uno de los expertos de la iniciativa privada: “nuestro país es uno de los 5 latinoamericanos que cuentan con una Ley de Residuos, sin embargo es el peor instrumento legal de todos ya que no fomenta la inversión, ni el control de los residuos y contaminantes; lo único que hace es sancionar a los que contaminan sin contar con autorización. En otras palabras, el bien a tutelar por parte de la Ley debe ser el medio ambiente y en este caso es lo que menos se protege cuando se cuenta con autorización, lo que deja en claro el proceder administrativo y legal que manda en este tema por parte de los legisladores”.

9. Finalmente se les solicitó a los expertos sugerencias para resolver la problemática, las cuales se agruparon en 4 temas y se presentan a continuación:

- a) Grupo de expertos asesores
- b) Estímulos fiscales
- c) Inventario de suelos
- d) Actualización de la legislación

### **Grupo de expertos asesores**

- Crear grupos de expertos en el gobierno para tener una legislación adecuada a nuestro país.
- Que se conformara un grupo técnico para la recopilación e integración de un inventario de los sitios contaminados e identificar cuáles son los de atención prioritaria, además que éste conforme un marco legal congruente con la importancia y relevancia de la problemática identificada en materia de suelos y sitios contaminados.

### **Estímulos fiscales**

- Incentivar a las industrias, gobiernos estatales o municipales, así como a empresas encargadas de dar servicios relacionados con suelo (incluyendo a las dedicadas a renta de maquinaria) mediante programas de condonación de deudas o deducción de impuestos para realizar estudios y tratamientos de suelo de forma más efectiva y en mayor cantidad, inclusive en zonas apartadas donde el problema de las tomas clandestinas de hidrocarburos es muy fuerte.
- Es importante la conformación de un fondo nacional para la atención y tratamiento de los suelos contaminados, de modo que para los casos donde

no hay responsables directos, se pueda contar con capacidad económica para atender oportunamente el evento, lo que daría tiempo para continuar con el proceso legal para fincar responsabilidades, multas y sanciones, además de recuperar lo invertido en el proceso de tratamiento y limpieza del suelo, pero con la ventaja de que la emergencia ha sido atendida. Del mismo modo dicho fondo puede ser de utilidad para sitios conocidamente contaminados.

- Voluntad política para conocer y resolver los problemas.

### **Inventario de suelos**

- Todas las actividades industriales deberían de ser requeridas anualmente para demostrar las condiciones de sus suelos (basado en su actividad o giro) y de esta manera contar con un registro continuamente actualizado y monitoreado.
- Realizar un inventario de zonas y sitios contaminados y emprender proyectos específicos de restauración.
- Que exista más ética por parte de quienes toman decisiones para la remediación de suelos pues por “hacer negocios”, en algunas ocasiones se decide remediar un sitio sin constatar que esto se lleve a cabo. En otras, se paga a empresas para que se lleven el suelo contaminado a un confinamiento de residuos peligrosos, en vez de tratarlo y reusarlo y en realidad se lleva a barrancas o zonas apartadas y ahí se tira el suelo contaminado. Esto representa un muy buen negocio para muchos.

### **Actualización de la legislación**

- Elevar el nivel de cumplimiento de las actuales leyes, normas y reglamentos, con lo cual se resolvería una gran porción de los problemas actuales. En este caso, la NOM 138 requiere ser actualizada, las



autoridades encargadas de su verificación requieren de capacitación y las compañías restauradoras requieren de un marco reglamentario claro con plazos de respuesta expeditos y verificables.

#### **5.4 Recomendaciones**

Con las opiniones vertidas por el grupo de expertos se puede observar que coinciden en la importancia de atender el problema de contaminación de suelos de manera urgente, crear grupos de trabajo multidisciplinarios con expertos, industriales y autoridades competentes, para integrar un inventario de sitios contaminados y priorizar su atención en función al riesgo implicado a la salud pública y comunidad en general, además de la necesidad de dar cumplimiento y seguimiento a la aplicación de leyes, reglamentos y normas, así como generar fondos financieros y dar facilidades económicas para atender este problema, me parece que lo más recomendable es crear un Consejo Multidisciplinario para el análisis de suelos contaminados, que sea capaz de definir acciones encaminadas a identificar, cuantificar, controlar y eliminar riesgos a la salud pública y a los ecosistemas.

Para concluir con el análisis de las opiniones de los expertos, a continuación se presenta una matriz con las principales causas que han originado la contaminación de suelos en la industria y algunas de las acciones correctivas sugeridas a partir de las opiniones de los expertos.

Causas de la Contaminación	Acciones Correctivas
Legislación	Legislar para que las empresas realicen de manera obligatoria un muestreo y análisis para conocer la calidad de sus suelos.
Disposición inadecuada de residuos	Vigilar que las empresas cumplan con lo dispuesto en la ley para el manejo de los residuos.
Fugas y Mantenimiento	Tener y dar seguimiento a un programa de mantenimiento preventivo para asegurar que no habrá infiltración de contaminantes causada por fugas y/o falta de cuidado con las maquinas.
Derrames	Monitorear las condiciones del suelo y si excede los límites permisibles en la norma, evaluar el riesgo y en función al resultado, llevar a cabo una restauración.
Malas prácticas	Asegurar que las fosas y contenedores de materiales peligrosos tengan un recubrimiento para evitar que se trasminen y contaminen.

En el capítulo 6 se presenta la propuesta que surge como resultado de esta investigación.

*"Todo lo que puedes hacer o sueñas con hacer, empiézalo.  
La audacia encierra ingenio, poder y magia"  
Goethe*

## **Capítulo 6. Consejo Multidisciplinario**

En este capítulo se desarrolla la propuesta de la investigación, tomando como base la información de los primeros capítulos y el análisis del Método Delphi aplicado a expertos en el tema de suelos contaminados. En los apartados precedentes se evidencio que a pesar de la legislación vigente y de toda la información con que se cuenta en materia de sitios contaminados y/o pasivos ambientales, no existe una estrategia a nivel gubernamental para conocer los niveles de contaminación existentes en las zonas industriales, evaluar los riesgos y mucho menos con una para sanear los suelos contaminados, por ende no se tiene documentado un inventario de sitios contaminados por la industria.

Con el surgimiento de la legislación ambiental en México a través de la LGEEPA, los Reglamentos Federales y las Normas Oficiales Mexicanas, se obliga a la industria a cumplir con ciertos requerimientos ambientales que permiten tener un control más adecuado sobre los contaminantes al agua y al aire, así como un manejo apropiado, a través del almacenamiento y disposición de los residuos peligrosos que se generan. El exigir a la industria para poder operar una licencia de funcionamiento que la lleve a cumplir con los requerimientos antes citados, generó que se cree cierta cultura ambiental, ya que se mide la calidad de: las emisiones a la atmósfera, las descargas de agua residual y en el caso de los residuos industriales peligrosos (RIP's) se obliga a tener un almacén temporal y a disponerlos conforme lo establece la legislación.

Hasta ahora el control de residuos y emisiones al agua y a la atmósfera son revisados por las autoridades en la materia y controlados por la industria, sin embargo, no sucede lo mismo con el suelo, hay que recordar que antes de la

LGEEPA publicada en 1988 no se tenía ningún control en el manejo y disposición de los residuos peligrosos y la industria en general los arrojaba al suelo o al drenaje; si se toma como referencia que la industria en México inicio en el siglo XIX en los años de 1830<sup>71</sup> se puede concluir que durante 158 años la industria trabajo sin ninguna regulación ambiental, por lo tanto miles de toneladas de residuos peligrosos fueron depositadas en el suelo y todos esos contaminantes están en el subsuelo penetrando cada vez a más profundidad con el riesgo inminente de contaminar acuíferos, lo cual sin duda es un riesgo a la salud de la comunidad, sobre todo en aquellas zonas industriales que se encuentran colindando con zonas habitacionales o agrícolas.

Del análisis realizado en el capítulo anterior, donde los expertos sugieren para atender el problema presentado en esta investigación, crear un grupo de técnicos que puedan contribuir para recopilar información y generar un inventario real de sitios contaminados, que se prioricen en función del riesgo y se atiendan conforme al marco legal establecido a fin de evitar impactos adversos al medio ambiente y a la población.

La propuesta que se presenta a continuación consiste en crear un Consejo Multidisciplinario encargado de implementar acciones en los suelos que se identifiquen como contaminados (CMASC), cuyo principal propósito es el de indagar en la industria el estado que guarda la calidad de los suelos, así como las características y propiedades de absorción que éstos tienen, con la finalidad de evaluar riesgos a la salud y prevenir la afectación a comunidades enteras por contaminantes altamente peligrosos.

---

<sup>71</sup> Estudios de la Historia Moderna y Contemporánea de México, Volumen 4 / Documento 27, El Nacimiento de una Industria Mexicana, José C. Valadés, <http://www.iih.unam.mx/moderna/ehmc/ehmc04/427.html#rnf1> / Julio 22 de 2010

Como ya se vio en capítulos anteriores entre los contaminantes más frecuentes en los suelos se encuentran: los hidrocarburos, cuyo mayor daño puede provocarse a causa de las cadenas aromáticas que sus componentes presentan; los metales pesados; solventes químicos, aceites y grasas gastados, ácidos, amoniaco, PCB's y un sin fin de sustancias altamente tóxicas, cuyas características cancerígenas y mutagénicas pueden poner en alto riesgo a la población en general.

Esta propuesta se presenta en dos vertientes igualmente importantes, como puede verse en el siguiente diagrama:

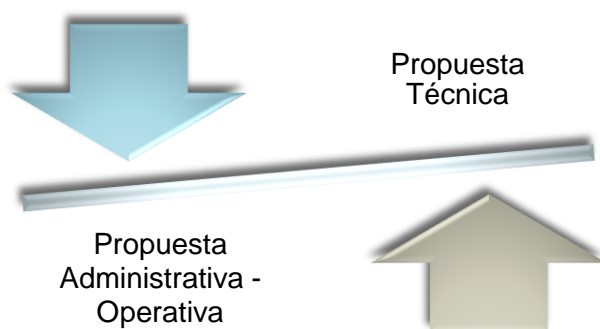


Figura 1

Fuente: Elaboración propia. Equilibrio entre lo administrativo operativo y lo técnico.

La Propuesta Técnica se enfoca a conocer el nivel de cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de suelos en las industrias y a sanear los suelos que se encuentren contaminados y con niveles de alto riesgo de contaminar un acuífero, mientras que la Propuesta Administrativa-Operativa muestra como llevar a cabo la propuesta técnica, ésta consiste en hacer un planteamiento en cuanto a los recursos humanos y materiales que deben involucrarse para llevar con éxito esta investigación, a continuación se presenta a detalle cada una de las etapas de éstas propuestas, que de implementarse, ayudarán a determinar los niveles de contaminación que hay en los suelos de las zonas industriales, para posteriormente identificar el riesgo y en su caso, tomar acciones para llevar a cabo la restauración de los suelos contaminados.

