



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CONTAMINACIÓN DE SUELOS CON  
HIDROCARBUROS, DERRAMADOS EN ACCIDENTES  
CARRETEROS EN LA CIUDAD DE MEXICO Y  
ALREDEDORES DE 1996 A 2000, Y PROPUESTAS  
DE RESTAURACION

**T E S I S**

**M A N C O M U D A**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

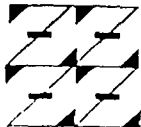
**PRESENTAN:**

**ROSALBA DE LA CRUZ GOMEZ**

**JESSICA GONZALEZ GUTIERREZ**

**DIRECTOR: DR. TOMAS GONZALEZ MORAN**

U.N.A.M  
FES  
ZARAGOZA



LO HUMANO ES  
DE NUESTRA REFLEXION

MEXICO, D. F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

FEBRERO, 2002



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

# PAGINACION DISCONTINUA



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/532/01**

**ASUNTO: Asignación de Jurado**

**ALUMNA: DE LA CRUZ GOMEZ ROSALBA**  
**P r e s e n t e .**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>Presidente:</b>	<b>I.Q. Hugo Héctor Martínez Rojas</b>
<b>Vocal:</b>	<b>Dr. Tomás González Morán</b>
<b>Secretario:</b>	<b>I.Q. Gonzalo Rafael Coello García</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. José Antonio Zamora Plata</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. María del Rocío Luja Hernández</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A t e n t a m e n t e .**  
**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”**  
México, D. F., 18 de Octubre del 2001.

**EL JEFE DE LA CARRERA**

**I.Q. ARTURO E. MENDEZ GUTIERREZ**

***A mi madre***

Martha T. Gómez por su amor, confianza  
Y consejos cuando más los necesite.  
A ti te debo todo lo que soy.

***A mi padre***

Felipe De la Cruz por su paciencia, apoyo  
Moral y económico, espero nunca defraudarte.

Por todos sus sacrificios realizados gracias  
Por ser mis padres y amigos.

***A mi hermana***

Angélica por estar a mi lado en los momentos  
Más difíciles de mi vida, por su apoyo, cariño  
Y comprensión.

***A mi hermano***

Felipe por su apoyo

***A mis tíos***

En especial a Guadalupe, Carlos, Cosme  
Y Ausencio por su cariño y consejos

***A mis primos***

En especial a Jessica, Angel y Paco  
Por estar cerca de mi y alegrar mis  
Momentos de tristeza

***A mis amigos***

Por su cariño, apoyo y amistad  
Incondicional.

***ROSALBA DE LA CRUZ G.***

**A mi padre**

David González Villaverde, por su paciencia,  
Su apoyo en todo momento, su confianza  
Y sobre todo su ejemplo de salir adelante

**A mi madre**

Aurelia Gutiérrez Leyva, por su confianza,  
Apoyo incondicional, tu cariño, y por brindarme  
Lo más bello que es la vida

Gracias a los dos por su paciencia, su confianza  
Y comprensión

**A mis hermanos**

Uriel, por creer en mi y contar  
Con su apoyo en todo momento

Octavio, por su apoyo que me dio

Erika, por ser tan ocurrente y hacerme  
La vida más amena, y sobre todo  
Ser mi amiga

Sibi Yoali, por llenar de alegría  
Nuestras vidas

A mi sobrina Carolina, por ser una  
Esperanza para seguir adelante

**A mis amigos**

Que siempre estuvieron conmigo  
En las buenas y en las malas  
Y que siempre contare con ellos  
Gracias por su amistad, los llevó  
En el corazón

**JESSICA GONZALEZ GUTIERREZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitir realizar nuestros objetivos y estar siempre a nuestro lado.

A nuestras respectivas familias por su gran apoyo y paciencia que nos brindaron para la realización de nuestros estudios.

Al Dr. Tomás González Morán por su apoyo y contribuciones para la realización de este trabajo.

Al área de Riesgos Químicos del CENAPRED, en especial a la Dra. Georgina Fernández por su apoyo y facilidades otorgadas para la elaboración de esta tesis.

Al Profesor Antonio Avalos Ramírez por sus consejos y comentarios, gracias por su amistad.

A la M.I. Cecilia Izcapa Treviño por su apoyo y comentarios.

A la M.I. Martha E. Alcántara por sus contribuciones para llevar a cabo este trabajo.

Al H. Jurado, por sus comentarios y aportaciones tan valiosas.

A la UNAM por hacer posible la realización de nuestros estudios.

A la FES Zaragoza y profesores que han contribuido a nuestra formación profesional.

A nuestros amigos y compañeros que estuvieron siempre con nosotros a lo largo de la carrera.

## **GRACIAS**

# INDICE

Página

Lista de Tablas.....	iv
Lista de Gráficas.....	vi
Lista de Figuras.....	vii
Indice de Abreviaturas.....	viii
Resumen.....	ix

## CAPITULO I INTRODUCCION

1.1 Introducción.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Alcances.....	4
1.4 Limitaciones.....	4

## CAPITULO II INDUSTRIA EN MEXICO

2.1 Antecedentes de la Industria.....	6
2.1.1 Industria en México.....	6
2.2 Aspectos generales de la Industria Química.....	12
2.2.1 Industria Petroquímica.....	13
2.2.2 Parques y Corredores Industriales en México.....	15
2.2.3 Ubicación de Parques y Corredores Industriales en el Estado de México, Morelos, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y D.F.....	17
2.3 Efectos de la Industrialización.....	31
2.3.1 Repercusiones ambientales.....	33
2.4 Clasificación de sustancias peligrosas.....	38
2.5 Aspectos legales sobre residuos peligrosos y contaminación de suelos.....	41
2.5.1 Legislación ambiental mexicana sobre contaminación del suelo ....	41

## CAPITULO III SELECCION DE ZONAS CONTAMINADAS

3.1 Características de la red federal de carreteras.....	46
3.2 Selección de zonas contaminadas en el área de estudio.....	50
3.2.1 Estadísticas de accidentes carreteros durante el transporte de materiales y residuos peligrosos en el Estado de México, Morelos, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y D.F.....	50
3.2.2 Delimitación del número de eventos .....	57
3.2.3 Acciones preventivas para la disminución de accidentes carreteros.....	61



## INDICE

	<b>Página</b>
3.3. Selección del contaminante (hidrocarburos).....	63
3.3.1 Efectos toxicologicos y de la salud de los hidrocarburos.....	64
3.4. Concepto y definiciones de suelo.....	68
3.4.1 Propiedades físicas y químicas del suelo.....	69
3.4.2 Contaminación del subsuelo por hidrocarburos.....	71
3.4.3 Contaminación del agua subterránea.....	73

### **CAPITULO IV**

#### **EVALUACION DE LAS ZONAS AFECTADAS CON PROPUESTAS DE RESTAURACION**

4.1 Evaluación del sitio contaminado.....	76
4.1.1 Evaluación preliminar del sitio contaminado.....	77
4.1.2 Evaluación detallada del sitio.....	78
4.1.3 Revisión de la información disponible.....	79
4.2 Muestreo (Concepto y tipos).....	79
4.2.1 Muestreo del sitio contaminado.....	80
4.2.2 Selección de los sitios de muestreo.....	81
4.2.3 Preparación de la muestra.....	82
4.3 Desarrollo de criterios de limpieza.....	83
4.3.1 Criterios de limpieza.....	85
4.3.2 Evaluación de riesgo.....	88
4.3.3 Evaluación de riesgo a la salud humana.....	88
4.3.4 Evaluación de riesgo específico para un sitio contaminado.....	89
4.3.5 Evaluación del riesgo ecológico.....	90
4.4 Tecnologías de restauración.....	90
4.4.1 Restauración.....	91
4.4.2 Clasificación de tecnologías de restauración.....	93
4.5. Tecnologías de restauración para suelos contaminados por hidrocarburos.....	95
4.6 Pasos a seguir para restaurar un sitio contaminado.....	114

### **CAPITULO V**

#### **CONCLUSIONES**

5.1 Conclusiones.....	119
-----------------------	-----

### **ANEXOS**

Anexo 1 Residuos peligrosos.....	123
Anexo 2 Aspectos legales sobre residuos peligrosos y contaminación de suelos.....	125
Anexo 3 Hidrocarburos.....	140

GLOSARIO.....	154
---------------	-----

BIBLIOGRAFIA.....	159
-------------------	-----

## LISTA DE TABLAS

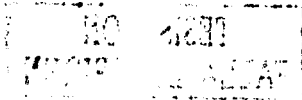
Número de Tabla	Página
2.1. Parques industriales localizados en la República Mexicana.....	16
2.2. Parques y complejos industriales localizados en el Estado de México.....	18
2.3. Parques y complejos industriales localizados en el Estado de Morelos.....	20
2.4. Parques y complejos industriales localizados en el Estado de Puebla.....	22
2.5. Parques y complejos industriales localizados en el Estado de Querétaro.....	24
2.6. Parques y complejos industriales localizados en el Estado de Hidalgo.....	26
2.7. Parques y complejos industriales localizados en el Estado Tlaxcala.....	28
2.8. Características CRETIB.....	39
3.1 Características de la red federal de carreteras.....	47
3.2. Longitud y características de la red federal de carreteras.....	49
3.3. Accidentes carreteros con materiales y residuos peligrosos ocurridos en 1996- 2000.....	51
3.4. Causas que originan accidentes carreteros.....	56
3.5. Accidentes carreteros con derrame de sustancias peligrosas en un radio de 90 Km.....	59
4.1. Contenedores para muestras de suelo.....	82

## LISTA DE TABLAS

Número de Tabla	Página
4.2. Características específicas del sitio contaminado.....	87
4.3. Costos estimados para diferentes tecnologías de restauración de suelos.....	110
4.4 Ventajas y desventajas de tecnologías de restauración.....	111
A1.1 Generación estimada de residuos peligrosos por entidad federativa (2000).....	123
A2.1 Normas oficiales mexicanas para el manejo y transporte de materiales y residuos peligrosos.....	131
A3.1 Productos petroquímicos básicos.....	140
A3.2 Efectos a la salud debido a la exposición de hidrocarburos.....	148
A3.3 Especificaciones de análisis de laboratorio aplicables a hidrocarburos en el suelo.....	150
A3.4 Criterios de limpieza de suelos contaminados por hidrocarburos.....	151
A3.5 Clasificación de hidrocarburos aplicables a restauración.....	152

## LISTA DE GRAFICAS

Número de Gráfica	Página
2.1. Porcentaje de la industria manufacturera por sector.....	11
3.1. Estado físico de la Red federal de carreteras (1999).....	49
3.2. Accidentes carreteros con derrame de sustancias peligrosas (1996 - 2000).....	52
3.3. Porcentaje de accidentes carreteros con derrame de sustancias peligrosas ocurridos en 1996.....	53
3.4. Porcentaje de accidentes carreteros con derrame de sustancias peligrosas ocurridos en 1997.....	53
3.5. Porcentaje de accidentes carreteros con derrame de sustancias peligrosas ocurridos en 1998.....	54
3.6. Porcentaje de accidentes carreteros con derrame de sustancias peligrosas ocurridos en 1999.....	54
3.7. Porcentaje de accidentes carreteros con derrame de sustancias peligrosas ocurridos en el primer trimestre del 2000.....	55



## LISTA DE FIGURAS

Número de figura	Página
2.1. Localización de Parques Industriales en el Estado de México.....	19
2.2. Localización de Parques Industriales en el Estado de Morelos.....	21
2.3. Localización de Parques Industriales en el Estado de Puebla.....	23
2.4. Localización de Parques Industriales en el Estado de Querétaro.....	25
2.5. Localización de Parques Industriales en el Estado de Hidalgo.....	27
2.6. Localización de Parques Industriales en el Estado de Tlaxcala.....	29
3.1. Principales carreteras de la República Mexicana.....	48
3.2. Delimitación de la zona de estudio.....	58
3.3 Zonas del subsuelo.....	72
4.1 Proceso de lavado de suelo in situ.....	97
4.2 Diagrama de flujo pasos a seguir para la restauración de un sitio.....	115

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**ACARMEX:** Base de datos de Accidentes Carreteros en México.

**ANIQ:** Asociación Nacional de la Industria Química

**CENAPRED:** Centro Nacional de Prevención de Desastres.

**CRETIB:** Características Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas, Inflamables y Biológico - Infeccioso.

**IMT:** Instituto Mexicano del Transporte.

**INE:** Instituto Nacional de Ecología

**LGEEPA:** Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

**NOM:** Normas Oficiales Mexicanas.

**PEMEX:** Petróleos Mexicanos

**PF:** Policía Federal Preventiva.

**PROFEPA:** Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

**RTTMRP:** Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.

**SCT:** Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

**SEMARNAT:** Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (antes SEMARNAP).

**SETIQ:** Sistemas de Emergencia en el Transporte de la Industria Química.

## RESUMEN

En México el acelerado crecimiento industrial de las últimas décadas, ha tenido efectos positivos y efectos negativos. El más evidente es el deterioro ambiental. Especialmente en un País como el nuestro donde el desarrollo petrolero es desenfrenado, el crecimiento urbano y la ubicación de Parques Industriales han propiciado grandes problemas al medio ambiente.

En el presente estudio se realiza una investigación acerca de los problemas ocasionados por el transporte de sustancias peligrosas, enfocado a eventos carreteros ocurridos en la Ciudad de México, Hidalgo, México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala, en el periodo de 1996 a 2000.

Se realiza un análisis de las sustancias peligrosas involucradas con mayor frecuencia en los eventos carreteros. En la base de datos ACARMEX, los resultados resaltan la presencia de los hidrocarburos, dentro de los cuales destacan el gas L.P., el combustóleo y la gasolina reflejo la gran demanda de estos combustibles.

Se hace mención de la ley sobre el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, y los principales aspectos de la legislación en materia de contaminación del suelo, proponiendo distintas tecnologías de restauración para suelos contaminados con hidrocarburos.

**CAPITULO 1**  
**INTRODUCCION**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



# INTRODUCCION

## 1.1 INTRODUCCION

La contaminación ambiental es un problema de gran interés tanto en México, como en el resto del mundo. A últimas fechas se ha dado mayor importancia a la protección del medio ambiente, ya que una de las principales preocupaciones es de preservar el equilibrio ecológico del planeta.

En algunas sociedades el hombre, así como las industrias son los principales generadores de contaminación al medio ambiente, debido a la mala disposición de residuos y materiales peligrosos, y en especial, durante su transporte por el derrame de sustancias químicas.

El presente estudio esta enfocado a la contaminación de suelos con derrames de sustancias peligrosas por accidentes carreteros. Considerando lo anterior, se revisó información sobre eventos carreteros en la República Mexicana, siendo posible identificar que los estados donde mayor número de accidentes ocurren (y muchos de ellos, con derrame de materiales y residuos peligrosos transportados) son: Hidalgo, México, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Ciudad de México y Querétaro este último, aunque no se encuentra dentro del área de estudio seleccionada, se ha considerado por sus vías de comunicación con Nogales, Ciudad Juárez, Palmillas, Nuevo Laredo, etc. La selección del área de estudio se realizó por existir a nivel estatal centros industriales importantes, con alto flujo vehicular y paso obligado entre ciudades industriales. El número de accidentes con sustancias químicas durante su transporte ha ido en aumento, la mayoría con derrames de hidrocarburos, gas L.P. y compuestos inorgánicos. Estos eventos ocurren principalmente por el manejo inadecuado de los vehículos, exceso de velocidad, somnolencia del conductor, etc (De la Cruz, 2000). Es por ello que se han elaborado leyes, normas y reglamentos para el almacenamiento y transporte de materiales y residuos peligrosos que día con día se amplían y corrigen, a manera de disminuir los riesgos de ocurrencia de accidentes. Especialmente fue elaborado por la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT), un

reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, aplicables a los vehículos que viajan por caminos de jurisdicción federal (RTTMRP, SCT, 1996).

Afortunadamente, con la existencia y evolución de métodos y tecnologías utilizadas para la restauración de suelos, existen alternativas para reducir o eliminar parcialmente algunos problemas ocasionados por la presencia de materiales peligrosos. En capítulo 4, se presentan diferentes tecnologías para la restauración de suelos contaminados por hidrocarburos.

## 1.2 OBJETIVOS

### Objetivo General.

Analizar información de accidentes carreteros en los estados de: México, Puebla, Tlaxcala, Morelos, Hidalgo y D.F., seleccionando derrames con hidrocarburos dadas sus características contaminantes.

### Objetivos Particulares

- Identificar zonas conflictivas y más contaminadas por hidrocarburos.
- Caracterizar el tipo de hidrocarburo derramado con mayor frecuencia.
- Identificar las causas de ocurrencia de mayor número de accidentes carreteros en la zona de estudio, aportando acciones preventivas para su disminución.
- Proponer medidas de restauración de suelos contaminados por hidrocarburos.

### **1.3 ALCANCES**

En el presente trabajo, se seleccionaron accidentes carreteros que presentan derrames de sustancias químicas peligrosas, ocurridos en un radio de 90 Km., tomando como punto de partida el centro de la Ciudad de México. Esta investigación abarca eventos ocurridos en los estados de: México, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Morelos y el D.F, en el periodo de 1996 - 2000.

Mediante el análisis de información proporcionada por dependencias oficiales (CENAPRED, PFP, SCT, IMT, CAPUFE), se estableció la ubicación de los sitios donde ocurrieron los accidentes, así como de las sustancias derramadas. Así mismo, con la finalidad de contribuir al problema ambiental que representan los suelos contaminados por sustancias químicas, se mencionan las mejores tecnologías de restauración para las sustancias con mayor frecuencia de derrame.

### **1.4 LIMITACIONES.**

La evaluación de sitios contaminados en el área de estudio, se llevo acabo a través del análisis de información proporcionada por PFP, ANIQ, medios de comunicación (periódico, radio y televisión) y por la base de datos de ACARMEX (base de datos elaborada por CENAPRED). La información de ACARMEX es una base de datos actualizada hasta marzo del año 2000. Sin embargo en muchas ocasiones los accidentes no son reportados, siendo imposible tener el número real de eventos ocurridos con derrames, por lo que es muy probable la existencia de más zonas contaminadas.

# **CAPITULO 2**

## **INDUSTRIA EN MEXICO**

# INDUSTRIA EN MEXICO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 2.1 Antecedentes de la Industria

En los primeros tiempos, todo hombre debía bastarse a sí mismo; para ello ejercía actividades de muy distinta índole y los objetos contruidos de ese modo solían ser muy toscos. Paulatinamente se dedicaron a la satisfacción de sus necesidades, así comenzó la división de trabajo y la organización incipiente de la industria (considera como un conjunto de procedimientos que emplea el hombre para transformar las materias primas en materiales útiles para satisfacer sus necesidades).

En 1769 la invención de la máquina de vapor permitió montar grandes fábricas y producir miles de artículos en serie, y en 1831 Miguel Faraday descubrió la energía eléctrica. Así nacieron los motores y el poder de la electricidad reemplazando con ventaja a las máquinas de vapor, ya que los motores eléctricos son pequeños, simples y potentes. Surgiendo así la industria eléctrica.

A partir de estos dos grandes inventos, todos los países tienden a la industrialización aun los más atrasados, porque comprenden que de ella depende en gran parte su comodidad y la elevación del nivel de vida de su población.

### 2.1.1 Industria en México

En el siglo XIX en la Nueva España, la industria textil era la más añeja y persistente, junto como la de tabaco, extendiéndose en las ciudades de Puebla, Tlaxcala, Querétaro y Guadalajara. Poco después las fábricas de lozas y vidrios comenzaron a establecerse en la ciudad de Puebla (aunque en franca decadencia). Como productor destacado en el ramo de jabón figura Guadalajara y ya para entonces, la industria peletera de Guanajuato disfrutaba de renombre.

El tabaco industrializado rendía ganancias más elevadas. Los enormes beneficios de esta actividad se originaron en la monopolización estatal del

producto. En la "Real fabrica de tabaco" de Querétaro, el valor de la producción de esta manufactura a precios de mercado, superaban los 7 millones de pesos; el costo de la producción (gastos de fabrica, sueldos y materias primas) no llegaban a los 3 millones de pesos; ofrecía de tal suerte un rendimiento superior al 100% anual.

En 1824 surge la necesidad de elegir un lugar que sirviera de residencia a los poderes de la Federación. Se determinó que el lugar adecuado sería una ciudad localizada geográficamente en el centro del país como la Ciudad de México. En aquel tiempo la capital tenía una población de 165 mil habitantes aproximadamente y el país era prácticamente agrícola y minero, con una población de 6.8 millones . Con la necesidad de contar con un apoyo financiero para impulsar a la industria nacional, en 1830 se creó el Banco de Avío, cuyo objetivo era fomentar la industria capitalista fabril otorgando prestamos en efectivo por maquinaria a intereses preferenciales. Este existió durante un periodo de 12 años y concedió préstamos por 7,773,695 pesos a 31 empresas (Pérez, 1995).

En 1836 al tomar el poder Antonio López de Santa Anna, estableció una República centralista desapareció el Federalismo y decreto la creación del Distrito de México que después de la revolución de Ayutla se transformo en un "Distrito Federal " (Pérez, *op.cit.*).

En 1843 se instaló la fábrica de papel "Peña Pobre", que hasta 1988 fue una de las más grandes de América Latina. También se montaron instalaciones para elaborar telas de hule, y algunas fundiciones.

En el período de 1876 a 1910 se establecieron los factores definitivos que refuerzan la tendencia a la concentración de la industria en la ciudad de México. A partir de esta época queda atrás la ciudad de Puebla, que hasta entonces reunía las condiciones necesarias para fungir como principal centro industrial del país.

Para 1879 Puebla seguía teniendo mayor importancia con el 21.2% de los establecimientos, le seguía Jalisco y en tercer lugar el Distrito Federal. Respecto al resto de las ramas industriales, predominaba la pequeña producción de alimentos, prendas de vestir y cuero, para el consumo de los capitalinos (Pérez, *op.cit.*).

A partir de 1880 se inició un período de gran desarrollo del ferrocarril gracias a las concesiones que se otorgaron a empresarios norteamericanos para construir las principales líneas troncales que comunicarían a la capital con la frontera norte, lo que se convertiría en el núcleo principal del sistema ferroviario. De esta manera, la ciudad de México fue la localidad mejor interconectada por el sistema ferroviario, lo que permitió desarrollarse como principal mercado.

Por otro lado, la energía eléctrica se introdujo en México una década después de su aparición en los países más desarrollados. Una de las primeras plantas de energía eléctrica fue la de la fábrica de hilados y tejidos de Heyser y Portillo, en la ciudad de León, Guanajuato.

Posteriormente en 1888 se construyó sobre el río Atoyac a 12 Km de la ciudad de Puebla la primera hidroeléctrica para proporcionar energía eléctrica a las fábricas textiles. Un año más tarde se instaló la segunda planta hidroeléctrica en las minas Batopilas en Chihuahua (Pérez, *op.cit.*).

Durante el período revolucionario surgieron varias industrias de importancia, en la ciudad de Pachuca se inició la fabricación de piezas de maquinaria y carrocerías. En Nuevo León se establecieron plantas de glicerina y perfumes y en San Luis Potosí, se instalaron fábricas de carros de ferrocarril. En esta etapa, la rama de laboratorios de artículos para tocador y farmacéuticos entró en un proceso de ampliación y modernización. Se instalaron la planta de montaje de la compañía Ford, en 1926; la compañía Simmons, productora de camas y colchones, en 1927; hacia 1930, cerca de la frontera, tres plantas empacadoras de manteca importada de los Estados Unidos. La fábrica "El Popo" inició un programa experimental para producir llantas e impermeables. Las fábricas de cigarrillos, de propiedad angloamericana, introdujeron maquinaria más moderna. Y la industrialización se aceleró notablemente en algunas zonas, como la de Monterrey (Pérez, *op.cit.*).

Para 1930, de toda la producción industrial, el 33% correspondía a la rama alimenticia, 28 % a la industria textil, el 26% al grupo de industrias de la construcción, electricidad, madera y muebles, papel, artes gráficas, vidrios, hule, tabaco, peletería, joyería, óptica; el 13% restante a la industria química y siderurgia (Pérez, *op.cit.*).

A partir de 1940, la industria se ha desenvuelto dentro de un cauce de relativa estabilidad, lo cual permite presentar algunos aspectos que caracterizan el desarrollo de la industria de transformación. Entre 1940 y 1955 existió un ligero descenso en la industria de productos alimenticios y textiles, la industria química tuvo una participación muy importante no obstante que la construcción de vehículos, maquinaria y artefactos eléctricos, tuvieron un aumento considerable. En 1959 el establecimiento de la industria petroquímica básica dio principio a una época de gran trascendencia para la integración industrial del país (Pérez, *op.cit.*). De 1980 hasta 1985 ocurrió una de las crisis más profundas en la historia de México, en este último año, el personal ocupado en la industria a nivel nacional fue de 2 millones 303 mil, de los cuales 843,800 se encontraban en la ciudad de México, hubo una reducción industrial y quedaron 205,382 desempleados (Pérez, *op.cit.*).

La política de fomento industrial ha incrementado la modernización y la competitividad del aparato productivo nacional. De esta manera se concertaron programas con diversas ramas industriales para inducir un cambio en sus estructuras y procesos de fabricación (Pérez, *op.cit.*).

El 1 de enero de 1994 entró en vigor el primer Tratado de Libre Comercio "Tratado de Libre Comercio de América del Norte" (TLCAN), entre México, Estados Unidos y Canadá, para fomentar el intercambio comercial y los flujos de inversión entre los tres países, mediante la eliminación paulatina de los aranceles o impuestos que pagan los productos para entrar a otro país. A partir de ese momento se realizaron otros Tratados con la Unión Europea (U.E.) y América Latina.



Con ello, México busca:

- Aumentar su competitividad.
- Diversificar las fuentes de insumos.
- Fomentar mayores flujos de inversión.
- Promover la transferencia de tecnologías en beneficio de las empresas Mexicanas.
- Generar más y mejores empleos

Un ejemplo de ello es la Industria Química que con las políticas de liberalización a incrementar el potencial comercial y con el TLCAN, el crecimiento en el comercio total de México en la Industria Química es del 93% (SECOFI, 2000).

A grandes rasgos la industria nacional esta conformada por 4 distintas actividades:

- ◊ Industria manufacturera
- ◊ Industria extractiva
- ◊ Industria de la construcción
- ◊ Industria Eléctrica

Cada una de ellas se puede clasificar por subsector:

### **Industria manufacturera**

Textiles, prendas de vestir e industria del cuero

- Industria de madera y productos de madera (incluyendo muebles)
- Industria química: productos alimenticios, bebidas, productos de papel, sustancias químicas, productos derivados del petróleo, carbón, hule y plástico, .
- Productos minerales no metálicos
- Industrias metálicas básicas. Productos metálicos, maquinaria y equipo, se incluyen instrumentos quirúrgicos y de precisión.