## 6.1 Propuesta Técnica

Se ha planteado la problemática de la contaminación de suelos en la industria y las implicaciones que ésta puede tener en la salud pública y los ecosistemas, es necesario que todas las industrias que trabajan con sustancias químicas o materiales peligrosos realicen un monitoreo de la calidad de sus suelos, con la intención de identificar los contaminantes, así como reconocer las áreas que podrían estar potencialmente afectadas.

El siguiente diagrama muestra las nueve etapas que se requieren para llevar a cabo la propuesta técnica, más adelante se describe en qué consiste cada una de ellas, es necesario antes de iniciar con la primera etapa, hacer una campaña de sensibilización de la problemática ambiental y las consecuencias que puede tener un suelo contaminado en la salud y en la vida de una comunidad expuesta, también es importante que no se inicie la siguiente etapa, hasta haber concluido la anterior, ya que el hacerlo podría generar más gastos y tiempo.

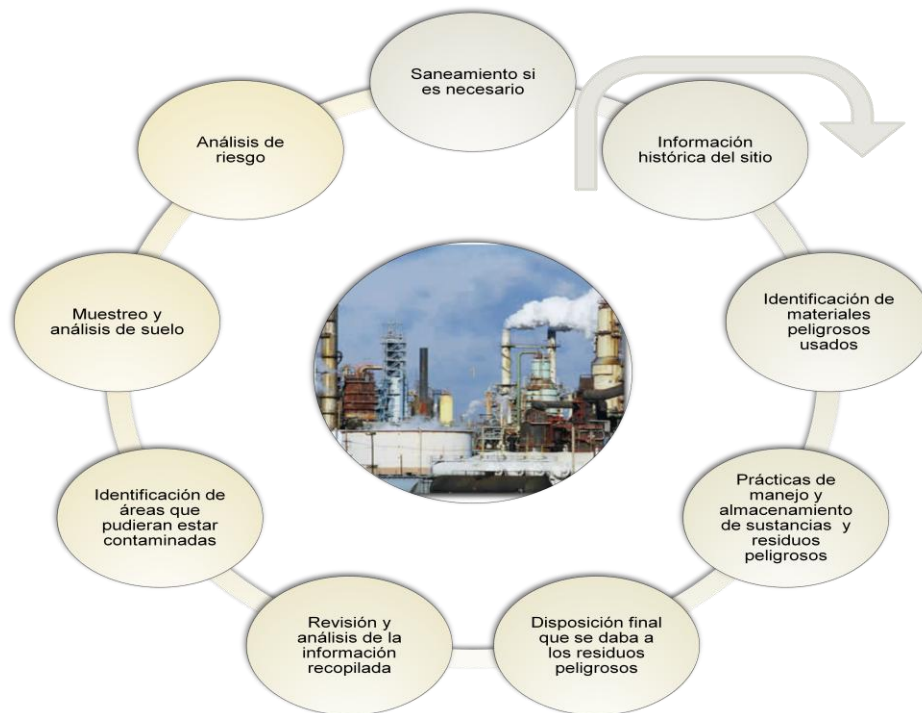


Figura 2

Fuente: Elaboración propia. Etapas para llevar a cabo la propuesta técnica.

- 1) Información histórica del sitio, en esta etapa se debe averiguar desde cuando opera la empresa en ese predio, qué había antes de instalarse, cómo era el proceso cuando inició, qué cambios tuvieron en cuanto a los procesos y materiales que utilizaban, cómo estaba la distribución de las diferentes áreas antes, cuánto producían, si había fosas, en qué condiciones estaban, etc.
- 2) Identificación de materiales peligrosos usados, se busca tener un listado de todas las sustancias químicas que se utilizan y/o se llegaron a utilizar en el proceso, los volúmenes que se manejan y/o se manejaban al mes, las áreas donde se utilizan y/o utilizaban.
- 3) Prácticas de manejo y almacenamiento de sustancias y residuos peligrosos, en este punto se debe indagar con el personal la forma como se ocupaban las sustancias y qué le hacían a los residuos que se generaban, como los almacenaban, si recuerdan que haya habido derrames de alguna sustancia y/o residuo peligroso.
- 4) Disposición final que se daba a los residuos peligrosos, en esta etapa se busca identificar qué hacían con los residuos que se generaban en el proceso, dónde se depositaban y si tienen información aproximada de volúmenes, así como qué hacen y cuánto generan actualmente.
- 5) Revisión y análisis de la información recopilada, con toda la información que se captó en los puntos anteriores, se deben identificar los posibles contaminantes que puede haber en el suelo.
- 6) Identificación de áreas que pudieran estar contaminadas, una vez teniendo identificados los posibles contaminantes en la empresa, se debe ubicar en qué áreas se pueden tener altas concentraciones del contaminante, se

recomienda tener un plano de la empresa donde se puedan marcar las áreas posiblemente afectadas por algún contaminante.

- 7) Muestreo y análisis de suelo, se propone hacer un muestreo superficial en los suelos identificados como posibles sitios contaminados (a 30 cm y a un metro de profundidad), en los sitios donde se encuentren niveles superiores a los parámetros establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-138 y NOM 147 SEMARNAT/SS) para contaminantes en el suelo, se deberá programar un estudio con un muestreo más profundo para determinar el área y el volumen estimado de suelo contaminado.
- 8) Análisis de riesgo, una vez cuantificado el problema, se debe realizar un estudio de riesgo, a fin de identificar si hay posibilidad de contaminar acuíferos y con ello a la salud pública, en los casos donde los niveles de riesgo a la salud de una comunidad sean altos, proponer un plan de remediación.
- 9) Sanearamiento si es necesario, finalmente cuando los niveles de riesgo a la salud sean altos, se deberá llevar a cabo la remediación hasta lograr que los contaminantes alcancen niveles inferiores a los parámetros establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-138 y NOM-147 SEMARNAT/SS).

Las industrias pueden llevar a cabo una autoevaluación, para ello se contará con una guía práctica para que las empresas puedan diagnosticar con base en las sustancias peligrosas que utilizan y/o los residuos que generan y que han estado presentes a través del tiempo, los sitios donde potencialmente pudiera existir contaminación, el siguiente diagrama muestra de manera resumida esta idea.



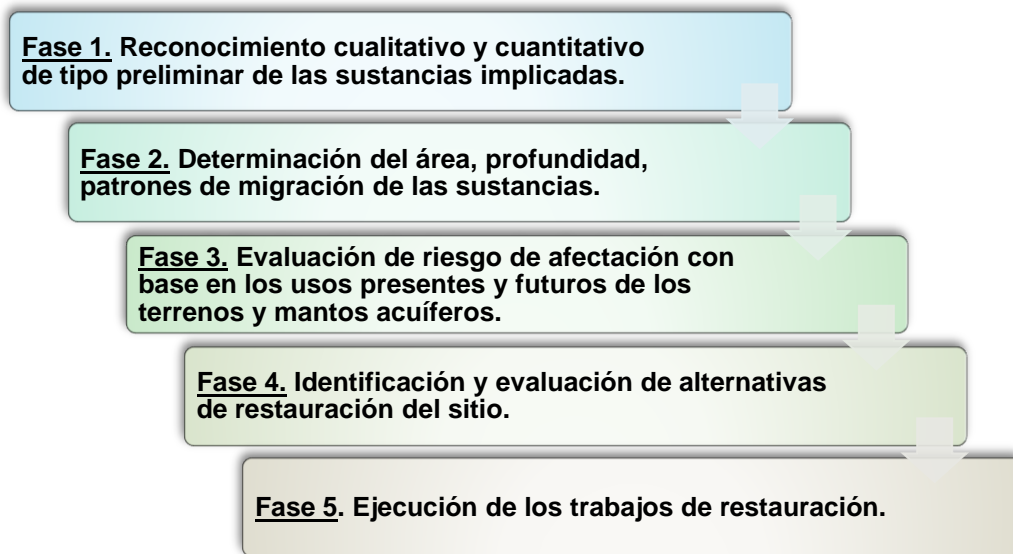


Figura 3

Fuente: Elaboración propia. Forma resumida de la Guía práctica para identificar suelos contaminados.

A continuación se presenta la Guía práctica para identificar suelos contaminados.

## **Guía práctica para identificar suelos contaminados (Fase I)**

### **Introducción**

Con las nuevas disposiciones legales en materia de residuos, se ha hecho visible un pasivo de carácter ambiental por contaminación del suelo y subsuelo, derivado por fugas de aceite en las máquinas o por malas prácticas en el manejo y disposición de materiales y residuos peligrosos, existe la sospecha de que en menor o mayor grado las industrias presentan este tipo de contaminación.

Determinar la magnitud económica de un pasivo ambiental presenta un nivel alto de complejidad por motivos técnicos y legales cuya síntesis se describe más adelante.

### **Propósito**

Visualizar la táctica sugerida que ayude a identificar las áreas que pudiesen tener una afectación en el suelo y/o subsuelo, así como mitigar el impacto económico y legal de la manera más efectiva en las operaciones que puedan tener un pasivo ambiental por contaminación de suelo.

### **Objetivos**

Dar a las empresas / industrias una herramienta sencilla que les permita avanzar en la identificación de áreas que puedan tener afectación en el suelo, para presupuestar los estudios y visualizar lo que sigue, en función del riesgo asociado en cada empresa.

Determinar el estado en que se encuentran las empresas / industrias en cuanto a pasivos ambientales.

### Aplicación

Este documento es de aplicación a todas las empresas / industrias que pudieran tener o haber tenido derrames de materiales o residuos peligrosos al suelo.

### Aspectos técnicos involucrados para la determinación del pasivo

Esta determinación tiene como propósito identificar el alcance que ha tenido la difusión en el subsuelo de las sustancias depositadas y también identificar las alternativas de restauración hasta niveles que vayan acordes a los usos posibles de los recursos acuíferos afectados. Para hacer lo anterior, estos estudios se dividen en varias etapas:

- Fase 1. Reconocimiento cualitativo y cuantitativo de tipo preliminar de las sustancias implicadas.
- Fase 2. Determinación del área, profundidad, patrones de migración de las sustancias.
- Fase 3. Evaluación de riesgo de afectación con base en los usos presentes y futuros de los terrenos y mantos acuíferos.
- Fase 4. Identificación y evaluación de alternativas de restauración del sitio.
- Fase 5. Ejecución de los trabajos de restauración.