### **Industria extractiva**

Carbón

Petróleo y gas natural

Extracción de minerales metálicos y extracción de minerales no metálicos

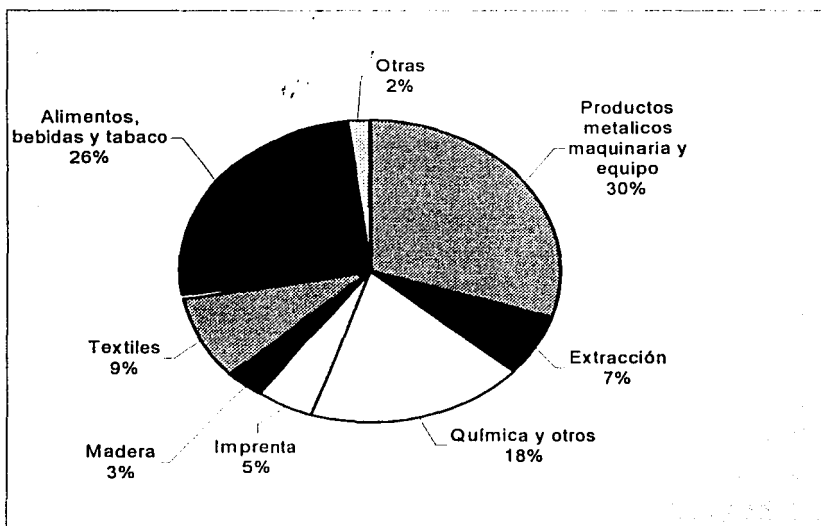
**Industria de la construcción**

Construcción

**Industria Eléctrica**

Electricidad

Dentro de la contribución al PIB en la industria manufacturera, las ramas de actividad más importantes en cuanto a su participación económica se puede analizar en la gráfica 2.1, la Industria de alimentos, bebidas y tabaco con el 26%, seguida por los productos metálicos, maquinaria y equipo con el 30% y finalmente la rama de la industria química, derivados del petróleo, caucho y plástico, con el 18%.

**Gráfica 2.1. Porcentaje de la industria manufacturera por subsector**

Fuente: INEGI, 1994

Dentro de este concepto, la industria química es el elemento más dinámico en la industria manufacturera nacional. Las transformaciones químicas juegan un papel muy importante ya que mediante reacciones químicas, los recursos naturales son utilizados como materia prima, y sus derivados pueden reutilizarse en otras industrias (INEGI, 1993).

## 2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA INDUSTRIA QUIMICA

La industria química, relegada en otras épocas hoy ocupa uno de los primeros lugares en la enseñanza superior. En ella se fundamentan diferentes actividades, que proporcionan muchos insumos utilizados cotidianamente, tales como: la fabricación del gas L.P., de artículos de plástico, colorantes, muchas sales, cloruros, preparados metálicos.

Las fuentes de las cuales el hombre puede obtener energía han sido acrecentadas por la química. La gasolina de alto octanaje son el resultado de un proceso fisico-químico. El principal procedimiento químico para obtener energía en varias formas, se realiza a partir de la hulla, la cual genera coque, que se convierte en combustible para usos industriales y domésticos. Este proceso da origen al amoníaco (utilizado en la fabricación de fertilizantes) y a muchos otros productos de numerosas aplicaciones como el benceno, tolueno, fenol, naftalina, antraceno, etc. Estos productos químicos pueden ser a su vez transformados en muchos artículos valiosos, incluyendo tintes, materiales plásticos, medicamentos, perfumes y explosivos, entre otros.

A través de la química, el hombre ha conseguido crear millones de sustancias y productos nuevos para satisfacer sus necesidades. Actualmente metales de difícil obtención, como el cadmio, magnesio y aluminio, son obtenidos en grandes cantidades, para necesidades industriales, gracias a los métodos de extracción y reducción proporcionados por el progreso de la industria química.

De una combinación de piedra caliza y arcilla se obtiene el cemento, material esencial en la construcción. El azufre es transformado en ácido sulfúrico uno de los más importantes compuestos químicos. De la sal común se obtiene

sodio, cloro y diversos compuestos de gran utilidad. La agricultura ha sido adaptada a la producción de materias primas para la industria de alimentos, fibras textiles, plásticos etc.

Desde 1924 la Compañía Petrolera "El Aguila" inició la producción de ácido sulfúrico en Veracruz; en los años treinta se establecieron fábricas de productos químicos básicos. En 1938, el impulso de la Industria Química moderna en México tuvo lugar, a partir de la expropiación petrolera. En el mismo año surge "Productos Químicos de México" productor de sosa cáustica y carbonato de sodio, y en 1943 se creó Celanese Mexicana para la producción de fibras químicas.(ANIQ, 1999).

Durante los años cuarenta, el desarrollo de la Industria Química se centro en la fabricación de insecticidas, así como de hormonas esteroides, fundándose en 1944 los laboratorios "Syntex". Gracias a la Industria de hormonas esteroides produce un gran desarrollo en las tecnologías de síntesis de productos químicos complicados, dando lugar al surgimiento de empresas de este giro (ANIQ, *op. cit.*).

### **2.2.1 INDUSTRIA PETROQUIMICA**

Una de las industrias más antiguas del país es la petroquímica. Sin lugar a dudas, es la que maneja mayores recursos dentro del marco industrial mexicano y por tanto de gran importancia dentro del modelo de desarrollo existente.

La Industria Química y Petroquímica se han caracterizan por ser el sector de inicio de operaciones para la elaboración de materias primas básicas. Estas operaciones concluyen con la fabricación de productos utilizados, generalmente, como materias primas para otras industrias, e incluso para consumo final.

A la par del crecimiento de Petróleos Mexicanos (PEMEX) se inicia el desarrollo de la industria química Mexicana, dando lugar a nuevas empresas.

A partir de 1975 y durante los siguientes 10 años, se genera el plan nacional de desarrollo industrial, proporcionado a la industria, en general, diversos incentivos fiscales y económicos, tales como tarifas diferenciales en energéticos e insumos petroquímicos básicos. Ante esta situación se instalaría la capacidad de producción suficiente para exportar el 25% de petróleo durante tres años, sin que

ese compromiso de exportación implicara desatender el mercado interno. Lo anterior buscó contribuir al desarrollo de una industria competitiva orientada a la exportación (ANIQ, *op.cit.*).

Por su parte el gobierno tenía la responsabilidad del abastecimiento de energéticos y agua, así proveer la infraestructura necesaria en vivienda, comunicaciones y servicio. Así, el plan de desarrollo dio lugar a la construcción de cuatro grandes complejos productores: "La Cangrejera", "Cosoleacaque", "Pajaritos" y "Morelos", y cinco centros de menor tamaño: "Escolin", "Camargo", "Salamanca", "Tula" e "Independencia" (ANIQ, *op.cit.*).

Dentro de las actividades de la industria petroquímica básica se producen materias primas, para la industria química, así como la industria de solventes, pinturas, recubrimientos, alimentos, fármacos, pegamentos y adhesivos, propelentes, obtención de hidrógeno, industria hulera, elaboración de tintes para la imprenta, de aceites y grasas industriales, etc. Dentro de la petroquímica básica (ver tabla A3.1, anexo 3) los principales productos son: etano, heptano, hexano, Materia prima para negro de humo, propano, butano, pentano y naftas, y dentro de los petroquímicos secundarios están: acetileno, amoniaco, benceno, butadieno, butilenos, etileno, metanol, n-parafinas, o-xileno, p-xileno, propileno, tolueno y mezcla de xilenos (ANIQ, *op.cit.*).

La industria química y petroquímica se puede dividir por el tipo de producción, en tres grupos (ANIQ, *op.cit.*):

1. Elaboración primaria, transformación y/o tratamiento de productos básicos crudos.
2. Elaboración de productos con composición química específica.
3. Elaboración de productos con procesos químicos y mecánicos.

Esta industria es pieza fundamental para el desarrollo de numerosas cadenas productivas sus productos están presentes prácticamente en todas las actividades de la vida económica; abastece a más de 40 ramas industriales y demanda bienes y servicios de más de 30 de ellas. Está integrada hacia materias primas y es una industria altamente concentrada, las empresas que participan en ella son grandes y muy competitivas.

México es uno de los principales productores de petróleo, ocupa mundialmente el octavo lugar en reservas probadas de petróleo y el duodécimo en reservas de gas natural, se encuentran en una región que se caracteriza por su alta demanda de petróleo y sus derivados. Los diversos tratados comerciales realizados con diferentes economías brindan a la industria oportunidades de exportación que pocos países tienen.

En México la economía está integrada por más de 350 empresas que operan más de 400 plantas productivas, ubicadas principalmente en los estados de Veracruz, México, D.F., Nuevo León y Tamaulipas.

### **2.2.2 PARQUES Y CORREDORES INDUSTRIALES EN MEXICO**

En México los parques, ciudades y/o corredores industriales tienen una importancia económica relevante. Son productos de la necesidad de desconcentración de áreas metropolitanas, mediante la creación de nuevos polos de desarrollo.

Se considera al parque industrial como un área planeada para promover establecimientos de empresas industriales mediante la dotación anticipada de infraestructura, naves y servicios comunes que operan bajo una administración permanente. Estos desarrollos industriales generalmente se han agrupado dentro de localidades y fuera de ellas, con objeto de compartir una infraestructura y un mercado en común.

Aunque se le ha dado mayor aceptación al término "Complejo Industrial", este término se emplea de forma imprecisa, pero generalmente parece denotar un cierto tipo de conjunto o aglomeración industrial, en el cual las plantas individuales dependen unas de otras por lo que se refiere a sus materias primas o de consumo intermedio, en mayor grado de lo que es usual entre los establecimientos manufactureros heterogéneos.

Por la importancia económica de estos desarrollos industriales en México los censos actuales aportan información estadística de 292 parques industriales que operan en el territorio nacional. (SIEM, 2000), como podemos observar en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Parques industriales localizados en la República Mexicana**

ESTADO	PARQUES Y COMPLEJOS INDUSTRIALES	ESTADO	PARQUES Y COMPLEJOS INDUSTRIALES
Baja California N.	49	Durango	4
Nuevo León	35	Hidalgo	4
Coahuila	27	Aguascalientes	3
Chihuahua	25	Morelos	3
Sonora	25	Oaxaca	3
Edo. De México	22	Quintana Roo	3
Tamaulipas	19	Yucatán	3
Querétaro	10	Tabasco	2
Puebla	7	Campeche	2
Jalisco	7	Chiapas	2
Sinaloa	6	Zacatecas	2
Guanajuato	6	Baja California S.	1
Michoacán	5	Colima	1
San Luis Potosí	5	D.F.	1
Tlaxcala	5	Guerrero	1
Veracruz	4	Nayarit	1

Fuente: SIEM, 2000

## **2.2.3 UBICACION DE PARQUES Y CORREDORES INDUSTRIALES EN EL EDO. DE MEXICO, HIDALGO, MORELOS, PUEBLA, QUERÉTARO, TLAXCALA Y D.F.)**

A continuación se presentan ubicación de parques y corredores industriales dentro de la zona de estudio

### **ESTADO DE MEXICO**

Situado en el centro de la República Mexicana, el Estado de México es parte fundamental de la actividad económica nacional, ya que contribuye con cerca del 11% del PIB total.

La red carretera, estatal tiene 14,084 km de longitud de los cuales 5,416, están pavimentadas y 8674 revestidas, transitables en cualquier época del año. Así mismo el estado es atravesado por 11 autopistas de alta especificación técnica con una longitud de 385.7 Kilómetros ([www.edomex.gob.mx](http://www.edomex.gob.mx)).

Las principales actividades industriales desarrolladas en el Estado de México son (INEGI, 1999):

- Automotriz
- Fibras blandas
- Equipos eléctricos
- Químicos básicos
- Alimentos
- Artículos de plásticos
- Bebidas
- Y otras

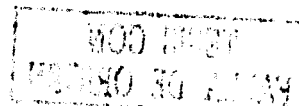


Cuenta con 22 desarrollos industriales en donde operan 2,137 empresas, se muestra en la tabla 2.2 y figura 2.1.

**Tabla 2.2 Parques y complejos industriales en el Estado de México.**

1. Conjunto Industrial Cuautitlán
2. Parque MicroIndustrial Cuautitlán Izcalli
3. Zona Industrial Ex-Hacienda San Pablo Xalpa
4. Parque Industrial Atlacomulco
5. Parque Industrial Jilotepec
6. Parque Industrial San Antonio Buenavista
7. Corredor Industrial Toluca-Lerma
8. Parque Industrial Toluca 2000
9. Parque Industrial Exportec I
10. Parque Industrial Exportec II
11. Parque Industrial Santiago Tianguistenco
12. Parque Industrial El Cerrillo II
13. Parque Industrial El Cerrillo I
14. Parque Industrial Tenango
15. Cedros Business Park
16. Parque Industrial Hermandad del Estado de Mexico
17. Parque Industrial Huehuetoca
18. Parque Industrial Barranca Prieta
19. Zona Industrial Chalco
20. Zona Industrial Salitrillo
21. Cedros Business Park Oriente
22. Nor-T Parque Industrial

Fuente: SIEM, 2000



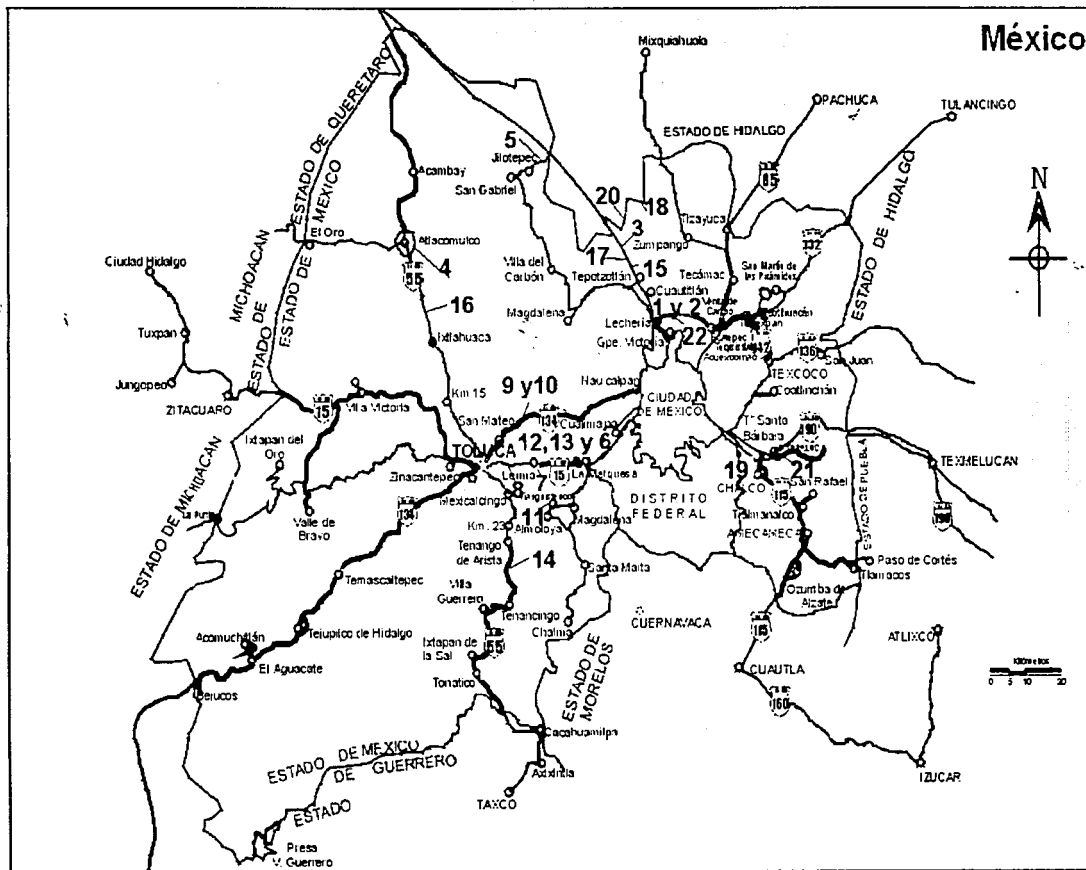


FIGURA 2.1 Localización de Parques y Corredores Industriales del Estado de México

## ESTADO DE MORELOS.

Morelos no es un estado altamente industrializado, a pesar de ello contribuye a la economía nacional de manera importante en ciertos sectores. Su excelente infraestructura carretera, localización estratégica y los actuales proyectos de inversión, (como la autopista "Siglo XXI" y la transportación de gas natural), hacen al estado un excelente destino para las inversiones en el desarrollo de parques industriales ([www.morelos.gob.mx](http://www.morelos.gob.mx)).

En el estado de Morelos las principales actividades industriales son (INEGI, *op. cit.*):

- Farmacéutica
- Textil
- Química básica
- Artículos de plásticos
- Electrónica .

Morelos cuenta con 3 Parques Industriales que se localizan en tres diferentes municipios tabla 2.3, figura 2.2.

**Tabla 2.3 Parques Industriales del Estado de Morelos**

1. Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC)
2. Parque Industrial de Cuautla
3. Parque Industrial de la Ciudad de la Confección

Fuente: SIEM 2000



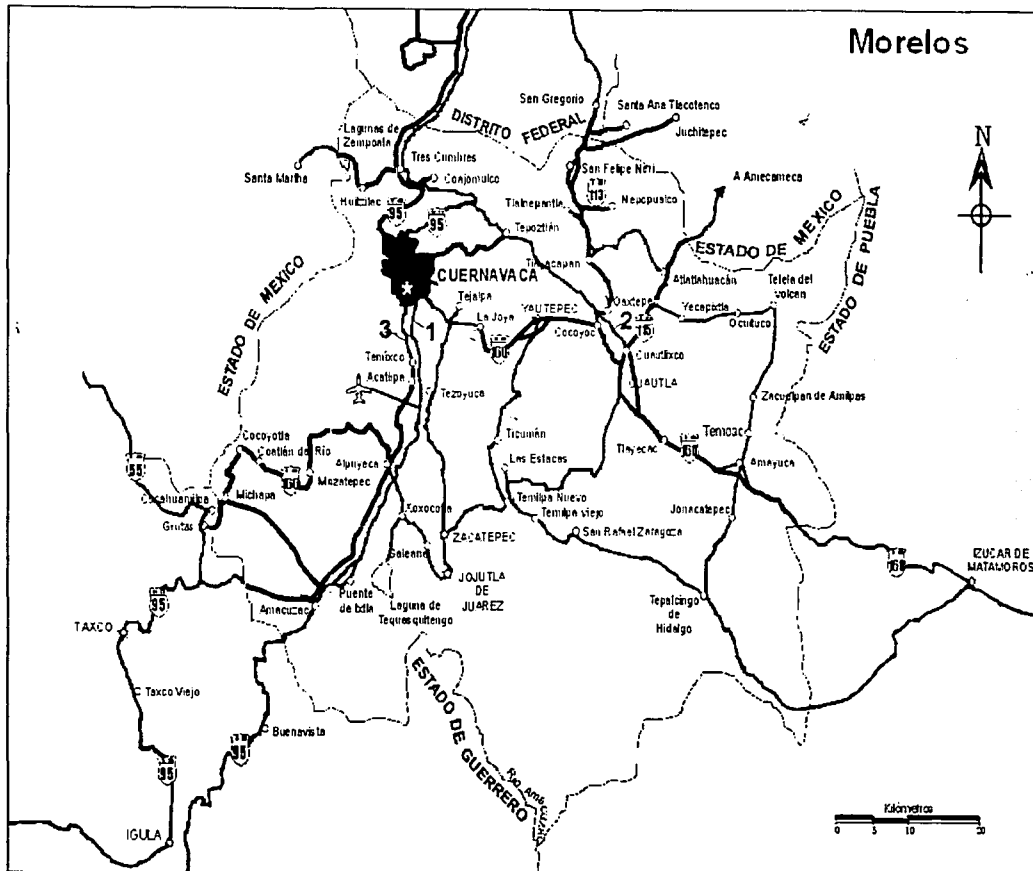


FIGURA 2.2 Localización de Parques y Corredores Industriales de Estado de Morelos

**ESTADO DE PUEBLA.**

Puebla es una urbe de gran potencial, destaca en el mercado nacional de textiles, confección, automóviles y manufacturas. Es el cuarto en cuanto a producción industrial, comercial y de servicios con el 2.74% ([www.convenciones-puebla.com.mx](http://www.convenciones-puebla.com.mx)).

Las actividades industriales que se realizan son (INEGI, *op. cit.*):

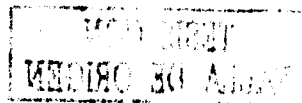
- Textil
- Automotriz
- Química básica
- Pinturas y colorantes
- Y otras

Puebla tiene 7 Parques Industriales tabla 2.4, figura 2.3

**Tabla 2.4. Parques Industriales del estado de Puebla**

1. Parque Industrial V.W.
2. Parque Industrial Puebla 2000
3. Area Industrial San Felipe Chachapa
4. Corredor Industrial Quetzatcoatl
5. Corredor Industrial 5 de Mayo
6. Fraccionamiento Industrial Resurrección
7. Conjunto Industrial Chachapa

Fuente: SIEM 2000





## ESTADO DE QUERETARO

Querétaro está, ubicado en el cruce de caminos que comunican al sur con el norte y el occidente del país. El sector industrial ha variado reduciendo su participación en el PIB estatal. Las recientes crisis económicas incidieron negativamente en la industria, especialmente en la micro y pequeña empresa por falta de capital de trabajo y endeudamiento ([www.queretaro.gob.mx](http://www.queretaro.gob.mx))

En Querétaro se realizan las siguientes actividades industriales (INEGI, *op. cit.*):

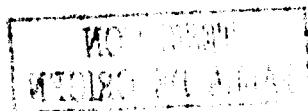
- Automotriz
- Maquinaria y equipo
- Y otras

Existen 10 parques industriales tabla 2.5, figura 2.4.

**Tabla 2.5 Parque Industriales del Estado de Querétaro**

1. Fraccionamiento Industrial Benito Juárez
2. Parque Industrial Jurica
3. Parque Industrial Bernardo Quintana (Etapa 1 y 2)
4. Nuevo Parque Industrial San Juan del Río
5. Fraccionamiento Industrial San Pedrito
6. Fraccionamiento Agrario Industrial La Cruz
7. Parque Industrial El Tepeyac
8. Parque Industrial La Noria
9. Parque Industrial Querétaro
10. Parque Industrial Valle de Oro

Fuente: SIEM, 2000



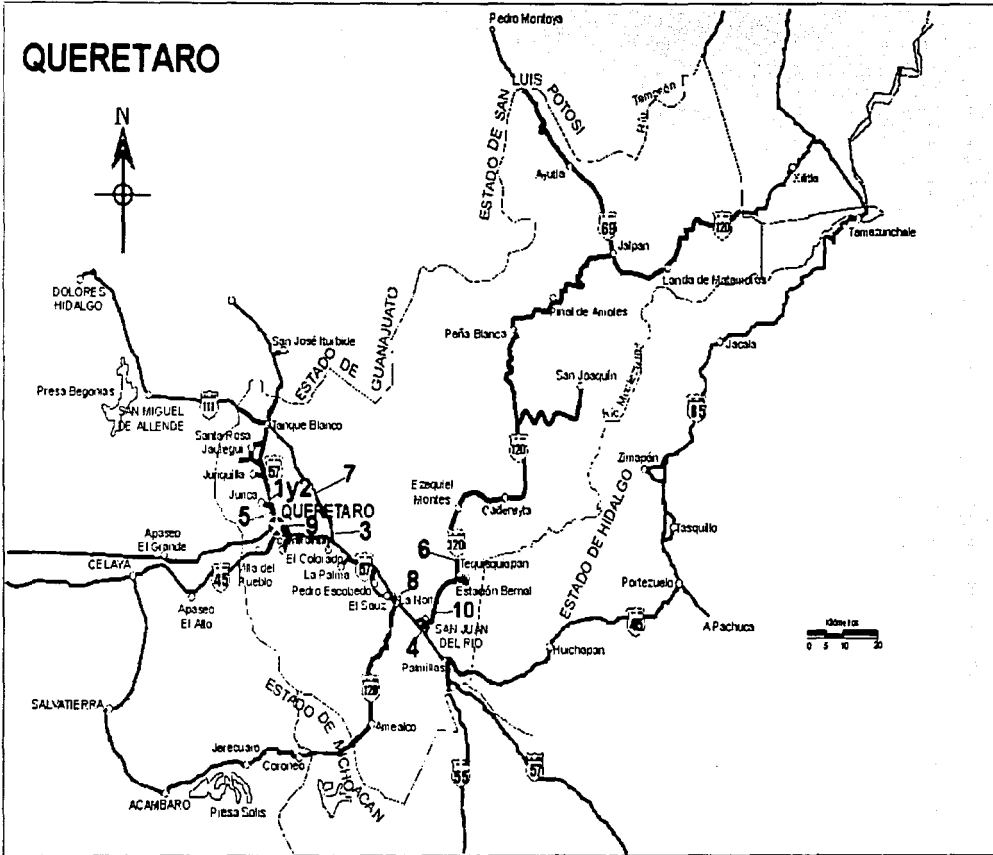


FIGURA 2.4 Localización de Parques y Corredores Industriales Localizados en el Estado de Querétaro



## ESTADO DE HIDALGO

En el sector industrial, Hidalgo cuenta con zonas especializadas y con grandes ventajas competitivas para el desarrollo de diversos giros industriales. Importantes empresas tanto nacionales como extranjeras han encontrado en Hidalgo el lugar perfecto para invertir y crecer.

En Hidalgo, la adquisición de terrenos, naves industriales y reservas territoriales del gobierno es sencilla y eficiente; parques industriales equipados con servicios apropiados, suministro eléctrico, disponibilidad de gas natural a tarifas competitivas, abasto suficiente de agua, insuperable estabilidad laboral, respeto a las leyes, impulso al progreso y muchas ventajas más hacen de Hidalgo el mejor lugar para invertir en la industria ([www.hidalgo.gob.mx](http://www.hidalgo.gob.mx)).

Las principales actividades industriales son:

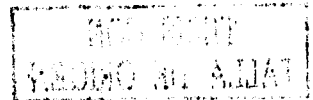
- Textiles
- Alimentos
- Hule-plástico
- Petroquímica
- Automotriz
- Química
- Y otras

El Estado de Hidalgo cuenta con 4 desarrollos industriales tabla 2.6, figura 2.5.

**Tabla 2.6. Parques Industriales del Estado de Hidalgo**

1. Parque Industrial Tepeji
2. Parque Industrial Hidalgo
3. Conjunto Industrial Canteras S.A. de C.V.
4. Parque Industrial Atitalaquia S.A. de C.V.

Fuente: SIEM, 2000





## ESTADO DE TLAXCALA

El sector industrial en Tlaxcala ha tenido en los últimos años un crecimiento significativo. En la actualidad, la infraestructura industrial del estado esta conformada por corredores, parques y ciudades industriales (tabla 2.7, figura 2.6). También se encuentran municipios con un gran desarrollo industrial, que dan como resultado una mayor inversión de capitales estatales, nacionales y extranjeros, que fomentan un amplio crecimiento a la demanda de empleo existente en el estado.

Para 1998 el estado, contaba con 307 industrias que incluye a la pequeña, mediana y grande, con un total de 46,509 trabajadores. De la infraestructura correspondiente a establecimientos el 50.7% corresponde a la pequeña, el 25.45 a la mediana y la grande absorbe el 16.9%. En lo que respecta a empleo el 17.9% corresponde al sector de la pequeña industria, el 25.7% a la mediana y el 56.4% restante a la grande ([www.tlaxcala.gob.mx](http://www.tlaxcala.gob.mx)).