A continuación se presenta el diagrama de proceso para identificar y sanear suelos contaminados:

## Identificación y Saneamiento de suelos contaminados

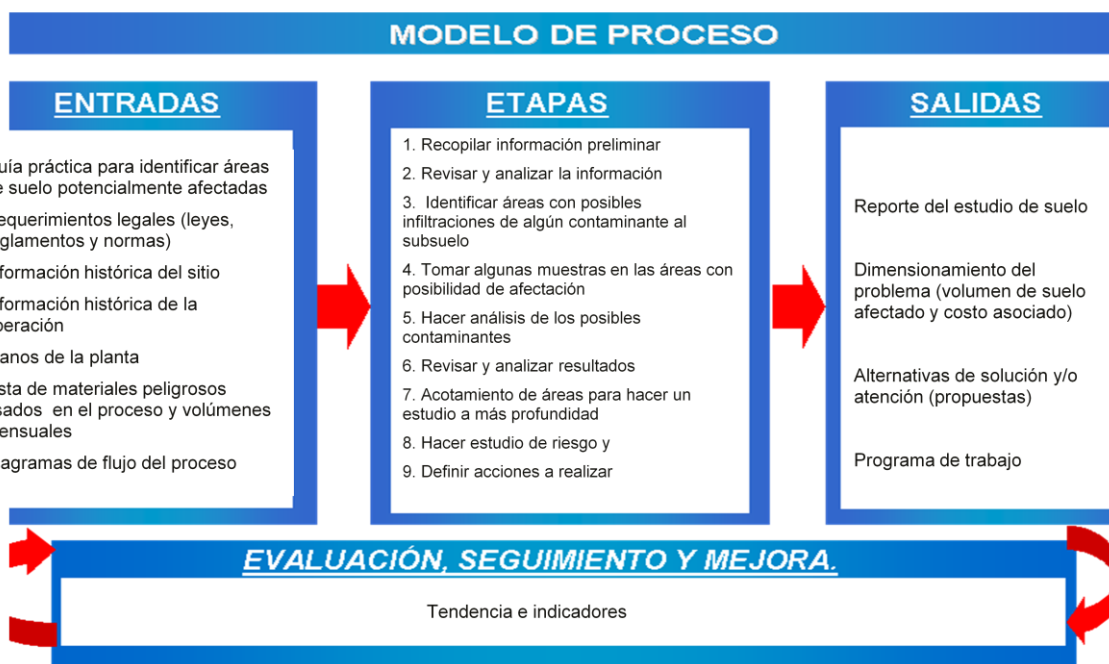


Figura 4

Fuente: Elaboración propia. Diagrama del proceso para identificar y sanear suelos contaminados.

### **“Guía práctica para hacer estudio de suelo Fase I”**

Objetivos:

Recopilar la información histórica del predio y la operación enfocando el esfuerzo a la identificación de materiales y residuos peligrosos usados y generados en la operación.

Analizar la información y emitir un reporte donde se especifique en un croquis del predio las áreas con posibles afectaciones al suelo debido a derrames de materiales y/o residuos peligrosos, así como los parámetros a monitorear en la fase II de análisis.

## 1. Recopilar información preliminar

Se requiere la siguiente información:

- a) Antigüedad de la planta industrial.
- b) Productos que ha desarrollado.
- c) Volúmenes mensuales o anuales de materiales peligrosos que entran al proceso productivo.
- d) Volúmenes mensuales o anuales de residuos peligrosos generados en el proceso productivo.
- e) Plano general del predio y lay out actualizado de la planta industrial.
- f) Identificar a los vecinos, a qué se dedican, qué hacen, qué usan.
- g) Planos anteriores (como estaba antes la planta).

Investigar con el personal de mayor antigüedad en la planta sobre los siguientes aspectos (se recomienda hacerlo con al menos 5 personas):

- a) ¿Qué había en el predio antes de que estuviera la planta operando?
- b) ¿Cómo estaba antes la planta? (áreas, máquinas, rebaberos, estaciones de gasolina, fosas, etc.)
- c) Prácticas usadas para el manejo y disposición de residuos peligrosos o materiales peligrosos obsoletos, qué hacían con ellos (se tiraban al drenaje, al suelo, había algún pozo de absorción, fosa, se enterraban, etc.). En este punto es importante hacer hincapié con los entrevistados que antes esas eran las prácticas comunes y que la legislación en esta materia es muy reciente.
- d) En caso de que se hubieran dado este tipo de prácticas, preguntar dónde y señalar en el plano las zonas donde se llevaban a cabo.

## 2. Revisar y analizar la información

En esta etapa se revisa y analiza la información recopilada y se genera un reporte técnico que presente de manera breve la historia de la planta y del predio, los materiales y residuos peligrosos usados y generados, la identificación de las áreas con posibles infiltraciones de algún contaminante al subsuelo y los parámetros asociados a las mismas.

## 3. Monitoreo superficial del suelo

Una vez identificadas las áreas donde potencialmente puede haber presencia de contaminantes en el suelo y los parámetros a medir, se llama al consultor externo para que realice la toma de muestras en los puntos que en conjunto con él se definan, normalmente se recomienda tomar un par de muestras en cada punto, a 30 cm. y un metro de profundidad.

## 4. Análisis de Resultados

En caso de que existan altas concentraciones de contaminantes en el suelo, que excedan los límites permisibles en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM 138 y NOM 147 SEMARNAT/SS), se deberá hacer un estudio más profundo (fase II) y continuar con las otras fases de estudio.

### **6.2 Propuesta Administrativa - Operativa**

A partir de la propuesta técnica donde se establece lo que se debería hacer para identificar las áreas potencialmente contaminadas, a partir del diagrama de árbol que se presentó en el capítulo 5, donde se expuso que para eliminar riesgos a la

salud ocasionados por la contaminación de suelos originados por la industria, debíamos atender tres tipos de procesos:

- a) Procesos Regulatorios
- b) Procesos Operativos
- c) Procesos Administrativos

A partir de éstos se propone crear un Consejo Multidisciplinario para el análisis de suelos contaminados (CMASC), a continuación se presenta cada uno de estos procesos para posteriormente plantear la forma en que operaría el CMASC.

Procesos Regulatorios, están orientados a legislar para que las industrias lleven a cabo acciones que permitan asegurar la sustentabilidad de los suelos; se considera necesario crear una norma oficial mexicana que obligue a las industrias a monitorear la calidad de los suelos donde están instaladas a fin de proporcionar información a la SEMARNAT para poder integrar un inventario de sitios contaminados por la industria, con esta información podrían realizarse las fases de estudio de la 2 a la 5 vistas en la propuesta técnica, en los casos donde fuera necesario.

Podría manejarse este aspecto de obligatoriedad de monitorear los suelos en las industrias en una primera fase, posteriormente en aquellos sitios donde se considere necesario hacer un estudio más profundo, sería la segunda fase, para determinar en donde hacer estudios de riesgo, los cuales serían la tercera fase, para finalmente en los casos donde haya un riesgo potencial de daños a la salud y/o comunidad hacer la cuarta y quinta fase consistentes en evaluar alternativas de restauración, seleccionar la más viable y empezar el proceso de restauración.

Para llevar a cabo estas actividades, es conveniente generar un plan de estímulos fiscales para que los gastos invertidos sean deducibles de impuestos. Con esto

podríamos integrar un inventario de calidad de suelos en las zonas industriales que nos ayude a priorizar los sitios donde es más urgente trabajar en la restauración.

Otra actividad importante de los procesos regulatorios es asegurar que las industrias están cumpliendo con todos los requerimientos establecidos en la legislación para garantizar la calidad y sustentabilidad de los suelos, esto se hace a través de un seguimiento constante por parte de las autoridades competentes.

Procesos Operativos, son aquellos que están encaminados a realizar todas las actividades que emergen de la propuesta técnica; desde identificar los tipos de contaminantes que pueden presentarse, evaluar la calidad de los suelos conforme a los parámetros establecidos en las NOM's y llevar a cabo la remediación de suelos contaminados que puedan representar un riesgo a la salud pública y/o la comunidad.

Procesos Administrativos, éstos se refieren al personal que interviene para que los otros dos procesos se den de una manera satisfactoria, es aquí donde se define el organigrama de la estructura del CMASC y se describen las competencias técnicas y funcionales, así como la capacitación básica que debe tener el personal que integre el CMASC.

Administrativamente la cuestión financiera se propone a partir de dos vertientes, a) una partida presupuestal por parte del Gobierno Federal a través de la SEMARNAT y b) cuotas fijas de los industriales en función del tamaño de la industria (pequeña, mediana y grande) que permitan crear un fondo para otorgar apoyo económico a los estudiantes que realicen servicio social, prácticas profesionales y/o trabajos de investigación para tesis, además de la compra de equipos de muestreo y análisis para equipar los laboratorios de las Universidades.



Lo más recomendable es que el CMASC se cree por decreto presidencial, que exista una Ley orgánica y estatutos de estructura y función para que asegure una operación exitosa, además de que esté presidido por la SEMARNAT.

Esta propuesta incluye la idea de interactuar Autoridades, Universidades, Expertos e Industrias de manera que se formen alianzas que a un costo más bajo permitan identificar las condiciones actuales de los suelos, esto se puede llevar a cabo a través de convenios y de estructuras organizacionales que tengan las competencias para satisfacer las necesidades de la población, que es tener un país más saludable.

El CMASC que incluya un área académica que coordine junto con los expertos en tratamiento de suelos muestreos y evaluaciones de riesgo y que éstas sean revisadas por las autoridades competentes en la materia para dar visto bueno, sería muy conveniente que los gastos que genere la industria por investigar cómo están sus suelos y sanearlos en caso de implicar un riesgo a la comunidad sean deducibles de impuestos, para propiciar que todos se involucren y participen en esta tarea.

El siguiente esquema muestra la forma como se sugiere que interactúen los diferentes actores del CMASC en este proceso para asegurar que en el mediano plazo exista un control y un conocimiento más preciso del nivel de contaminación existente en los suelos.



Figura 5

Fuente: Elaboración propia. Interacción entre los diferentes actores del CMASC.

La primer acción que se tendría que realizar es legislar respecto a que las empresas deben monitorear la calidad de sus suelos para reconocer el nivel de cumplimiento que se tiene con las NOM's en materia de suelo, se incluye la participación del poder legislativo porque este autoriza el presupuesto de egresos de la federación.

Posteriormente se debe integrar el CMASC en donde participen expertos en la remediación de suelos con alumnos que realicen prácticas profesionales, servicio social y/o trabajos de investigación en coordinación con las autoridades para que se lleven a cabo las primeras etapas expuestas en la propuesta técnica.

Una vez que se realizan los muestreos, el análisis de los suelos se podría llevar a cabo en los laboratorios de las Universidades para asegurar la imparcialidad de los resultados.

A partir de las competencias técnicas y funcionales que deberían tener los diferentes actores en esta propuesta, se podría asegurar que los resultados serán favorables no solo para los habitantes del país, sino para el planeta.

El siguiente esquema muestra el Organigrama propuesto para el CMASC.