**Tabla 2.7 Parques Industriales del Estado de Tlaxcala**

1. Ciudad Industrial Xicoténcatl I
2. Parque Industrial Xicoténcatl II
3. Parque Industrial Ixtacuixtla
4. Parque Industrial Calpulalpan
5. Parque Industrial Xiloxotla

Fuente: SIEM, 2000

Las actividades industriales que se realizan en Tlaxcala son:

- Industria Textil
- Industria Alimenticia
- Bebidas
- Confección
- Hule-plástico
- Metal mecánica

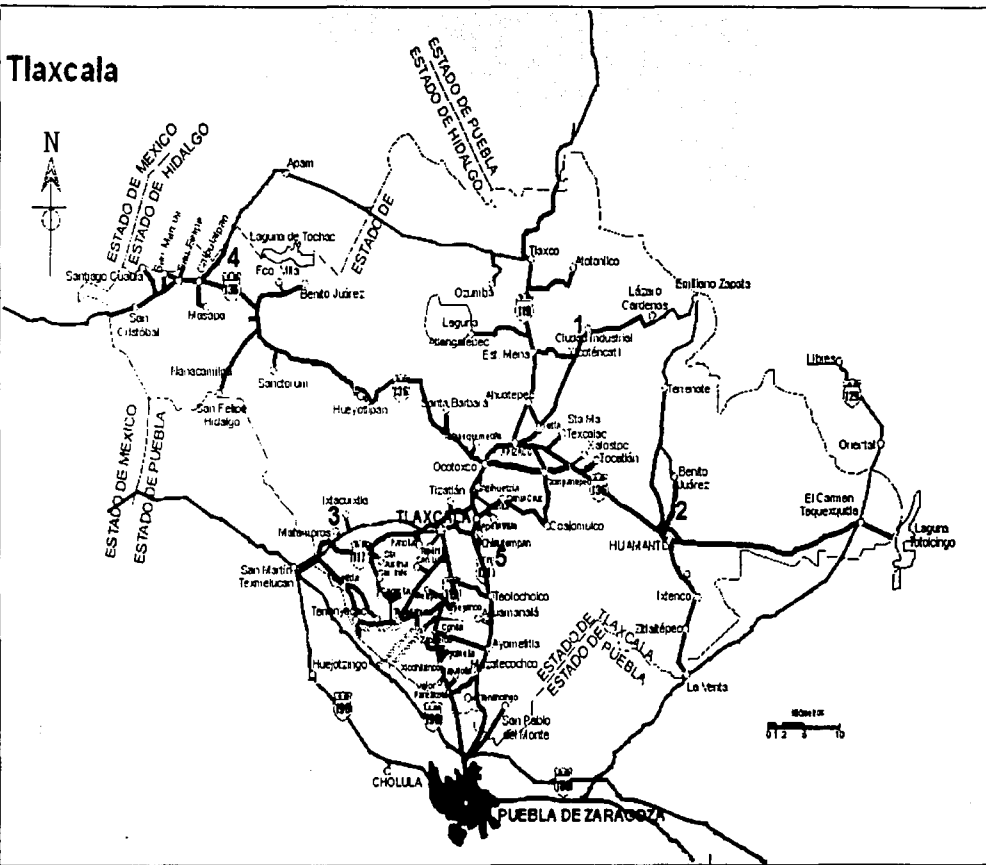


FIGURA 2.6 Localización de Parques y Corredores Industriales en el Estado de Tlaxcala

22

## DISTRITO FEDERAL Y ZONA METROPOLITANA

El territorio del Distrito Federal se encuentra ubicado en el suroeste del Valle de México, la Ciudad de México ocupa aproximadamente la mitad del mismo. Ha crecido hacia el norte y abarca parcialmente la superficie de 27 municipios del estado de México; a este conjunto se le conoce como Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

En el Distrito Federal las actividades industriales realizadas son (INEGI, *op. cit.*):

- Textil
- Alimentos
- Maquiladoras
- Papel
- Maquinaria y equipo
- Industria química
- Farmacéutica
- Gaseras

El Distrito Federal solo tiene registrado un parque industrial el Parque de Servicios Tecnológicos (ubicado en la delegación Iztapalapa), ya que las áreas industriales de Vallejo, Azcapozalco, Iztapalapa, etc., no cubren las características específicas de la definición de "Parque Industrial" que la Secretaría de Economía promueve y regula (INEGI; *op.cit.*).

### 2.3. Efectos de la Industrialización

La Industria reviste una enorme importancia para México, no obstante ello le exige superar las demandas de la sociedad por un ambiente y una economía sana, capaces de sostener niveles de bienestar creciente.

En las diferentes actividades industriales que se efectúan, existe un potencial de contaminación del ambiente por la emisión de humos, polvos, gases y descargas de aguas de desecho. La Industria utiliza gran cantidad de materias primas, que en sus procesos, producen al ambiente subproductos indeseables para los cuales, generalmente no hay mercado

Se estima que entre 1950 y 1960, estos efectos se incrementaron conforme la industria fue recomponiéndose, aumentando la presencia de ciertas ramas y tecnologías más contaminantes. Se sabe que hasta 1970 prácticamente no se aplico ningún criterio ambiental para el desarrollo industrial, aunque había indicios crecientes de alarma, particularmente en términos de contaminación atmosférica y la generación de desechos (ver tabla A1.2 anexo 1), (INE, 1999).

Los residuos generados por actividades industriales pueden considerarse peligrosos si poseen algunas de las características CRETIB, si presentan propiedades:

- Corrosivas
- Reactivas,
- Explosivas,
- Tóxicas
- Inflamables
- Biológico Infecciosas

Igualmente pueden ser identificados por sus estados físicos, su composición química, o su descripción genérica (aguas, breas, lubricantes, colas, disolventes, envases, sedimentos, cabezas, carbones activados, catalizadores, jales, lodos, soluciones, tierra y otras). Dependiendo del volumen de generación y su concentración, estos residuos y sustancias peligrosas pueden representar mayores o menores riesgos ambientales.

La naturaleza de los residuos industriales peligrosos depende del tipo de industria que los genere; incluso dos empresas que fabrican el mismo producto pueden generar residuos diferentes dependiendo del proceso que utilicen.

Se estima que la generación total de residuos peligrosos de origen industrial en México asciende a un volumen aproximado de ocho millones de toneladas anuales, lo que no incluye los jales mineros, residuos que también pueden ser peligrosos y que se producen en grandes cantidades (entre 300,000 y 500,000 toneladas diarias) (INE, *op.cit.*).

Dada la desproporción que guarda el creciente volumen de residuos peligrosos generados con las capacidades existentes de manejo, vigilancia y control, con frecuencia se observa una disposición clandestina en tiraderos municipales, derecho de vías en carretera, barrancas, drenajes municipales o cuerpos de agua. Se cree que en esta última opción es la que predomina considerando que cerca de 90% de los residuos peligrosos adoptan estados líquidos, acuosos o semi-líquidos, o bien se solubilizan y/o mezclan en la descarga de aguas residuales (INE, *op.cit.*).

La industria de Química básica, secundaria y petroquímica son las principales generadoras de residuos industriales, ya que aportan el 40% del total, le siguen las industrias metalmeccánicas, y metálica básica con el 10%, y la industria eléctrica con el 8% (INE, *op.cit.*).

La concentración de establecimientos industriales, en la zona de estudio, que comprende D.F y zona metropolitana, Puebla, México, Hidalgo, Tlaxcala y Morelos, ha propiciado la generación de diversos efectos, tanto positivos como negativos. Entre los efectos positivos está la generación de un gran número de diversas fuentes de trabajo; mejores condiciones de vida para los trabajadores, facilidades en la producción, comercialización y distribución de los productos industriales. Pero por otro lado, están los efectos negativos que es lo que realmente preocupa y en particular a la población civil, y al medio ambiente, como son la contaminación del suelo, agua y aire (INE, *op.cit.*).

### **2.3.1.Repercusiones Ambientales.**

Uno de los riesgos ambientales, asociados al crecimiento industrial es el uso intensivo de productos químicos que son precursores de residuos peligrosos. Algunos de ellos tienen características de peligrosidad para la salud humana y la de los ecosistemas. El daño que estas sustancias pueden causar depende en primera instancia de su grado de toxicidad, pero también de que los volúmenes de generación y su persistencia en el ambiente proporcionando que alcancen concentraciones suficientemente altas para causar efectos nocivos. La preocupación por las sustancias químicas potencialmente tóxicas se generadas por las actividades productivas se centran en aquellas que poseen propiedades de alta toxicidad, de persistencia ambiental o de bioacumulación. Es evidente que toda sustancia química puede representar peligros para la salud, seguridad de la población y el ambiente, si alcanza una concentración dada y el tiempo suficiente a la exposición prolongada para que ejerza sus efectos. Cada sociedad debe decidir que riesgos considera excesivos o inaceptables y, con base en ello, definir marcos regulatorios, y de gestión de sustancias químicas. Por su importancia se hace necesario considerar los siguientes aspectos (INE, *op.cit.*):

- Riesgos en la salud ambiental (tóxico)
- Impactos ecológicos en los ecosistemas
- Impactos en recursos hídricos
- Riesgos por accidentes o contingencias

#### **□ Impactos ecológicos en los ecosistemas.**

En el ambiente los contaminantes tóxicos pueden ser ingeridos y retenidos en altas concentraciones por los organismos vivos, ocasionando serios trastornos e incluso la muerte. Si se encuentran en bajas concentraciones, causan efectos subletales, como la reducción del tiempo de vida de ciertas especies o el incremento de la susceptibilidad a enfermedades o bien pueden causar efectos mutagénicos y teratogénicos (INE, *op.cit.*).



La presencia de compuestos químicos en los ciclos naturales, también pueden interferir con la movilidad de otros compuestos que son importantes para los procesos biológicos. Los organismos poseen una resistencia variable a los contaminantes, según el grado de aclimatación al tóxico. Por ejemplo, algunas especies de animales son capaces de acoplar y de disminuir o anular la toxicidad de algunos metales pesados incorporándolos en proteínas; sin embargo, otros compuestos, como los organoclorados, pueden dar lugar a metabolitos de mayor toxicidad que el compuesto que los genera. En México existen pocas experiencias de estudio sistemático sobre el efecto al ambiente causados por residuos peligrosos, su tiempo de residencia en los ecosistemas, sus flujos, destino final y sus posibles impactos sobre la salud humana (INE, *op.cit.*).

Algunos de los procesos naturales más relevantes en el movimiento de sustancias tóxicas y residuos peligrosos en el ambiente, son (INE, *op.cit.*):

- ❖ La lixiviación
- ❖ La absorción-desorción
- ❖ La volatilización
- ❖ La bioacumulación

La **lixiviación** es la transferencia de un componente soluble de un sólido a un disolvente adecuado.

La **absorción** es el proceso mediante el cual una sustancia se transfiere de un fluido (líquido o gas) a un líquido o sólido absorbente quedando disuelta en él.

La **desorción** es el proceso inverso, es decir la transferencia de un componente de un sólido o líquido a un gas. Un proceso de adsorción tipo en la estabilidad climática del planeta es el del bióxido de carbono que al ser absorbido por el agua del mar puede ser capturado por el plancton. Este proceso es el mismo para contaminantes tales como los orgánicos persistentes que se han acumulado en los océanos y en la atmósfera, imponiendo riesgos para los organismos que lo habitan.

La **volatilización** consiste en la evaporación de parte de un componente, el cual genera o se incorpora a una fase gaseosa; en este proceso ocurre una concentración de componentes tanto en la fase líquida como en la fase gaseosa. La volatilidad de compuestos orgánicos en residuos del manejo de combustibles y otros derivados del petróleo imponen riesgos de inhalación de sustancias tóxicas.

La **bioacumulación** describe la tendencia de ciertas sustancias a acumularse en los tejidos de organismos vivos. La tendencia de una sustancia a bioacumularse se relaciona con las características hidrofóbicas ó lipofílicas y otras características fisicoquímicas. Ciertos plaguicidas como el DDT, el aldrín y el endrín mantienen un elevado grado de bioacumulación (INE, *op.cit.*).

#### □ **Impacto en recursos hídricos.**

Una de las consecuencias más graves y de mayor preocupación que puede generar las malas prácticas para la disposición de residuos peligrosos, es la afectación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. En el primer caso la contaminación se produce al derramarse o infiltrarse el agua de lluvias a través de los residuos depositados en barrancas, cauces de río, laderas y grietas, circulando posteriormente con su carga contaminante hacia los cuerpos de agua ubicados en la vertiente. En el caso de los recursos hídricos subterráneos, la contaminación se produce mediante un proceso similar, ya que durante y después de la precipitación pluvial, el agua que se ha percolado por los desechos, y que contiene una alta carga contaminante, puede emigrar al acuífero y afectar su calidad.

De los diversos compuestos químicos encontrados en aguas subterráneas, los compuestos orgánicos son los que representan el mayor riesgo por sus efectos en el ambiente y en la salud humana. Dentro de este grupo de compuestos, los disolventes industriales y los hidrocarburos aromáticos derivados del petróleo son los más comunes. Muchos de los problemas de contaminación ocurren por fugas, derrames, y disposición de líquidos orgánicos inmiscibles en la superficie del agua,

los cuales se inscriben dentro de la fase líquida no acuosa. Estos fluidos inmiscibles pueden clasificarse en dos categorías:

- Aquellos cuya densidad es mayor que la del agua, que incluyen a los disolventes percloroetileno y tricloroetileno, sustancias como la creosota, ciertos compuestos orgánicos policlorados, y algunos plaguicidas,
- Y otros más ligeros que el agua, donde se incluyen compuestos como el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (INE, *op.cit.*).

Los productos químicos encontrados en las aguas subterráneas se originan principalmente en actividades de zonas urbanas e industriales. Generalmente las aguas subterráneas contaminadas se localizan cerca de áreas industrializadas y/o densamente pobladas, circunstancias que incrementan la posibilidad de exposición humana. Algunos de los contaminantes orgánicos que se han detectado en aguas subterráneas representa un severo riesgo para la salud. Sustancias como el percloroetileno y tricloroetileno producen depresión del sistema nervioso central o afectan el funcionamiento del hígado y riñón, en tanto el tetracloruro de carbono, cloroformo y el benceno son agentes cancerígenos (INE, *op.cit.*).

Una buena parte de los contaminantes que hacen a un residuo peligroso se encuentran en forma líquida o disuelta, por lo que una vez en el ambiente emigran en fase acuosa interactuando a su paso con las partículas del suelo. Además existe una gran cantidad de desechos en estado sólidos que producen lixiviados al descomponerse e infiltrarse el agua de lluvia, a través de ellos.