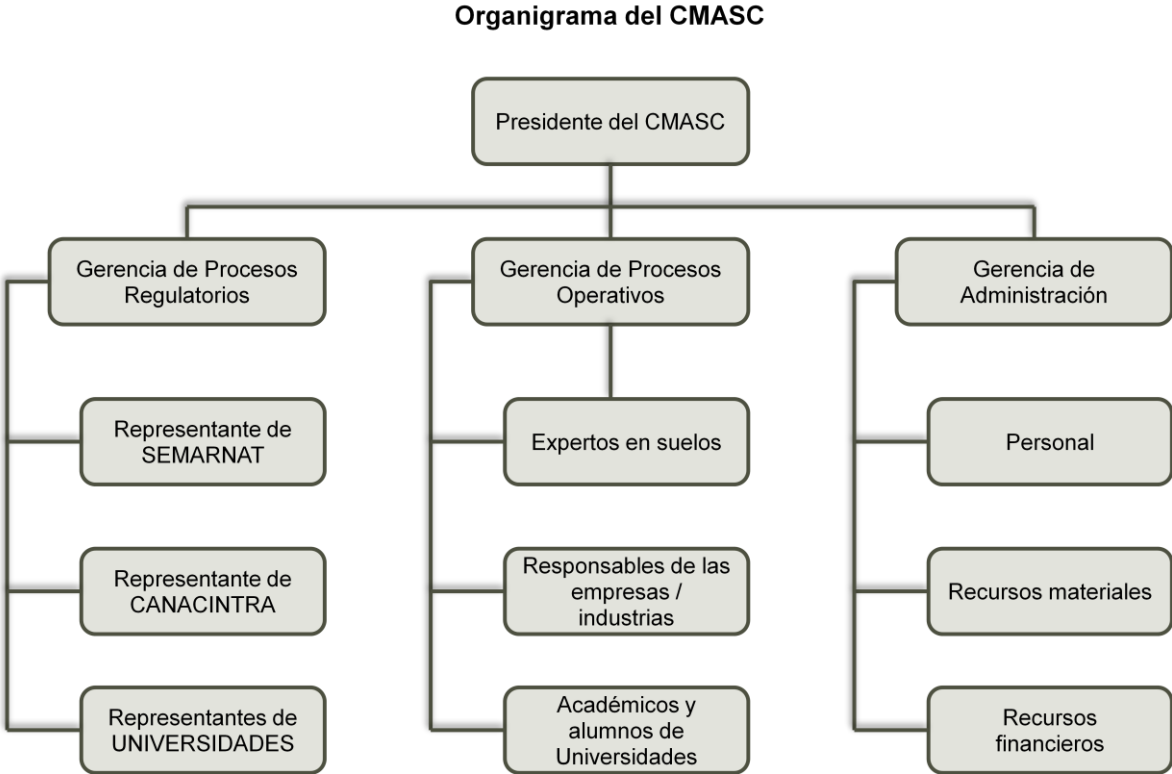


Figura 6

Fuente: Elaboración propia. Organigrama del CMASC.

Con la intención de tener un desempeño laboral efectivo es necesario que el personal que integre el CMASC tenga desarrolladas competencias técnicas y funcionales o genéricas.

La importancia de que todos los integrantes del CMASC tengan desarrollada la competencia de la interacción personal es vital, pues trabajaran de manera conjunta diferentes instancias que sin lugar a duda en conjunto podrán alcanzar

buenos resultados, empezando por conocer la magnitud del problema real y posteriormente priorizando los sitios que requieren ser saneados más rápidamente a fin de evitar riesgos a la salud pública y a los ecosistemas.

El siguiente esquema muestra cómo interactuarían los diferentes actores del CMASC

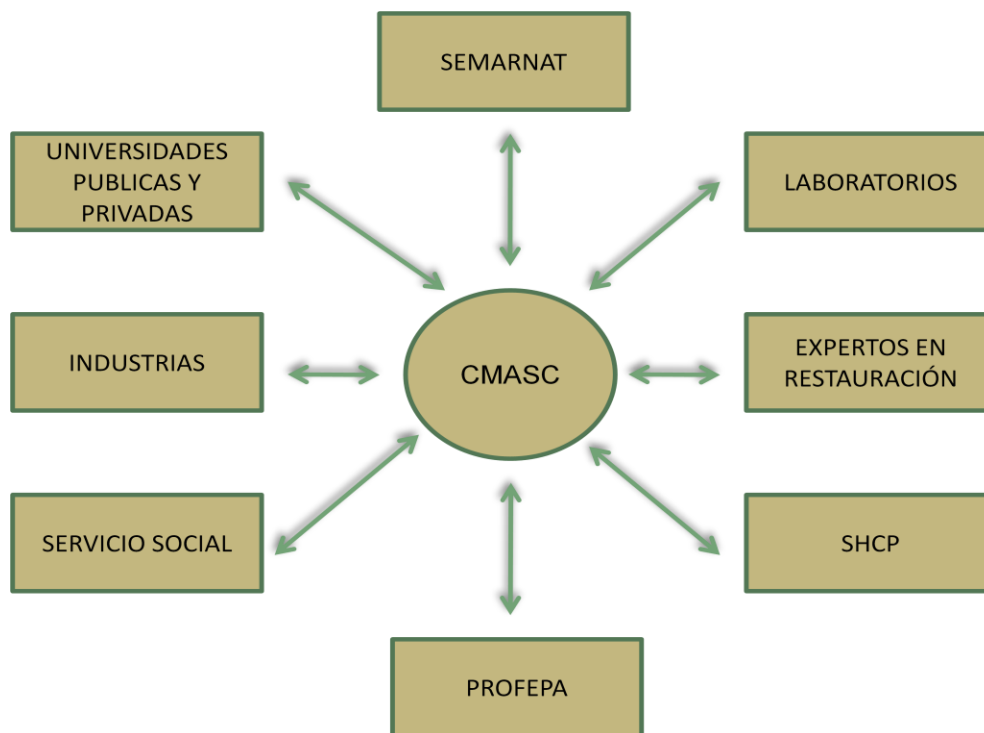


Figura 7

Fuente: Elaboración propia

La interacción de las diferentes instancias que participan en el CMASC permitirá controlar y minimizar los riesgos a los que hoy la población está expuesta, por la contaminación de suelos.

*"Juntarnos es un comienzo; mantenernos juntos  
es progreso; trabajar juntos es éxito"  
Henry Ford*

## **Conclusiones**

De esta investigación se desprenden las siguientes conclusiones:

- La contaminación de los suelos ocasionada por la industria, está ligada no sólo a un manejo ineficiente de los materiales y residuos peligrosos, sino también a la carencia que se tuvo por años de una legislación que tratara el tema, adicional a la falta de seguimiento para asegurar que la legislación actual se cumpla.
- Dados los altos costos en muestreo y análisis, es necesario crear incentivos fiscales para poder iniciar con la primera fase de identificación y reconocimiento de la calidad de los suelos.
- Es necesario asignar presupuesto a las Universidades para que éstas puedan llevar a cabo los trabajos de análisis y procesamiento de la información.
- Es urgente crear el CMACS, si se desea alcanzar la visión de ser un país sustentable, es necesario tender a una gestión integral para la resolución eficiente de los problemas de contaminación y deterioro del suelo, trabajando de manera conjunta autoridades, universidades, expertos en restauración de suelos e industrias.
- Una vez que se cuente con un inventario confiable de la calidad de suelos que se tienen en las zonas industriales, se deberá evaluar el riesgo, y en caso de ser necesario, priorizar para iniciar con trabajos de restauración con empresas mexicanas competentes, con estímulos fiscales y sobre todo, con plena conciencia de que restaurar el suelo contaminado hoy, será la pauta para un mejor mañana.

## Bibliografía

- 1) Aarne Vesilind P. et al *Environmental Engineering*, USA, 2ª Edición, 1988
- 2) Arozamena Oscar, *Maestría Personal, el camino del liderazgo*, Ediciones Lea, Buenos Aires, Argentina, 2008
- 3) Artículos sobre *Contaminación de Suelos* consultados en las páginas del INE, PROFEPA, SEMARNAT, Greenpeace, EPA.
- 4) Atlas Ronald M. & Philp Jim, *Bioremediation: Applied Microbial Solutions for Real-World Environment Cleanup*, USA, 2005
- 5) Brassard Michael & Ritter Diane, *El impulsor de la memoria™ II*, 1ª ed, USA, Goal/QPC, 1994.
- 6) Cookson John T., *Bioremediation Engineering: Design and Applications*, USA, McGraw-Hill, Inc., 1995. (Consultado en internet: [www.amazon.com/Bioremediation-Engineering-Applications-John-Cookson/dp/0070126143#reader\\_0070126143](http://www.amazon.com/Bioremediation-Engineering-Applications-John-Cookson/dp/0070126143#reader_0070126143))
- 7) Corona Ramírez L., *Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos*, *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, México UNAM, 2005.
- 8) Cortinas Cortinas de Nava Cristina, "Hacia un México sin Basura". Bases e Implicaciones de las Legislaciones sobre Residuos.. Publicado por la Cámara de Diputados durante la LVIII Legislatura. 2001, disponible en el portal: [www.cristinacortinas.com](http://www.cristinacortinas.com)
- 9) Criterios Interinos y Normas Oficiales Mexicanas \*
- 10) Evans Gareth M. & Furlong Judith C., *Environmental Biotechnology : Theory and Application*, UK, Wiley, 2002
- 11) Galván Meraz Francisco et al, *Prontuario sobre legislación de residuos en México*, 1ª ed, México, Arlequin, 2008
- 12) Juran J.M. y Gryna F.M., *Análisis y planeación de la calidad*, 3ª edición, McGraw Hill, México, 2001

- 13)Kostecky Paul & Calabrese Edward, *Hydrocarbon Contaminated Soils and groundwater*, USA, Lewis Publisher, 199. (Consultado en internet: [http://www.amazon.com/Hydrocarbon-Contaminated-Soils-Groundwater-Environmental/dp/0873713834#reader\\_0873713834](http://www.amazon.com/Hydrocarbon-Contaminated-Soils-Groundwater-Environmental/dp/0873713834#reader_0873713834))
- 14)Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento \*
- 15)Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente \*
- 16)Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos \*
- 17)MichaelD.LaGrega, Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans, *Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos*, McGraw Hill, 1ª ed, México 1996.
- 18)Reglamentos en materia de residuos sólidos de la LGEEPA y de la LGPYGIR \*
- 19)Ronald E. Walpole et al, *Probabilidad & Estadística para ingeniería y ciencias*, Pearson Prentice Hall, 8ª ed, México, 2007
- 20)SEMARNAT, *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*, Instituto Nacional de Ecología, México, 1999
- 21)SEMARNAT, *Proyecto del Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, México, 2008.
- 22)SEMARNAT, “*Regulación de los Residuos Peligrosos en México*”, Primera Edición, julio de 2007.
- 23)Singh Ajay, *Applied Bioremediation and Phytoremediation (Soil Biology)*, USA, Owen P. Ward, 2004.
- 24)Wagner Travis & Stellino Ana Isabel, *Contaminación, causas y efectos*, 1a. ed., México, Gernika, 1996.