#### □ Riesgos de salud ambiental (tóxicos)

La toxicidad de una sustancia se determina de acuerdo con los efectos letales, crónicos o subcrónicos, que pueden presentarse en diferentes organismos o blancos ambientales. Sin embargo, generalmente se resaltan los efectos adversos potenciales de las sustancias sobre la salud humana. Entre los parámetros de toxicidad comúnmente evaluados se destacan los siguientes:

- Letalidad aguda
- Efectos subletales en especie no mamíferas
- Efectos subletales en plantas
- Efectos subletales en mamíferos
- Teratogenicidad
- Genotoxicidad/mutagenicidad
- Carcinogenicidad

El daño que puede sufrir una comunidad por la emisión de sustancias peligrosas no depende únicamente de las características tóxicas, sino también del hecho de que las sustancias puedan entrar en contacto con la población. Si bien las rutas de exposición pueden variar entre sustancias y depender de las características del ambiente, su persistencia y bioacumulación determinan el riesgo implícito.

La persistencia ambiental se relaciona con la tendencia de una sustancia química a permanecer en el ambiente debido a su resistencia, a la degradación química o biológica asociada a los procesos naturales. Una vida media corta (pocos días) generalmente no produce una acumulación significativa en el ambiente. Contrario a esto, una sustancia con una vida media mayor puede resultar en una exposición o acumulación sustancial de la cadena alimenticia. Algunos compuestos organoclorados como los BPC's y metales pesados como el plomo, el cadmio y el mercurio, son ejemplos típicos de contaminantes con elevada persistencia ambiental (INE, *op.cit.*).

□ **Riesgos por accidentes o contingencias**

Otros riesgos derivados del inadecuado manejo de los residuos peligrosos son:

- Incendios
- Explosiones
- Fugas o derrames de sustancias tóxicas o inflamables

Estos riesgos se presentan con frecuencia durante las operaciones del transporte o transferencia, procesos de tratamientos fisicoquímicos, almacenamiento de residuos incompatibles, o a causa de una inadecuada utilización de envases para el almacenamiento de los residuos. La falta de capacitación del personal encargado del manejo de los residuos peligrosos, pueden provocar accidentes que en algunos casos pueden alcanzar a receptores sensibles tales como población o ecosistemas.

## **2.4 Clasificación de sustancias peligrosas**

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA): un material peligroso es aquel elemento, sustancia, compuesto, residuo, que independiente de su estado físico represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas (LGEEPA, 1997).

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) a través de su Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (RTTMRP) hace mención al concepto de sustancia peligrosa como todo aquel elemento, compuesto, material o mezcla de ellos que independientemente de su estado físico, represente un riesgo potencial para la salud, el ambiente, la seguridad de los usuarios y la propiedad de los terceros.

Los residuos considerados como peligrosos son aquellos que presentan una o más de las siguientes características, mejor conocidas como CRETIB, las cuales están especificadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993 (DOF, 22 de Octubre, 1993) tabla 2.8.

TABLA 2.8 Características CRETIB

CARACTERISTICAS	CLAVE
Corrosividad	C
Reactividad	R
Explosividad	E
Toxicidad al ambiente	T
Inflamabilidad	I
Biológico-Infecioso	B

Fuente: DOF NOM -052-ECOL-1993.

- a) **Corrosividad.** Un residuo se considera peligrosos por su corrosividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:
- En estado líquido o en solución acuosa presente un pH sobre la escala menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5.
  - En estado líquido o en solución acuosa y a una temperatura de 55°C es capaz de corroer acero al carbón a una velocidad de 6.35 mm o más por año (NOM-052-ECOL- 1993, artículo 5.5.1).
- b) **Reactividad.** Un residuo se considera peligrosos por su reactividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:
- Bajo condiciones normales (25°C y una atmósfera), se combina o polimeriza violentamente sin detonación.
  - En condiciones normales (25°C y una atmósfera), cuando se pone en contacto con agua en relación (residuo - agua) de 5:1, 5:3, 5:5, reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.
  - Bajo condiciones normales cuando se pone en contacto con solución de pH ácido (HCl 1.0N) y básico (NaOH 1.0N) en relación (residuo - solución) de 5:1, 5:3, 5:5, reaccionando violentamente formando gases, vapores o humos.
  - Posee en su constitución cianuros o sulfuros que al exponerse a condiciones de pH de 2 y 12.5 pueden generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades mayores a 250 mg de HCN/ kg. de residuos o 500mg de H<sub>2</sub> S kg. de residuo o cuando es capaz de producir radicales libres (NOM-052-ECOL-1993, artículo 5.5.2).

- c) **Explosividad.** Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:
- Tiene una constante de explosividad igual o mayor al del dinitrotolueno.
  - Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a 1.03 kg./cm<sup>2</sup> de presión (NOM-052-ECOL-1993, artículo 5.5.3).
- d) **Toxicidad.** Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente cuando presenta las siguientes propiedades:
- Cuando se somete a la prueba de extracción para toxicidad conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-053-ECOL-1993, el lixiviado de la muestra representativa que contenga cualquiera de los constituyentes listados en las tablas 5, 6 y 7 del anexo de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993 en concentraciones mayores a los límites señalados en dichas tablas, NOM-052-ECOL-1993, artículo 5.5.4.
- e) **Inflamabilidad.** Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:
- en solución acuosa contiene más de 24% en volumen de alcohol.
  - Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60°C.
  - Es capaz de presentar fuego por fricción absorción de humedad o cambios químicos espontáneos (25°C y a 1.03 kg/cm<sup>2</sup>).
  - Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes que estimulan la combustión (NOM-052-ECOL-1993, artículo 5.5.5).
- f) **Biológico-Infecioso.** Un residuo con características biológico - infecciosa se considera peligroso cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:
- Cuando el residuo contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección
  - Cuando contiene toxinas producidas por microorganismos con capacidad de infección.
  - La mezcla de un residuo peligroso conforme a esta norma con un residuo no peligroso será considerada como peligroso (NOM-052-ECOL-1993, artículo 5.5.6).



## **2.5 Aspectos legales sobre residuos peligrosos y contaminación de suelos**

El transporte de materiales y residuos peligroso, es una actividad que origina grandes riesgos si no se tiene el manejo adecuado de estos productos. Por consiguiente las herramientas que permiten legislar esta actividad son las leyes, reglamentos y normas vigentes para materiales y residuos peligrosos.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), representa el marco jurídico que define las regulaciones en materia de residuos y materiales peligrosos (ver anexo A2).

Un factor importante en la legislación ambiental es el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, emitido por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, el cual menciona todas las medidas preventivas que se deben tomar para disminuir el riesgo para la transportación de estos productos (ver anexo A2.1)

En la Legislación Mexicana se contempla la elaboración y aplicación de las llamadas Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las cuales son regulaciones técnicas de observación obligatoria, expedidas por las dependencias competentes. Estas NOM's establecen especificaciones, atributos, características prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación (ver tabla A2.1, anexo 2).

### **2.5.1 Legislación ambiental mexicana sobre contaminación del suelo**

Desde sus orígenes se plasmó en el artículo 27 constitucional que este precepto fuera el fundamento de toda política, para la conservación de los recursos naturales en nuestro país, consagrándose originalmente el principio de que la Nación tendría en todo tiempo el derecho " ...de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



distribución equitativa de la riqueza pública y cuidar su conservación, con este objeto se dictarán las medidas necesarias para [...] evitar la destrucción de los elementos naturales y daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad"; dicho precepto es la base con la cual se elaboró toda la legislación mexicana en torno a los recursos naturales y la legislación ecológica y ambiental. Con fundamento a este artículo constitucional se desprende la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), ley reglamentaria que regula este aspecto.

A partir de las reformas constitucionales, de 1987, de aspecto eminentemente ambientalista, las cuales entraron en vigor en 1988, el artículo 27 Constitucional en sus párrafos primero y tercero, establece:

"La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada."

"La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que diste el interés público, así como el de regular, el beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con el objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierra, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico; ...".

Con esta reforma es deber del estado velar por la protección del ambiente, idea que además integra una concepción de protección total del ambiente y no solo de ciertos elementos que la forma.

La prevención y control de la contaminación de suelos y restauración de sitios contaminados tiene sus bases legales en la LGEEPA publicada el 28 de enero de 1988 y entró en vigor en marzo del mismo año, la cual fue actualizada el 13 de diciembre de 1996. Los artículos de la nueva ley modificada relacionados con el tema de restauración se mencionan en el anexo A2.2.

Respecto a la contaminación del suelo producida por residuos peligrosos, se mencionan en la Ley de manera muy general que los residuos deben cumplir con una serie de condiciones para evitar alteraciones en el suelo y en el riesgo a la salud, así mismo señala que el generador de los residuos peligrosos es el responsable de su manejo y disposición final; o bien, lo es la empresa que se contrate para tales servicios, queda prohibido el confinamiento de residuos peligrosos líquidos y sólo se confinarán los residuos peligrosos que no se puedan destinar a rehuso, reciclo o destrucción.

En cuanto a las Normas Oficiales Mexicanas aplicables a suelos contaminados no existe actualmente ninguna. Es importante señalar que existen aún grandes limitaciones y deficiencias en el sistema Legislativo mexicano con respecto a residuos peligrosos y contaminación del suelo, por lo que es urgente desarrollar el reglamento para la prevención y control de la contaminación al suelo, así como las Normas Oficiales Mexicanas para dar cumplimiento a dicho reglamento.

A continuación se proponen algunos de los aspectos más relevantes que debería contemplar la legislación ambiental para complementar la normatividad respecto a la contaminación del suelo, sus causas y las medidas correctivas:

1. En el caso de sitios contaminados donde no existen instalaciones industriales prohibir el desarrollo de actividades sin antes restaurar el sitio, de acuerdo al nuevo uso que se le quiere asignar.
2. Para la clausura de instalaciones abandonadas o que han dejado de operar, debe considerarse dentro del plan de cierre de las instalaciones, la limpieza y la restauración del sitio.

3. Establecer los métodos para la restauración del grado y extensión de la contaminación presente en sitios potencialmente contaminados con sustancias peligrosas.
4. Establecer los criterios de limpieza para la restauración de sitios contaminados dependiendo del nuevo uso del suelo, el tipo de contaminante presente y las condiciones prevalecientes en el sitio.
5. Se deben establecer los procedimientos para llevar a cabo la restauración de sitios contaminados.
6. Se debe considerar la minimización, rehuso y reciclaje de los residuos peligrosos además del tratamiento y confinamiento.
7. Establecer las posibles tecnologías de tratamiento para residuos peligrosos.
8. Se deben especificar claramente cuales son las sanciones a las que se les hace merecedor a aquel que no cumpla con las disposiciones establecidas en la ley.

Resulta prioritario completar la legislación en cuanto a contaminación del suelo considerando los puntos anteriores para llenar las lagunas existentes, y sobre todo es necesario establecer los puntos de evaluación y restauración de sitios contaminados para definir los lineamientos a seguir y homologar la manera en que deberán llevarse a cabo por parte del responsable del sitio contaminado o bien del personal al que se le asigne la restauración del mismo. Además todo esto facilitaría a la autoridad ambiental, la evaluación y seguimiento del plan de restauración.

Otro punto importante es trabajar en el desarrollo de los criterios de limpieza para suelo que sean aplicables en México, tomando en cuenta las condiciones naturales de cada región.

**CAPITULO 3**  
**SELECCION DE ZONAS**  
**CONTAMINADAS**

## SELECCION DE ZONAS CONTAMINADAS

### 3.1 CARACTERISTICAS DE LA RED FEDERAL DE CARRETERAS

Actualmente el sistema carretero nacional tiene una longitud de más de 320,000 km, siendo 41,918 los que conforman la red federal libre de peaje. De éstos, el 57% tiene más de 30 años de servicio y sólo el 14% tiene menos de 15 años.

Si consideramos que en México el transporte carretero es el medio más importante debido al considerable número de pasajeros y carga que son movilizados a lo largo del territorio nacional, se comprende la importancia estratégica que tiene para la economía del país la conservación de su infraestructura carretera y la necesidad de incrementar su longitud (SCT, 2000).

En sus diferentes modalidades, por este sistema se movilizan anualmente 2,700 millones de personas y alrededor de 620 millones de toneladas de carga, lo que lo convierte en el principal medio de traslado en el país, equivalente al 60% del tonelaje total de carga que circula por el territorio, y al 98% de los pasajeros (CAPUFE, 1999).

Los caminos han sido clasificados en (SCT, *op. cit.*):

**Carretera tipo A:** Son aquellas que por sus características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso.

**Carreta tipo B:** Son aquellas que conforma la red primaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales prestan un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.

**Carretera tipo C:** (Red secundaria) son carreteras que atendiendo a sus características presentan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias estableciendo conexiones con la red primaria.

**Carretera tipo D:** (red alimentadora) Son carreteras que atendiendo sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicios dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con carretera tipo C.

Atendiendo a sus características geométricas se tipifican en (SCT, 1996):

**Tabla 3.1. Características de carreteras**

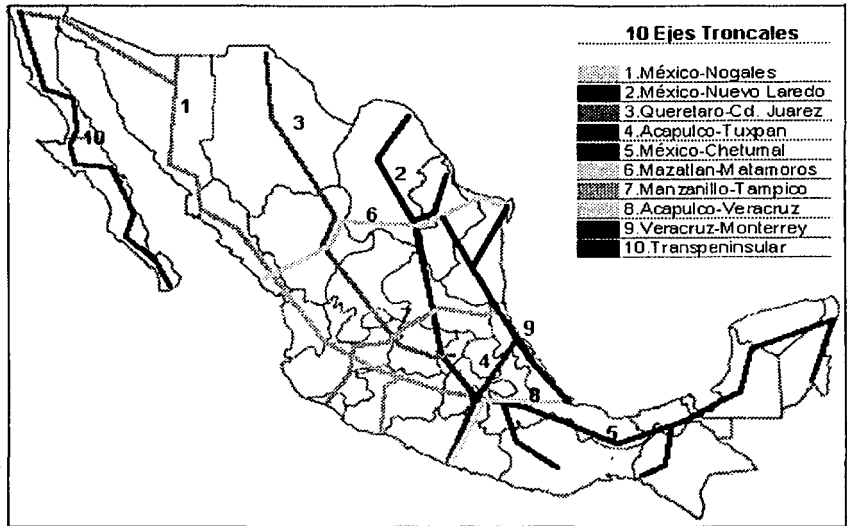
TIPO DE CARRETERAS	NOMENCLATURA
Carretera de Cuatro Carriles	A4
Carretera de Dos Carriles	A2
Carretera de Cuatro Carriles, Red Privada	B4
Carretera de Dos Carriles, Red Privada	B2
Carretera de Dos Carriles, Red Secundaria	C
Carretera de Dos Carriles, Red Alimentadora	D

Fuente: SCT, 1996

El 30% de la longitud de la red federal soporta tránsitos diarios de más de 5,000 vehículos y el 21% tiene problemas de capacidad para atender sus tránsitos en condiciones óptimas de seguridad y economía, ya que durante los últimos 10 años la carga transportada por carretera en México se ha incrementado en un 27.4% y los pesos autorizados de los vehículos han crecido de manera importante, al pasar de 34 toneladas de 1960 a 66.5 en 1997. Asimismo, en el periodo de 1988 a 1998 los pasajeros transportados por carretera se han incrementado en un 44% (SCT, *op. cit.*).

Las principales carreteras que unen a la república mexicana se muestran en la figura 3.1:

Figura 3.1. Principales carreteras de la República Mexicana



Fuente: SCT,1999

La longitud y características de la red de carreteras de los estados que abarca la zona de estudio se muestra en la tabla 3.2 y en la gráfica 3.1 el estado físico de la red federal a nivel nacional.

NO SE EN  
 ENERO DE 1999

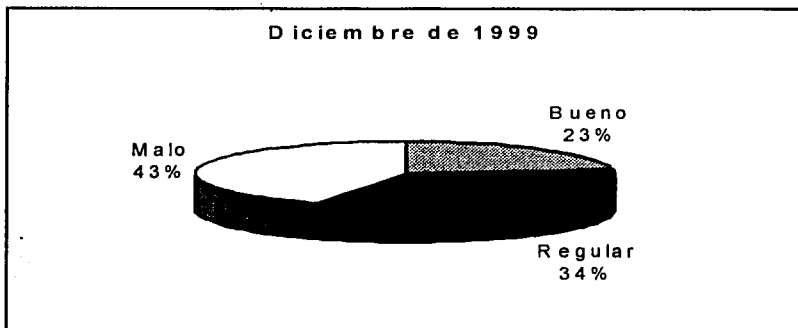
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.2. Longitud y características de la red carretera (km).

Entidad	Brechas mejoradas	Terracería	Revestidas	Pavimentadas		Total Km.
				Dos carriles	Cuatro o más carriles	
Distrito Federal	-	-	-	78	71	149
Hidalgo	-	180	5 481	1 920	150	7 731
México	-	-	4 695	4 453	666	9 814
Morelos	-	-	485	1 275	181	1 941
Puebla	154	-	4 513	3 429	245	8 341
Querétaro	-	-	1 928	1 223	174	3 325
Tlaxcala	-	-	1 265	1 180	74	2519

Fuente: Subsecretaría de Infraestructura (SCT,1999)

Gráfica 3.1 Estado físico de la red federal de carreteras



Fuente: SCT, 2000

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### 3.2 SELECCIÓN DE ZONAS CONTAMINADAS EN EL AREA DE ESTUDIO

El movimiento de materiales peligrosos a través del país se lleva a cabo en su mayor parte por vía terrestre (carretera) y/o ferrocarril. El transporte de material y residuos peligrosos por carreteras se realiza en mayor medida en camiones, trailers, y autotankers, sin embargo también se emplean transportes de pequeño tonelaje como camionetas (SCT, 1996).

Ya que una gran parte de los materiales es transportada por vía terrestre a largas distancias, la ocurrencia de accidentes con derrame de sustancias peligrosas es considerable. Estos accidentes representan un riesgo potencial para la población civil y el equilibrio ecológico (De la Cruz, *op. cit.*). Por esta razón se realizó una selección de áreas contaminadas por derrames de residuos peligrosos, en los Estados de México, Puebla, Morelos, Tlaxcala, y Distrito Federal. Estos estados se eligieron por el gran número de industrias, gran afluencia vehicular, paso obligado entre importantes ciudades industriales que necesitan transportar materias primas, productos, etc. Querétaro no se encuentra dentro del área de estudio, pero se considera, por sus vías de acceso a la Ciudad y estados circunvecinos.

#### 3.2.1 ESTADÍSTICAS DE ACCIDENTES CARRETEROS DURANTE EL TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS EN MEXICO, MORELOS, PUEBLA, QUERETARO, TLAXCALA Y D.F

El área de Riesgos Químicos de la Coordinación de Investigación del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), ha integrado una base de datos con eventos procedentes de varias fuentes de información, se denomina ACARMEX (Acidentes CARreteros en MÉXico); entre dichas fuentes están las partes de accidentes, notas periodísticas y los reportes de Protección Civil.

Una de las limitantes en la elaboración de este trabajo son las partes de accidentes, que pudieron no ser reportadas. La Policía Federal Preventiva (PFP), antes Policía Federal de Caminos (PFC), es la encargada de levantar las partes de accidentes ocurridos en los caminos de jurisdicción federal.

Se analizó información del sistema ACARMEX. En el periodo de 1996 al primer trimestre del 2000 registrándose un total de 2808 accidentes carreteros en todo el país, que transportaban materiales y residuos peligrosos, como: gas L.P., hidrocarburos, ácidos, alcoholes, cetonas y productos inorgánicos. En estos accidentes se registraron volcaduras c/s derrames, explosión de la carga, choques sin consecuencia alguna

**Tabla 3.3. Accidentes carreteros con materiales y residuos peligrosos ocurridos en el periodo 1996-2000.**

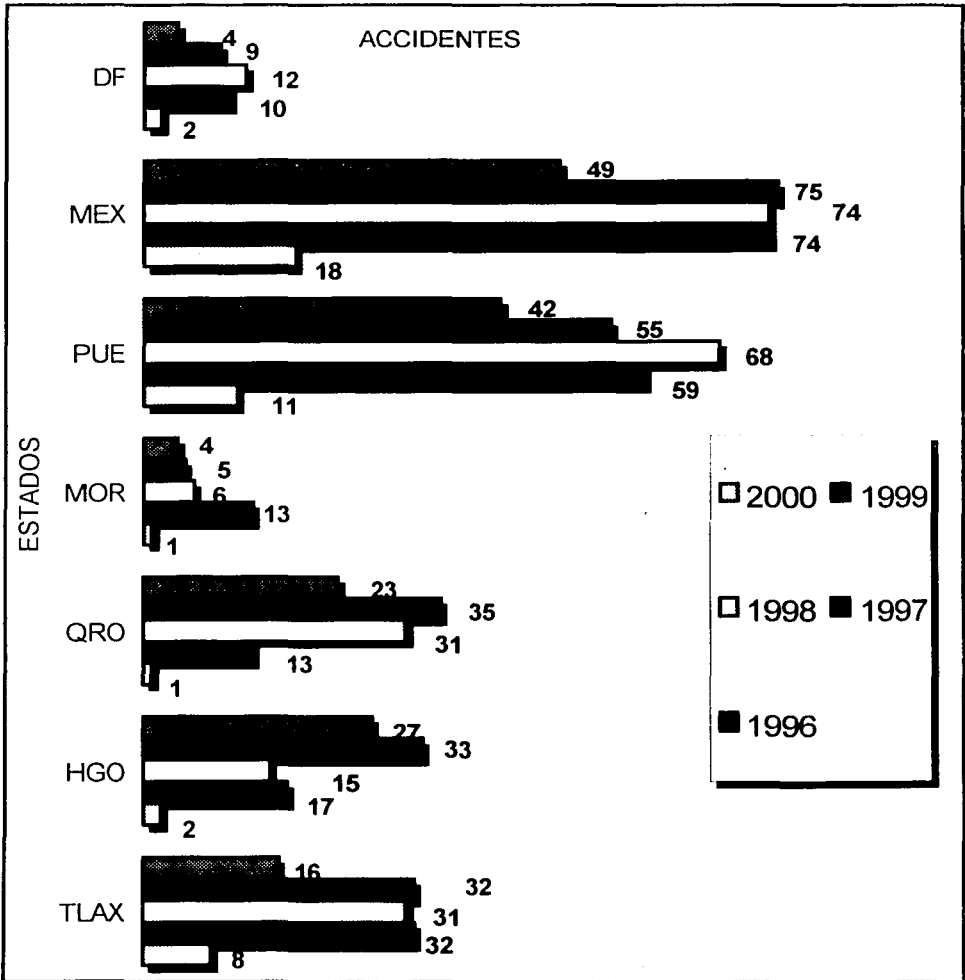
ANO	DF	MEX	PUE	MOR	QRO	HGO	TLAX
1996	4	49	42	4	23	27	16
1997	9	75	55	5	35	33	32
1998	12	74	68	6	31	15	31
1999	10	74	59	13	13	17	32
❖ 2000	2	18	11	1	1	2	8
Total 907	37	290	235	29	103	94	119

Fuente: Base de datos ACARMEX

❖ La base de datos abarca el primer trimestre del 2000

De estos, el 32.30% (907 accidentes) ocurrió en los siguientes estados: México, Puebla, Tlaxcala, Morelos, Hidalgo y la Ciudad de México. Cálculos parciales por año y estado se muestran en la tabla 3.3. y gráfica 3.2. Esta información y la presencia de parques industriales en estos estados fue la base del sistema de selección.

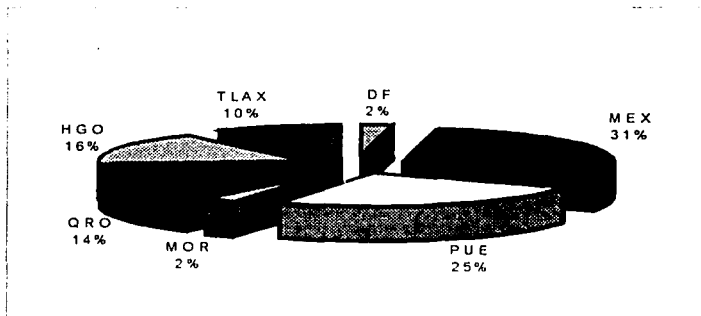
Gráfica 3.2. Accidentes carreteros con materiales y residuos peligrosos



Fuente: Base de datos ACARMEX

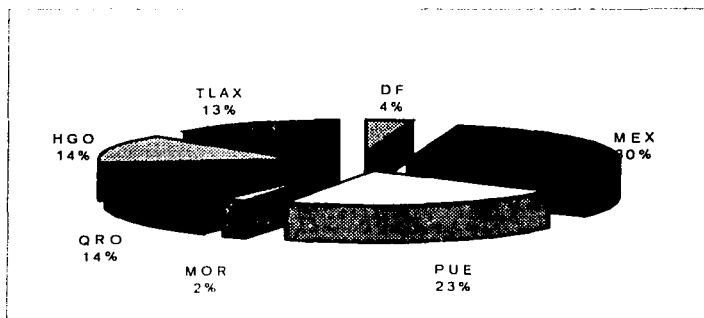
A continuación se presentan los porcentaje de accidentes carreteros que han ocurrido anualmente con materiales y residuos peligrosos por año.

**Gráfica 3.3. Porcentaje de accidentes carreteros materiales y residuos peligrosos ocurridos en 1996.**



Fuente: Base de Datos ACARMEX

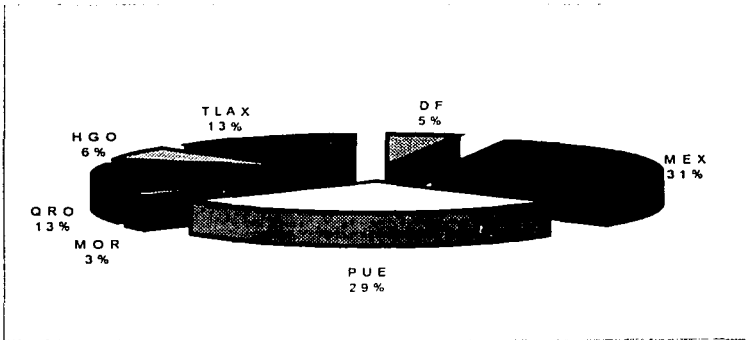
**Gráfica 3.4 Porcentaje de accidentes carreteros que involucran materiales y residuos peligrosos ocurridos en 1997.**



Fuente: Base de Datos ACARMEX

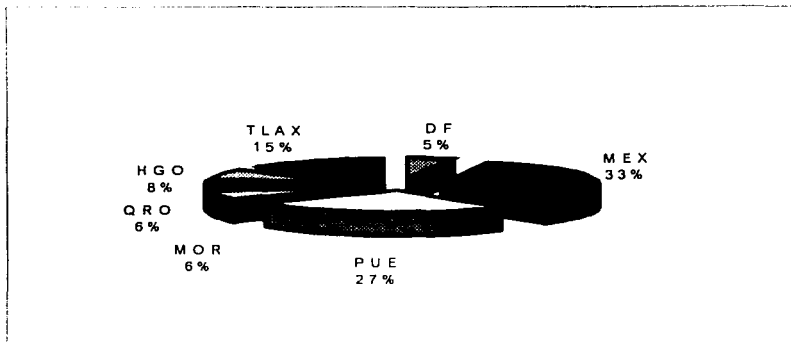
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Gráfica 3.5 Porcentaje de accidentes carreteros que involucran materiales y residuos peligrosos ocurridos en 1998.**



Fuente: Base de Datos ACARMEX

**Gráfica 3.6 Porcentaje de accidentes carreteros que involucran materiales y residuos peligrosos 1999.**

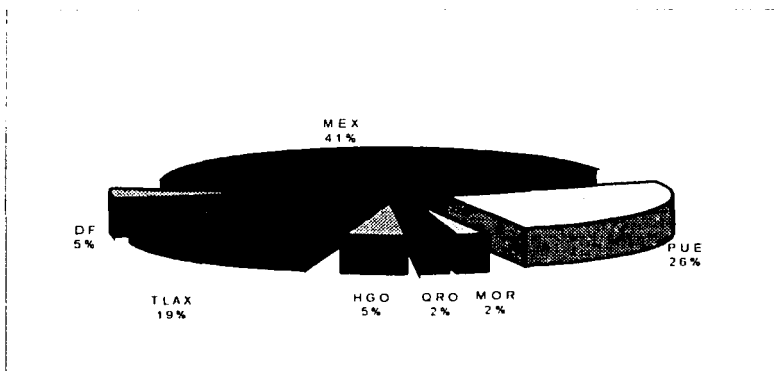


Fuente: Base de Datos ACARMEX

Como se puede observar en las gráficas anteriores, el porcentaje de accidentes, en el periodo de estudio, ha mantenido la misma tendencia. Se

observa que el estado de México es el que presenta el mayor número de accidentes, le siguen los estado de Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Hidalgo, la Ciudad de México y Morelos con el mínimo número de accidentes. Como se mencionó anteriormente en estos estados se encuentran ubicados gran número de parques industriales. Esto implica transporte de materias primas para sus procesos y distribución de productos terminados; lo cual da indicio de la existencia de un flujo vehicular de materiales y residuos peligrosos a lo largo de las vías.