\* Se consultaron en la página de SEMARNAT

## Glosario de Términos

Agente infeccioso	Microorganismo capaz de causar una enfermedad si se reúnen las condiciones para ello, y cuya presencia en un residuo lo hace peligroso.
Auditoría de gestión ambiental	Proceso de verificación sistemática y documentada para obtener y evaluar objetivamente evidencias para determinar si el sistema de gestión ambiental de una organización conforma los criterios de auditoría del Sistema de Gestión Ambiental (SGA).
Autodepuración	Es la capacidad de un cuerpo de agua, que recibe o ha recibido una carga contaminante, de recuperar las condiciones físico químicas y biológicas preexistentes a la incorporación de los contaminantes.
Biodisponibilidad	Es la asimilación del contaminante por los organismos, y en consecuencia la posibilidad de causar algún efecto, negativo o positivo.
Btex	B, benceno; T, tolueno; E, etilbenceno; X, xilenos (suma de isómeros).
Cadena trófica	Es la secuencia de organismos en que cada uno de ellos se alimenta del precedente y puede ser alimento de otros.
Características del sitio	Características o propiedades físicas, químicas, mecánicas y dinámicas de un suelo y de la(s) sustancia(s) distribuidas en él, así como los procesos que controlan el medio en el que se encuentra alojado y que proporcionan la comprensión de éstos para poder predecir su comportamiento y transporte del contaminante en el comportamiento futuro en el sitio.
Caracterización de Sitios Contaminados	Es 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.
Carga crítica	Representa la cantidad máxima de un determinado componente que puede ser aportado a un suelo sin que se produzcan efectos nocivos.



Compuestos inorgánicos	Los contaminantes inorgánicos están presentes en el suelo de forma natural pero en concentraciones reguladas por los ciclos biológicos asociadas a cada suelo. La sobresaturación de alguno de ellos hace que se alcancen concentraciones considerables como contaminantes alterando así los ciclos de regulación.
CMASC	Consejo Multidisciplinario para el análisis de suelos contaminados
Contaminación	Liberación de sustancias que de manera directa o indirecta causan efectos adversos sobre el medio ambiente y los seres vivos. Existencia en el ambiente de contaminantes o agentes tóxicos o infecciosos que entorpecen o perjudican la vida, la salud y el bienestar del hombre, la fauna y la flora; que degradan la calidad del ambiente y en general, el equilibrio ecológico y los bienes particulares y públicos
Contaminación ambiental	Presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público.
Contaminación antrópica	Cuando los contaminantes son introducidos debido a las actividades humanas, básicamente provienen de automóviles, procesos industriales, calefacciones, pero las causas más frecuentes de contaminación son debidas a la actuación antrópica (del hombre), que al desarrollarse sin la necesaria planificación producen un cambio negativo de las propiedades del suelo.
Contaminación endógena	Contaminación natural.

Contaminación natural	Es la que existe siempre, originada por restos animales, vegetales, minerales y sustancias que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos, por ejemplo, a los incendios forestales, erupciones volcánicas, tormentas, terremotos.
Contaminante	Sustancia o compuesto que afecta negativamente al ambiente.
Contaminante natural	Las emitidas por los diferentes procesos naturales del océano, de los bosques, de los volcanes, de los pantanos, de las tempestades eléctricas, etc.
Contaminante primario	Contaminante del aire emitido directamente por una fuente.
Contaminante secundario	Contaminante que puede ser producido en la atmósfera por procesos físicos o químicos, a partir de contaminantes primarios u otras sustancias presentes como resultado de emisiones de fuentes estacionarias o móviles.
Contaminantes antropogénicos	Producidos por la acción del hombre en diferentes procesos.
Contaminantes orgánicos	Son de naturaleza muy variable (fitosanitarios, aceites, petróleo, gasolinas, etc.) y su presencia en los suelos se debe a muy diversas actividades humanas (agricultura, industria, transporte, etc.).  Constituyen un grupo formado por un elevadísimo número de sustancias que en su gran mayoría están producidas por el hombre. Estas sustancias tienen diferentes efectos en el medio siendo muchas de ellas altamente tóxicas.
Daño ambiental	Pérdida o perjuicio causado al medio ambiente o a cualquiera de sus componentes naturales o culturales.
Degradable	Que puede ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales, (por ejemplo biodegradable implica la acción de microorganismos, fotodegradable: implica la acción de la luz)

Degradación	Pérdida de las cualidades de un ecosistema que incide en la evolución natural del mismo, provocando cambios negativos en sus componentes y condiciones como resultado de las actividades humanas. Se distinguen los siguientes tipos: a) Degradación irreversible: Cuando la alteración y/o destrucción del ecosistema y sus componentes, tanto naturales como artificiales, resulta de tal magnitud que parte o la totalidad del ambiente afectado no puede restaurarse. B) Degradación corregible: Cuando la alteración y/o destrucción parcial del ecosistema y sus componentes, tanto naturales como artificiales, resulta de tal magnitud que parte o la totalidad del ambiente puede restaurarse y recuperarse con procedimientos y/o tecnologías adecuadas. C) Degradación incipiente: Cuando la alteración y/o destrucción parcial del ecosistema y sus componentes, tanto naturales como artificiales, resulta de tal magnitud que parte o la totalidad del ambiente puede recuperarse sin la intervención de procedimientos o tecnologías especiales.
Delito ambiental	Es la conducta descrita en una norma de carácter penal cuya consecuencia es la degradación de la salud de la población, de la calidad de vida de la misma o del medio ambiente, y que se encuentra sancionada con una pena expresamente determinada.
Derrame	Cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vaciamiento de hidrocarburos que se presente en suelo.
Desarrollo sustentable	Representa un modelo de crecimiento económico global que satisface las necesidades actuales de la humanidad, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades.
Desecho	Cualquier materia líquida, sólida, gaseosa o radioactiva que es descargada, emitida, depositada, enterrada o diluida en volúmenes tales que puedan, tarde o temprano, producir alteraciones en el ambiente.
Desechos peligrosos	Son aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características CRETIB (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable o biológico infeccioso) que representen un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales.

Desechos tóxicos	Los que son perjudiciales para la salud humana y para el desarrollo de la vida, es decir que puedan contaminar de alguna manera el medio ambiente y que este pueda ser modificado, entre estos ejemplos están, la radiación y desechos químicos como los ácidos.
Desempeño ambiental	Resultados medibles del sistema de gestión ambiental, relacionados con el control de impactos de las actividades, los productos y servicios de una organización, basados en su política, objetivos y metas ambientales.
Desertificación	Transformación de suelos fértiles en desiertos. Puede deberse a procesos naturales o antropogénicos.
Deterioro ambiental	Refiérase al deterioro de uno o varios de los componentes del medio ambiente (por ejemplo, el aire, el suelo, el agua, etc. ), situación la cual afecta en forma negativa a los organismos vivientes.
Dilución de suelo contaminado	Acción de adicionar un material determinado a un suelo contaminado, con el propósito específico de reducir la concentración de uno o más contaminantes.
Disposición final	Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.
Edafología	Ciencia natural que estudia el análisis de los suelos.
Educación ambiental	Proceso educativo mediante el cual el educando adquiere la percepción global y pormenorizada de todos los componentes del ambiente, tanto natural como social, de la interdependencia y el funcionamiento de los ecosistemas, de la necesidad de su preservación y de su compatibilidad con el desarrollo.
Efectividad	Comparación entre los resultados de una actividad con sus objetivos propuestos.
Efecto ambiental	Alteración del medio ambiente, ya sea natural o producida por el hombre.

Eficacia	Grado de cumplimiento de los objetivos planteados. Explicita en qué medida un área o una institución está cumpliendo con sus objetivos fundamentales, sin considerar necesariamente los recursos asignados para ello.
Eficiencia	Concepto que define la relación entre dos magnitudes la producción física de un bien o servicio y los insumos o recursos que se utilizaron para alcanzar ese producto.
Envase	Es el componente de un producto que cumple la función de contenerlo y protegerlo para su distribución, comercialización y consumo.
EPA	Siglas en inglés de Environmental Protection Agency, Agencia de Protección Ambiental, organismo a nivel federal de los Estados Unidos.
Equilibrio ecológico	Estado de balance natural establecido en un ecosistema por las relaciones interactuantes entre los miembros de la comunidad y su hábitat, plenamente desarrollado y en el cual va ocurriendo lentamente la evolución, produciéndose una interacción entre estos factores.
Erosión	Es la pérdida progresiva que se produce en los terrenos, debido a la acción física, química y biológica.
Evaluación del Riesgo Ambiental	Proceso metodológico para determinar la probabilidad o posibilidad de que se produzcan efectos adversos, como consecuencia de la exposición de los seres vivos a las sustancias contenidas en los residuos peligrosos o agentes infecciosos que los forman.
Generación	Acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.
Generador	Persona física o moral que produce residuos, a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.
Gestión Integral de Residuos	Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

Gran generador	Persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.
HAP	Hidrocarburos aromáticos polinucleares.
Hc	Símbolo de Hidrocarburo. Los hidrocarburos del petróleo son importantes contaminantes, de las muchos compuestos orgánicos diferentes, puede haber solubles e insolubles, degradables y persistentes, etc.
Hidrocarburos	Compuestos químicos, constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno.
Hidrocarburos de fracción ligera	Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas lineales entre cinco y diez átomos de carbono (C5 a C10).
Hidrocarburos de fracción media	Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas lineales entre diez y veintiocho átomos de carbono (C10 a C28).
Hidrocarburos de fracción pesada	Mezcla de hidrocarburos cuyo peso molecular sea mayor a C18.
Humus	Componente de la primera porción del suelo, compuesto por material orgánico e inorgánico, siendo la parte más rica en nutrientes para la vegetación.
Impacto	Efecto que una determinada actuación produce en los elementos del medio o en las unidades ambientales y que puede ser beneficioso, es decir positivo, o perjudicial, negativo.
Impacto ecológico	Efecto, perturbación o consecuencia de un cambio de origen natural o antropogénico sobre el sistema ecológico de un área.
In situ	En latín en el lugar. Dícese de las acciones que se llevan adelante en el lugar de interés.
Ley	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos LGPGIR.
Lixiviación	Migración de materiales del suelo arrastrados por líquidos percolados.

Lixiviado	Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.
Material	Sustancia, compuesto o mezcla de ellos, que se usa como insumo y es un componente de productos de consumo, de envases, empaques, embalajes y de los residuos que éstos generan.
Medidas de mitigación	Son las acciones dirigidas a minimizar los impactos y efectos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente.
Medidas de urgente aplicación	Acciones que conducen a inactivar una fuente de contaminación y a detener la migración de los contaminantes en el medio ambiente.
Microgenerador	Establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta cuatrocientos kilogramos de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida.
Movilidad	Capacidad que tiene un agente contaminante para difundirse en un medio dado.
Movilidad de los Contaminantes	Es el movimiento de un agente contaminante a través del aire, agua, tierra y biota, así como sus Interacciones y modificaciones en cada uno de esos ámbitos. El contaminante que se incorpora al ambiente se dispersa en el medio correspondiente, se transporta a cierta distancia dentro del medio o se transfiere a otro, en cualquiera de esos pasos enunciados, el contaminante se puede transformar, degradar o concentrar.
Muestreo dirigido	Muestreo que se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y es evidente la extensión de la afectación.

Muestreo estadístico	Muestreo realizado conforme los métodos matemáticos establecidos, cuya función es dar certidumbre a través de observaciones determinadas, sobre diferentes parámetros para el total del universo.
Nivel de fondo	Concentración en el suelo de los hidrocarburos regulados que no son atribuibles a la fuente de contaminación que se está considerando y que se encuentran de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada.
Nivel freático	Nivel al que llega la zona de saturación del suelo por el agua.
Paedología	Estudio de la morfología y distribución de los suelos.
PAH	Siglas en inglés de los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Se usan como aditivos para gasolinas sin plomo, solventes, etc. Se les atribuyen acciones cancerígenas, (sustancias como el benzopireno, principal sustancia del grupo en base a la cual se mide la concentración de PAH). en aire, producto de la combustión incompleta (pirólisis, plantas de coque, vehículos de calle, etc. ).La concentración de PAH en invierno es 5 a 10 veces mayor que en verano y hasta 20 veces mayor en las grandes ciudades respecto a zonas rurales.
Pasivo ambiental	Sitio contaminado, que no ha sido remediado, en el que pueden, además, encontrarse depósitos o apilamientos de residuos sólidos, de manejo especial o peligrosos, los cuales deben de ser manejados conforme a la legislación vigente.
Perfil del Suelo	Corte vertical del suelo en el que puede observarse diferentes capas del mismo para ser estudiado.
Persistencia	Regulará el periodo de actividad de la sustancia y por tanto es otra medida de su peligrosidad.
Pluma de contaminación	Concentración de contaminante presente en un sector determinado. Puede expandirse (aumento del área contaminada, mantenerse estable o contraerse (reducción del área contaminada).



Poder de amortiguación:	El conjunto de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo lo hacen un sistema clave, especialmente importante en los ciclos biogeoquímicos superficiales, en los que actúa como un reactor complejo, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc. Por todo ello el suelo actúa como barrera protectora de otros medios más sensibles, como los hidrológicos y los biológicos.
Prevención	Preparación y disposición que se hace anticipadamente para evitar un riesgo o ejecutar una cosa.
Prevención de la contaminación	Acto de eliminar un contaminante o las fuentes de riesgo antes de que se generen (EPA).
Proceso productivo	Conjunto de actividades relacionadas con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios.
Producción limpia	Proceso productivo en el cual se adoptan métodos, técnicas y prácticas, o incorporan mejoras, tendientes a incrementar la eficiencia ambiental de los mismos en términos de aprovechamiento de la energía e insumos y de prevención o reducción de la generación de residuos.
Producto	Bien que generan los procesos productivos a partir de la utilización de materiales primarios o secundarios. Para los fines de los planes de manejo, un producto envasado comprende sus ingredientes o componentes y su envase.
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
Programas	Serie ordenada de actividades y operaciones necesarias para alcanzar los objetivos de la Ley.
Punto de muestreo	Es el lugar específico donde se toma la muestra.
Recursos Naturales no renovables	Son aquellos cuyo uso puede producir su extinción y agotamiento, ya que se encuentran en la naturaleza en forma limitada. En éste grupo encontramos los minerales, como el cobre y el aluminio, petróleo, gas natural, etc, que una vez que se usaron no se regeneran.

Recursos naturales renovables	Son aquellos que se reproducen o se renuevan continuamente. Esto significa que dentro de una tasa de utilización racional, no existe amenaza de extinción o agotamiento de los mismos. Son recursos naturales la flora, la fauna, los nutrientes del suelo, etc.
Reglamento	El Reglamento de la LGPYGIR
Remediación	Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos, de conformidad con lo que se establece en la Ley.
Residuo	Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.
Residuos peligrosos	Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley.
Restauración	Es el restablecimiento de las propiedades originales de un ecosistema o hábitat en cuanto a estructura comunitaria, complemento natural de las especies y cumplimiento de sus funciones naturales.
Restaurar	Restablecer las propiedades originales de un ecosistema o hábitat.
Riesgo	Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares.
Riesgo aceptable	Posibilidad de pérdida, deterioro o destrucción que puede aceptarse sin tomar medidas para evitarla.

Riesgo ambiental	Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que afecta directa o indirectamente al medio ambiente. Peligro (latente) ambiental al que puedan estar sometidos los seres humanos en función de la probabilidad de ocurrencia y severidad del daño.
Saneamiento	Conjunto de acciones con el objetivo de restaurar las condiciones ambientales que habían sido modificadas o degradadas.
Secretaría	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT
Sitio contaminado	Lugar, espacio, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha sido contaminado con materiales o residuos que, por sus cantidades y características, pueden representar un riesgo para la salud humana, los organismos vivos y el aprovechamiento de los bienes o propiedades de las personas.
Sitio de muestreo	Es el área a muestrear.
Suelo	Capa superficial de la corteza terrestre que sirve de sustrato a plantas, animales y al hombre y que posee características de fertilidad, debido al proceso de meteorización y descomposición de las rocas durante un tiempo geológico determinado.
Suelo contaminado con hidrocarburos	Aquel en el cual se encuentran presentes hidrocarburos que por sus cantidades y características afecten la naturaleza del suelo.
Tratamiento:	Procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad.
Vertedero	Área donde se depositan definitivamente los desechos en forma controlada o no controlada.
Vertidos	Es el efluente residual evacuado fuera de las instalaciones de los establecimientos industriales y/o especiales, con destino directo o indirecto a colectoras, cloacas máximas, conductos pluviales, cursos de agua y el suelo, ya sea mediante evacuación o depósito.

Vulnerabilidad Conjunto de condiciones que limitan la capacidad de defensa o de amortiguamiento ante una situación de amenaza y confieren a las poblaciones humanas, ecosistemas y bienes, un alto grado de susceptibilidad a los efectos adversos que puede ocasionar el manejo de los materiales o residuos, que por sus volúmenes y características intrínsecas, sean capaces de provocar daños al ambiente.

**Nota:**

Todos los conceptos presentados en este glosario se tomaron de las definiciones de:

1. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos publicada el 8 de octubre de 2003 y modificada el 19 de junio de 2007.
2. Camacho Barreira Aurora & Ariosa Roche Liliana, "Diccionario de términos ambientales", Publicaciones Acuario, Cuba, 2000.
3. *Glosario de términos ambientales de EcoPortal.net*  
[http://www.ecoportel.net/Servicios/Glosario\\_Ambiental](http://www.ecoportel.net/Servicios/Glosario_Ambiental)

1. Cuestionario a Expertos
2. Invitación a participar en el panel de expertos con el Método Delphi
3. Método Delphi

## Anexo No. 1

### Cuestionario a Expertos / Método Delphi Tema: Contaminación de Suelos por la Industria en México

---

Agradezco de antemano su tiempo para responder este cuestionario.

	Si	No
1. ¿Considera que el problema de contaminación de suelos en México es algo urgente de atender?		
2. ¿Sabe si existe conocimiento por parte de las autoridades competentes, de la magnitud del problema de contaminación de suelos en las zonas industriales?		
3. ¿Considera que la legislación ambiental en materia de suelos contaminados es suficiente en nuestro país?		
4. ¿Cree que sería conveniente legislar para conocer la calidad de los suelos en las industrias?		
5. ¿Considera que debería haber un programa de trabajo para identificar y sanear suelos contaminados en caso de riesgos a la salud y/o la comunidad?		

6. ¿Qué tipo de contaminantes cree que son los más riesgosos en México?

7. ¿Cuáles técnicas de remediación considera las más recomendables para sanear suelos contaminados?

8. Cuáles serían las consecuencias ambientales en México, si no se toman acciones para frenar el problema de contaminación del suelo.

9. ¿Tiene alguna sugerencia para ayudar a resolver esta problemática?

Gracias por su ayuda!

## Invitación a participar en el Panel de Expertos con el Método Delphi

Se envió correo personalizado a todos los expertos participantes...

Opinión de expertos en el tema de contaminación de suelos...

Para [REDACTED]  
De: **Sofía Rangel Figueroa** (sofia\_rangel\_figueroa@hotmail.com)  
Enviado: viernes, 24 de septiembre de 2010 11:44:42 p.m.  
Para: [REDACTED]  
Hotmail [Vista activa](#)

1 dato adjunto (35.0 KB)



CE-Delphi...doc

[Ver en línea](#)

[Descargar](#)(35.0 KB)

[Descargar como zip](#)

Buen día!

[REDACTED]

Soy estudiante de la FES Acatlán de la UNAM y estoy realizando una investigación sobre la contaminación de suelos ocasionada por la industria para obtener el grado de especialista en Sistemas de Calidad; en la metodología estoy utilizando el Método Delphi que consiste en conocer la opinión de un selecto grupo de expertos en el tema, vale la pena mencionar que su opinión será totalmente confidencial y se mantendrá en el anonimato; el análisis de las opiniones de los expertos, me será de mucha utilidad para dirigir la propuesta de la investigación. Estoy adjuntando a este mensaje un breve cuestionario que no le va a quitar más de 10 minutos, mucho le agradeceré que una vez contestado, me lo remita a este correo electrónico.

Agradezco nuevamente su tiempo y su valiosa ayuda a mi trabajo de investigación.

Quedo a sus órdenes!  
Saludos cordiales!  
Sofía Rangel Figueroa  
Cel. 55.41.30.54.60  
[www.cicash.com](http://www.cicash.com)



Universidad de  
Deusto  
**San Sebastián**

Deustuko  
Unibertsitatea  
**Donostia**

1

**ESTE**  
Facultad de CC. EE.  
y Empresariales

**ESTE**  
Ekonomia eta Enpresa  
Zientzien Fakultatea

## **EL MÉTODO DELPHI**

**Eneko Astigarraga**

**Universidad de Deusto**  
Facultad de CC.EE. y Empresariales. ESTE  
Mundaiz, 50  
Apartado 1.359  
E-20.080 Donostia - San Sebastian





## EL MÉTODO DELPHI

El método Delphi<sup>1</sup>, cuyo nombre se inspira en el antiguo oráculo de Delphos, parece que fue ideado originalmente a comienzos de los años 50 en el seno del Centro de Investigación estadounidense RAND Corporation por Olaf Helmer y Theodore J. Gordon, como un instrumento para realizar predicciones sobre un caso de catástrofe nuclear. Desde entonces, ha sido utilizado frecuentemente como sistema para obtener información sobre el futuro.

Linston y Turoff<sup>2</sup> definen la técnica Delphi como un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo.

Una Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro. Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas, anónimas, al objeto de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes.

Por lo tanto, la capacidad de predicción de la Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos.

Es decir, el método Delphi procede por medio de la interrogación a expertos con la ayuda de cuestionarios sucesivos, a fin de poner de manifiesto

---

<sup>1</sup> Para una buena descripción del método Delphi, ver Landeta, Jon. (1999) *El método Delphi. Una Técnica de previsión para la incertidumbre*. Ariel. Barcelona y Godet, Michel. (1996) *Manuel de Prospective Strategique*. Dunod. Paris.

<sup>2</sup> Linstone, H., Turoff, M. : « The Delphi Method. Techniques and Applications », Addison-Wesley, 1975, p.3



convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos. La encuesta se lleva a cabo de una manera anónima (actualmente es habitual realizarla haciendo uso del correo electrónico o mediante cuestionarios web establecidos al efecto) para evitar los efectos de "líderes". El objetivo de los cuestionarios sucesivos, es "disminuir el espacio intercuartil precisando la mediana".

Las preguntas se refieren, por ejemplo, a las probabilidades de realización de hipótesis o de acontecimientos con relación al tema de estudio (que en nuestro caso sería el desarrollo futuro del sector que estamos analizando). La calidad de los resultados depende, sobre todo, del cuidado que se ponga en la elaboración del cuestionario y en la elección de los expertos consultados.

Por lo tanto, en su conjunto el método Delphi permitirá prever las transformaciones más importantes que puedan producirse en el fenómeno analizado en el transcurso de los próximos años.

En la familia de los métodos de pronóstico, habitualmente se clasifica al método delphi dentro de los métodos cualitativos o subjetivos.

Aunque, la formulación teórica del método Delphi propiamente dicho comprende varias etapas sucesivas de envíos de cuestionarios, de vaciado y de explotación, en buena parte de los casos puede limitarse a dos etapas, lo que sin embargo no afecta a la calidad de los resultados tal y como lo demuestra la experiencia acumulada en estudios similares.

Como es sabido, el objetivo de los cuestionarios sucesivos, es "disminuir el espacio intercuartil, esto es cuanto se desvía la opinión del experto de la opinión del conjunto, precisando la mediana", de las respuestas obtenidas. El objetivo del primer cuestionario es calcular el espacio intercuartil. El segundo suministra a



cada experto las opiniones de sus colegas, y abre un debate transdisciplinario, para obtener un consenso en los resultados y una generación de conocimiento sobre el tema. Cada experto argumentará los pro y los contra de las opiniones de los demás y de la suya propia. Con la tercera consulta se espera un todavía mayor acercamiento a un consenso.

De manera resumida los pasos que se llevarán a cabo para garantizar la calidad de los resultados, para lanzar y analizar la Delphi deberían ser los siguientes:

#### Fase 1: formulación del problema

Se trata de una etapa fundamental en la realización de un delphi. En un método de expertos, la importancia de definir con precisión el campo de investigación es muy grande por cuanto que es preciso estar muy seguros de que los expertos reclutados y consultados poseen todos la misma noción de este campo.

La elaboración del cuestionario debe ser llevada a cabo según ciertas reglas: las preguntas deben ser precisas, cuantificables (versan por ejemplo sobre probabilidades de realización de hipótesis y/o acontecimientos, la mayoría de las veces sobre datos de realización de acontecimientos) e independientes (la supuesta realización de una de las cuestiones en una fecha determinada no influye sobre la realización de alguna otra cuestión).

#### Fase 2: elección de expertos

La etapa es importante en cuanto que el término de "experto" es ambiguo. Con independencia de sus títulos, su función o su nivel jerárquico, el experto será elegido por su capacidad de encarar el futuro y posea conocimientos sobre el tema consultado.

La falta de independencia de los expertos puede constituir un inconveniente; por esta razón los expertos son aislados y sus opiniones son recogidas por vía postal o electrónica y de forma anónima; así pues se obtiene la opinión real de cada experto y no la opinión más o menos falseada por un proceso de grupo (se trata de eliminar el efecto de los líderes).



### Fase 3: Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios (en paralelo con la fase 2)

Los cuestionarios se elaborarán de manera que faciliten, en la medida en que una investigación de estas características lo permite, la respuesta por parte de los consultados.

Preferentemente las respuestas habrán de poder ser cuantificadas y ponderadas (año de realización de un evento, probabilidad de realización de una hipótesis, valor que alcanzará en el futuro una variable o evento,...

Se formularán cuestiones relativas al grado de ocurrencia (probabilidad) y de importancia (prioridad), la fecha de realización de determinados eventos relacionadas con el objeto de estudio: necesidades de información del entorno, gestión de la información del entorno, evolución de los sistemas, evolución en los costes, transformaciones en tareas, necesidad de formación,....

En ocasiones, se recurre a respuestas categorizadas (Si/No; Mucho/Medio/Poco; Muy de acuerdo/ De acuerdo/ Indiferente/ En desacuerdo/Muy en desacuerdo) y después se tratan las respuestas en términos porcentuales tratando de ubicar a la mayoría de los consultados en una categoría.

### Fase 4: desarrollo practico y explotación de resultados

El cuestionario es enviado a cierto número de expertos (hay que tener en cuenta las no-respuestas y abandonos. Se recomienda que el grupo final no sea inferior a 25). Naturalmente el cuestionario va acompañado por una nota de presentación que precisa las finalidades, el espíritu del delphi, así como las condiciones prácticas del desarrollo de la encuesta (plazo de respuesta, garantía de anonimato). Además, en cada cuestión, puede plantearse que el experto deba evaluar su propio nivel de competencia.

El objetivo de los cuestionarios sucesivos es disminuir la dispersión de las opiniones y precisar la opinión media consensuada. En el curso de la 2ª consulta, los expertos son informados de los resultados de la primera consulta de preguntas y deben dar una nueva respuesta y sobre todo deben justificarla en el caso de que sea fuertemente divergente con respecto al grupo. Si resulta necesaria, en el curso de la 3ª consulta se pide a cada experto comentar los argumentos de los que disienten de la mayoría. Un cuarto turno de preguntas, permite la respuesta definitiva: opinión consensuada media y dispersión de opiniones (intervalos intercuartiles).



## Algunos pasos prácticos

### ***Grabar los resultados en una base de datos.***

Es un labor que aunque el número de respuestas sea reducido, aproximadamente 25-30, merece la pena ya que permite llevar a cabo correcciones o modificaciones con rapidez.

***Obtención de los principales resultados:*** los principales estadísticos que se emplearán en el estudio serán medidas de tendencia central y dispersión:

### **Media, mediana, moda, máximo, mínimo y desviación típica.**

Ello nos permite tener una visión de conjunto de los resultados obtenidos en cada una de las preguntas, aunque luego sólo se utilice como valor para la segunda vuelta la media o la mediana.

La media y la mediana nos indica la tendencia central de la distribución o conjunto de respuesta de expertos, al igual que la moda.

El máximo y el mínimo nos indican las respuestas extremas.

La desviación nos señala el grado de dispersión en las respuestas ( si más o menos los expertos se hallan en torno a las cifras de la media o no)

Los cuartiles, vendrían a ayudar también en la visión del grado de dispersión de las respuestas.

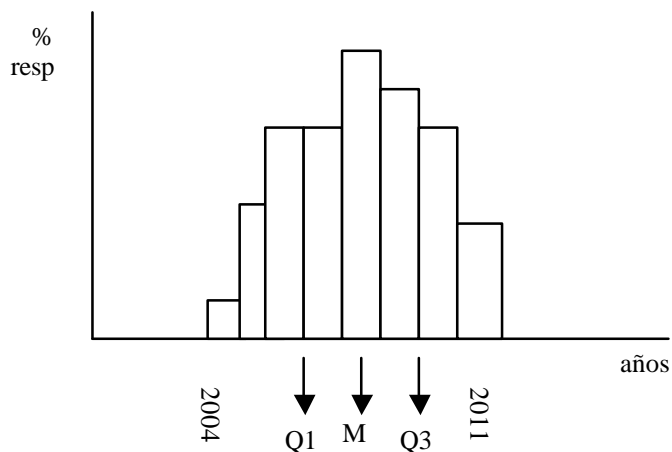
{El cuartil 1 (Q1), que es igual al percentil 25, sería el valor que deja el 25% de las respuestas por debajo de ella y el 75% por encima. El cuartil 3 (Q3), que es igual al percentil 75, sería el valor que deja el 75% de las respuestas por debajo de ella y el 25% por encima. Es decir entre Q1 y Q3, se situaría la mitad central de las respuestas obtenidas}.

Para llevar a cabo estas tareas cualquier programa de tratamiento estadístico e incluso una hoja de cálculo, resulta válida.

Por ejemplo, el programa Excel podría valer para grabar y tener los datos registrados y también obtener las medias, medianas,... de cada una de las cuestiones planteadas en la consulta realizada a las empresas.



Ejemplo: ¿En qué año el 40% de las ventas de vinos de calidad (crianzas, reservas, grandes reservas) se realizarán por Internet en España?



### Lanzamiento de la segunda vuelta

Como puede observarse en la formulación más académica o teórica del método Delphi (Godet<sup>3</sup>, 1996; Landeta<sup>4</sup>, 1999), el trabajar buscando la convergencia de los expertos en base a disminuir el espacio intercuartil precisando la mediana supone el tener que realizar tres o más vueltas (consultas) a los expertos. Por ello, aunque se han llevado a cabo formulaciones clásicas del método Delphi, habida cuenta de los objetivos de la investigación y el horizonte temporal relativamente próximo respecto al que encaramos el estudio prospectivo, optaremos por el siguiente sistema:

### Objetivo del lanzamiento y tratamiento de la segunda vuelta

La realización de una segunda vuelta en el estudio se plantea con un doble objetivo:

<sup>3</sup> Godet, Michel. (1996) Manuel de Prospective Strategique. Dunod. Paris.

<sup>4</sup> Landeta, Jon. (1999)El metodo Delphi. Ariel. Barcelona.



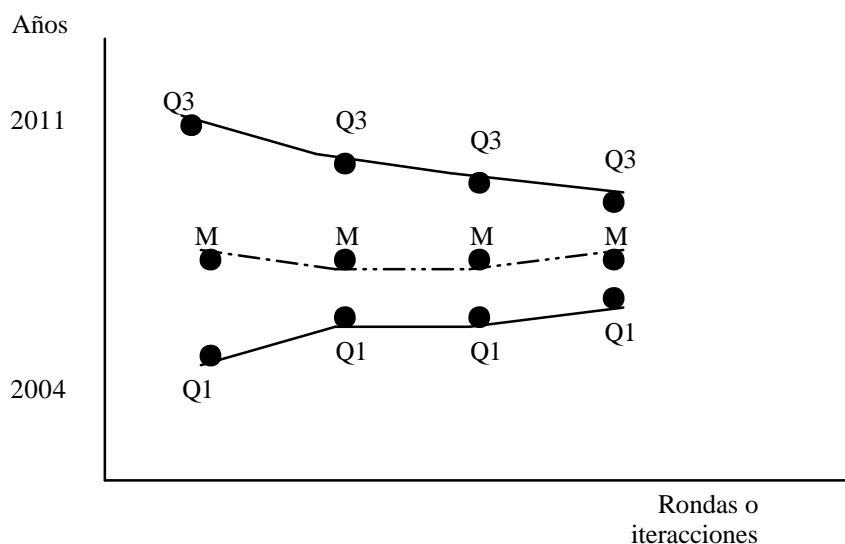
- a) remitir y **hacer participes de la información obtenida** a todos aquellos que han colaborado en el estudio con la aportación de su conocimiento y opiniones
- b) consolidar y **refrendar los resultados obtenidos en la consulta inicial**. De hecho, la experiencia indica que **las variaciones respecto a los resultados iniciales son mínimas en éste tipo de estudios**.

### **Metodología para el lanzamiento y tratamiento de la segunda vuelta**

- a) Se selecciona la media o la mediana de las respuestas a las preguntas de la primera ronda, dependerá del tipo de pregunta, aunque habitualmente,— si las desviaciones típicas no son excesivas — se utiliza la media.
- b) Se solicita a los expertos que indiquen su acuerdo o desacuerdo con dicha media.
- c) Se pide a los expertos que no se hallan de acuerdo con la media que argumenten sus razones
- ¿Esta Ud. de acuerdo con la media obtenida para el conjunto de los consultados? Si/no
  - En caso de que no se halle de acuerdo, ¿Cuál es el nuevo valor que propone?
  - Si lo juzga necesario, ¿podría justificar dicha respuesta?



d) Se calcula la nueva media o mediana (a los expertos que se muestren de acuerdo se les fijara el valor de la media anterior).



Los valores propuestos y razonados por los expertos que siguen manteniendo valores diferentes de la media, sirven para elaborar escenarios alternativos o formular hipótesis de futuro alternativas (el futuro no es único y predeterminado), que serán más valiosas en función de la "calidad" del experto en el tema. Por ello, es conveniente recoger también los más significativos en el informe que se elabore, haciendo mención:

P.ej. La mayoría de los expertos consultados opinan que la implantación masiva del sistema de información del entorno A se hará patente en el año 2003, aunque algunas opiniones sostienen que no dará de manera significativa en el sector hasta el año 2.006 debido a que .... (incluir la argumentación del experto)

A este respecto, señalar que a veces se ha recurrido calificar la "competencia" del experto en cada pregunta o bloque de preguntas (también se ha utilizado la autocalificación) y a ponderar las respuestas en función de la calificación del





experto. Muy bueno (3), bueno (2), regular (1), no es competente para responder (0). Sin embargo, dado el carácter del estudio no se considera necesaria ésta medida.

### **Elaboración de informe**

Los resultados más destacados de la encuesta, las tablas estadísticas de resultados y las incidencias del trabajo de campo se recogen en un informe específico.

### **Algunas cuestiones adicionales**

#### **Número óptimo de expertos**

Aunque no hay forma de determinar el número óptimo de expertos para participar en una encuesta Delphi, estudios realizados por investigadores de la Rand Corporation<sup>5</sup>, señalan que si bien parece necesario un mínimo de siete expertos habida cuenta que el error disminuye notablemente por cada experto añadido hasta llegar a los siete expertos, no es aconsejable recurrir a más de 30 expertos, pues la mejora en la previsión es muy pequeña y normalmente el incremento en coste y trabajo de investigación no compensa la mejora.

#### **Herramientas on-line**

Con el desarrollo de Internet han comenzado también a desarrollarse herramientas on-line para todo tipo de análisis relacionados con la estrategia y la prospectiva. Así, por ejemplo, la compañía Calibrum (<http://www.calibrum.com>), además de ofrecer productos para el desarrollo on-line de procesos de planificación estratégica o la

---

<sup>5</sup> Norman C. Dalkey, Bernice Brown y S. Cochran, "The Delphi Method, III: Use of self rating to improve group estimates". *Technological Forecasting and Social Change*, vol 1, 1970, pp. 283-91. Citado por Landeta, Jon (1999) op. cit.



gestión de proyectos, incluye también una herramienta para el desarrollo de Delphis on-line ([http://www.calibrum.com/tf\\_delphi.htm](http://www.calibrum.com/tf_delphi.htm))

Las herramientas en red dan un soporte tecnológico para la resolución de los problemas: Tiempo, Dinamismo, Información y Participación.

La herramienta Surveylet permite la realización de un cuestionario Delphi on-line. Así, según señalan sus creadores, Surveylet facilita la participación colectiva y retroalimentación dinámica de resultados mediante el uso de encuestas de opinión y consultas Delphi disponibles en Internet, que admiten la posibilidad de reflexionar ante posibles cambios, y procesar inmediatamente la información on-line. Simplifica la toma de decisiones y la consulta colectiva. El acceso a la encuesta se realiza mediante una página pública y la personalización del cuestionario mediante un código de entrada, representa una innovación y mejora en la planificación estratégica y estudios prospectivos.

### **Un ejemplo en España. El programa de Prospectiva del OPTI. Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial**

El Primer Programa de Prospectiva llevado a cabo por el OPTI entre 1998 y 2001 está constituido por un total de **26 estudios** realizados en **8 sectores de actividad**. Para la ejecución de estos estudios se formaron **26 Paneles de Expertos** y se elaboraron otros tantos **cuestionarios Delphi** que fueron sometidos a la opinión de **5.000 especialistas, con un índice de respuesta después de circular dos veces los cuestionario, del 32%**.

Según los responsables del OPTI, éste índice avala plenamente la información obtenida y homologa el Programa español con los mejores ejercicios de prospectiva realizados en el ámbito internacional. Los resultados de los cuestionarios Delphi han sido analizados por los Paneles de Expertos, dando lugar a la **identificación de tendencias tecnológica** y tecnologías críticas asociadas, así como al establecimiento de **escenarios de futuro**.

El horizonte temporal de estos estudios de prospectiva es de 15 años

**Los estudios de prospectiva sectorial realizados hasta el momento han sido:**

**Agroalimentario**  
**Tecnologías de Conservación de Alimentos.**  
**La biotecnología aplicada al sector alimentario.**  
**Tecnologías en el envasado agroalimentario.**

**Energía**  
**Energías Renovables.**  
**Tecnologías avanzadas de conversión de combustibles fósiles.**



**Tendencias tecnológicas en transporte, distribución, almacenamiento y uso final de la energía.**

**Medio Ambiente Industrial**  
**Gestión y Tratamiento de residuos industriales.**  
**Bienes de equipo medio ambientales.**  
**Tratamientos de aguas industriales.**

**Químico**  
**Química Fina.**  
**Química Básica Orgánica. Primeras Materias Plásticas.**  
**Agroquímica.**  
**Pasta, Papel y Cartón.**

**Tecnologías de la Información y las Comunicaciones**  
**Industria de contenidos digitales.**  
**Las TIC y la emergente economía digital.**  
**Convergencia de infraestructuras y servicios en el sector de las telecomunicaciones.**

**Transportes**  
**Aeronáutico.**  
**Ferrocarril**  
**Naval.**  
**Automoción.**

**Sectores Básicos y Transformadores**  
**Tecnologías de Fabricación de Productos Metálicos**  
**Tecnologías de transformación de piezas de plásticos y materiales compuestos**  
**Bienes de equipo para la fabricación de piezas unitarias**

**Sectores Tradicionales**  
**Tecnologías de Diseño**  
**Tecnologías de automatización**  
**Tecnologías limpias y de reciclaje**

Estos estudios están publicados en tres Informes de Prospectiva Tecnológica que pueden ser consultados en el apartado de [PUBLICACIONES](#) de la página web del OPTI: <http://www.opti.org>

## **ÚTILIDAD Y LÍMITES DEL MÉTODO DELPHI**

Una de las ventajas del delphi es la quasi-certeza de obtener un consenso en el desarrollo de los cuestionarios sucesivos (pero ¡atención! convergencia o consenso no significa coherencia). Por lo demás, la información recogida en el curso de la consulta acerca de acontecimientos, tendencias, rupturas determinantes en la evolución futura del problema estudiado, es generalmente rica y abundante. Finalmente, este método



puede utilizarse indistintamente tanto en el campo de la tecnología, de la gestión y de la economía como en el de las ciencias sociales.

Varios son los problemas que limitan el alcance del método que se revela largo, costoso, fastidioso e intuitivo más que racional. Si bien es cierto que las nuevas tecnologías han permitido el relanzamiento del método Delphi, que ciertamente había caído en cierto desuso. La tramitación presionante (encuesta en varias tandas) es además discutible puesto que solo los expertos que se salen de la norma deben justificar su posición. Sin embargo, podemos considerar también que la opinión de los divergentes es, en terminos de prospectiva, más interesante que aquella de los que entran en el rango. Por otra parte, no se toman en consideración las posibles interacciones entre las hipótesis consideradas y son incluso evitados en la propia construcción de la encuesta, esto es lo que ha conducido a los promotores del método Delphi a desarrollar los métodos de impactos cruzados probabilistas.

## **CONCLUSIONES PRÁCTICAS**

Aparentemente el Delphi parece un procedimiento simple, fácilmente aplicable en el marco de una consulta a expertos. Sin embargo existe el riesgo de que los fracasos y/o decepciones desanimen a los "usuarios aficionados". El método viene bien para las aplicaciones decisionales, pero debe estar adaptada en función del objetivo del estudio para la prospectiva. En particular, no es necesario obtener a toda costa una opinión consensuada mediana, pero es importante poner en evidencia varios grupos de respuestas para el análisis de puntos de convergencia múltiples.

Delphi es sin duda una técnica que desde hace unos cuarenta años ha sido objeto de múltiples aplicaciones en el mundo entero.

A partir del procedimiento original, se han desarrollado otras aproximaciones. De este modo, la mini-Delphi propone una aplicación en tiempo real del método: los expertos se reúnen en un lugar y debaten cada cuestión antes de responder. Últimamente, la utilización de nuevos modos de interacción entre expertos, como el correo electrónico, tienden a desarrollarse y a convertir el procedimiento en más flexible y rápido.



## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

BIGUES P.A., *Prospective et compétitivé*, Mac Graw Hill 1985.

GODET M., *Manuel de prospective stratégique, tome 2: L'art et la méthode*, Dunod, Paris 1997.

HELMER O., *Looking forward: a guide to futures research*, Sage publications, 1983.

LANDETA, Jon. *El metodo Delphi*. Ariel. 1999. Barcelona.

LINSTONE H.A., TURROF, M., *The Delphi method, techniques and applications*, Addison wesley publishing, 1975.

MARTINO J.P., *Technological forecasting for decision making*, Mac Graw Hill, 1993.

SAINT-PAUL R., TÉNIÈRE-BUCHOT P.F., *Innovation et évaluation technologiques*, Entreprise moderne d'édition, 1974.