**Gráfica 3.7 Porcentaje de accidentes carreteros que involucran materiales y residuos peligrosos en el primer trimestre del 2000.**



Fuente: Base de Datos ACARMEX

En la gráfica anterior se observa que en los tres primeros meses del año 2000, los accidentes en el estado de México siguen ocupando el primer lugar de accidentes, después lo ocupa Puebla, Tlaxcala y los demás estados con un mínimo número de accidentes.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Las principales causas que originan los accidentes carreteros en el transporte de materiales y residuos se describen en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4 Causas que originan accidentes carreteros**

CAUSA DEL ACCIDENTE	PORCENTAJE (%)
Exceso de velocidad	35.75
Causa no reportada o especificada	21.90
Fallas mecánicas	12.86
Invasión del carril contrario	6.41
Choque con objetos fijos o vehículos	3.45
Pérdida de control del vehículo	3.99
No se respetó la distancia de seguridad	3.31
Algunos de los vehículos involucrados no cedió el paso al otro	3.42
Cansancio/Somnolencia del conductor	2.24
Mala ejecución de vuelta	1.64
Incendio del material transportado o del vehículo	0.96
Explosión del vehículo o del material transportado	0.57
Camino en malas condiciones	0.82
El peatón es causa principal del accidente	0.57
Condiciones climáticas adversas: lluvia, niebla, etc.	0.46
Estado de ebriedad del conductor	0.46
Falta de señalamiento (detención momentánea, accidente, etc)	0.46
Carga mal sujeta	0.25
Cruce de semoviente (asno, caballo, etc)	0.28
Objetos sobre la superficie de rodamiento o choque con puente	0.14
Asalto	0.04
Total	100

Fuente: Base de datos ACARMEX, 2000

**NOTA:** La información de la tabla es de accidentes que ocurrieron de 1996 al primer trimestre del 2000.

### 3.2.2 DELIMITACION DEL NUMERO DE EVENTOS

El 79% de los eventos notificados como emergencias ambientales a PROFEPA, son accidentes en transporte de materiales y residuos peligrosos. Generalmente se conoce el producto derramado (normalmente uno solo), se puede delimitar la extensión de la afectación y el tiempo transcurrido desde el percance si éste no es muy prolongado (PROFEPA, 1999).

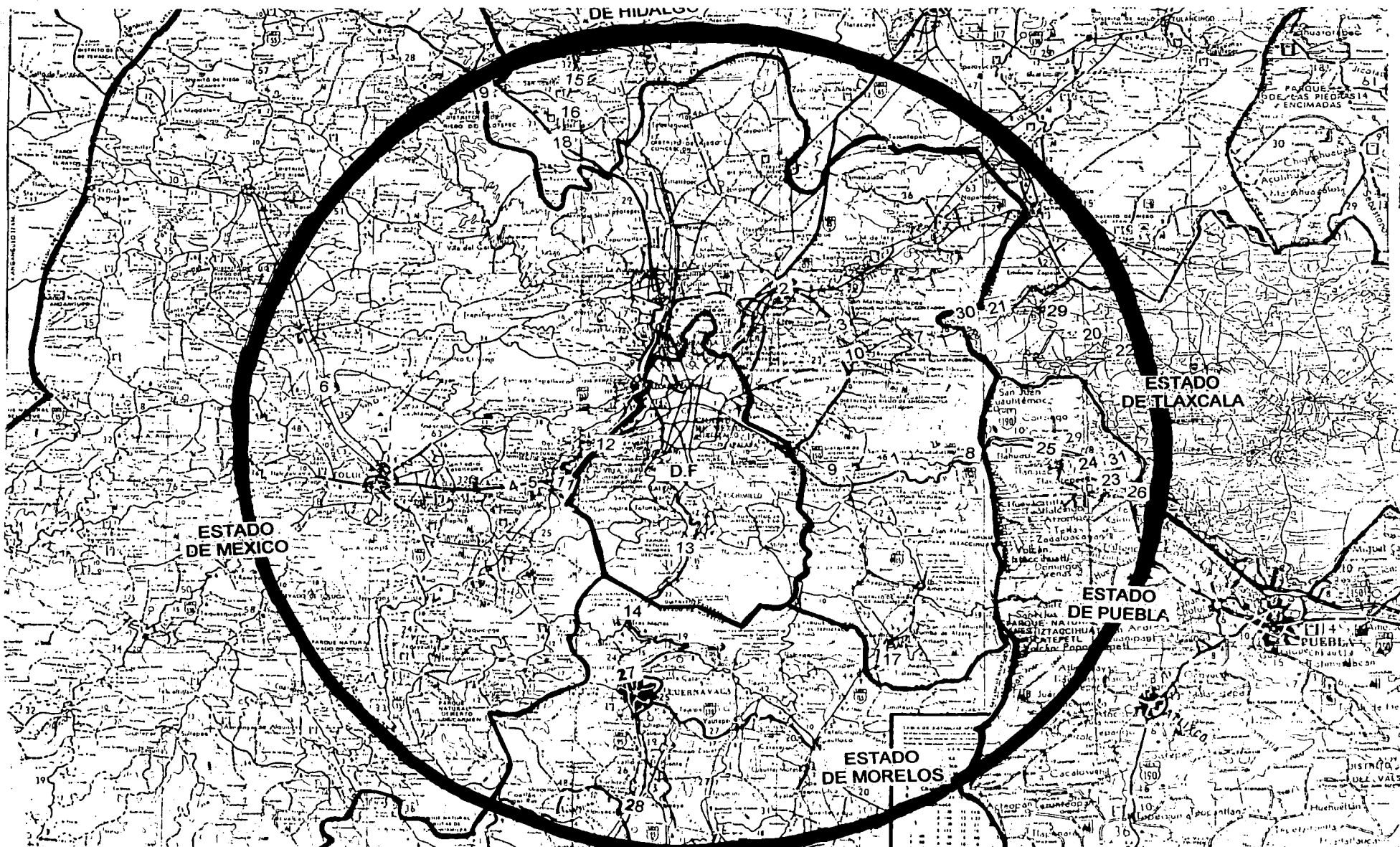
Respecto a información obtenida de la base de datos de ACARMEX, se realizó una selección del número de accidentes, considerando lo siguiente:

- a) Se excluyeron los eventos que involucraran gases
- b) Se eliminaron los accidentes donde no existió derrame alguno
- c) Se eligió al Distrito Federal, ya que es paso obligado de comunicación entre ciudades importantes, (para tomarlo como punto de partida), además, entre el D.F. y estados circunvecinos se cuenta con el 32.30% de accidentes.
- d) Se eligió un radio de 90 Km, considerando que se presentan eventos muy cercanos uno del otro, con la finalidad de establecer zonas conflictivas figura 3.2.

En la tabla 3.5, se muestran los accidentes con derrame, (31 eventos), así como la sustancia que se derramo, el sitio donde ocurrió el accidente y el año.

En la mayoría de los 31 accidentes ocurridos, la causa principal fue el exceso de velocidad y falla mecánica del vehículo





TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 3.2 Localización de accidentes carreteros con derrame de materiales y residuos peligrosos

**Tabla 3.5 Accidentes con derrame de materiales y residuos peligrosos en un radio máximo de 90 km.**

CARRETERA	TRAMO	KM	SUSTANCIA	DERRAME	Año
1. 190 MEXICO-VERACRUZ	AVILA CAMACHO - IXTAPALUCA	019+750	POLIETILENO	INCENDIO	1996
2. 85- MEXICO-PACHUCA	ECATEPEC-VENTA DE CARPIO	025+500	ALFA FRUCTOSA	20%CON 29.6 TON	1996
3. TEXCOCO	LOPEZ PORTILLO-LECHERIA	041+950	ACETONA	INCENDIO	1997
4. MEXICO – NOGALES	LA MARQUESA - LERMA	051+600	ALCOHOL	10%,15646LTS	1997
5. MEXICO – NOGALES	LA MARQUESA - LERMA	048+500	ETANOL	60%,42000LTS	1997
6. PALMILLAS – AXIXITLA	TOLUCA – IXTLAHUACA	025+100	ETOXI - ETANOL	68%,900LTS	1998
7. MEXICO – ZACATEPEC	TEXCOCO - LIM.EDO. TLAX.	032+700	MONOETILENGLICOL	15%, 15 TON.	1998
8. AUTOPISTA 5 DE MAYO	RIO FRIO - CARCEL DE MUJERES	045+600	MONOMERO DE ESTIRENO	8000LTS	1998
9. MEXICO – PUEBLA	IXTAPALUCA	046+500	MONOMERO DE ESTIRENO	200LTS C/43000	1998
10. TEXCOCO-LOPEZ PORT.	TEXCOCO – LECHERIA	033+000	COMBUSTOLEO	150LTS C/30TON	1998
11. MEXICO – NOGALES	LA MARQUESA - LERMA	041+200	DIETILENGLICOL	50% C/43.64TON	1998
12. MEXICO – TOLUCA	SANTA FE - LA MARQUESA	030+500	TURBOSINA	0.5% C/24TON	1999
13. AUTOPISTA MIGUEL A.	CIUDAD MEX.- LIM.EDO. MEX.	046+050	NITRATO DE SODIO	90% C/10TON	1996
14. AUTOPISTA MIGUEL A.	CIUDAD MEX.- TRES MARIAS	019+000	COMBUSTOLEO	60% C/44265LTS	1996
15. TULA – TEPEJI DEL RIO	TULA - TEPEJI DEL RIO	007+100	COMBUSTOLEO	43000LTS	1999

Fuente: Base de Datos ACARMEX

Continuación de la Tabla 3.5 Accidentes con derrame de materiales y residuos peligrosos en un radio máximo de 90 km.

CARRETERA	TRAMO	Km.	SUSTANCIA	DERRAME	Año
16. TULA-TEPEJI DEL RIO	TULA TEPEJI DEL RIO	005+500	COMBUSTOLEO	29500LTS	1999
17. MEXICO-OAXACA	TEPETLIXPA LIM.EDO.MEX.	047+900	ACIDO SULFURICO	34000LTS	1996
18. MEXICO-QUERÉTARO	TEPEJI DEL RIO	067+800	ACIDO SULFURICO	22000LTS	1996
19. MEXICO – PIEDRAS NEGRAS	TEPEJI DEL RIO-CORRALES	006+500	COMBUSTOLEO	200MTS.C/60000 LTS	1998
20. MEXICO-ZACATEPEC	LIM.EDO.MEX - TLALPAN	091+950	DIETILENGLICOL	10% C/16 TON	1999
21. MEXICO-ZACATEPEC	LIM.EDO.MEX - TLALPAN	078+700	AC. FOSFORICO	5% C/10 TON	1999
22. MEXICO-ZACATEPEC	LIM.EDO.MEX - TLALPAN	090+000	ACEITE	50% C/1.7 TON	1999
23. MEXICO-VERACRUZ	RIO FRIO-SN MARTIN TEXM	066+100	SULFATO DE AMONIO	25190 LTS	1998
24. AUT 5 DE MAYO	RIO FRIO- CARCEL DE MUJERES	032+900	AC. TEREFTALICO	16 TON	1998
25. AUT 5 DE MAYO	RIO FRIO- SN MARTIN TEXM	077+100	NITROGENO	30% C/15 TON	1999
26. AUT 5 DE MAYO	RIO FRIO - SN MARTIN TEXM	078+500	COMBUSTOLEO	100 LT C/29 TON	1998
27.MEX- CUERNAVACA	LIM.EDO.DF-MOR-CUERNAVACA	073+800	HIPOCLORITO DE SODIO	35 TON	2000
28. CUERNAVACA-ACAPUL	CUERNA- CASETA ALPUYECA	112+200	PLAGUICIDA	80% C/ 1TON	1997
29. MEXICO-ZACATEPEC	TLALPAN- LIM,EDO.MEX	052+500	ALQUILBENCENO	80% C/ 42000 LTS	1998
30. MEXICO-ZACATEPEC	TEXCOCO- LIM.EDO.TLAXCALA	042+200	ISOPROPANOL	65% C/43000 LTS	1999
31. AUT 5 DE MAYO	LLANO GRANDE CASETA DE PEAJE	048+200	HIDROXIDO DE AMONIO	8000 LTS	1996

Fuente: Base de Datos ACARME

### **3.2.3 Acciones preventivas para la disminución de accidentes carreteros.**

Los accidentes en el transporte de materiales y residuos peligrosos se originan por diversas causas como son fallas de tipo humano o de tipo mecánico, entre otras; sin embargo de acuerdo a la información obtenida de la base de datos ACARMEX, la mayoría de los accidentes ocurren por exceso de velocidad y fallas mecánicas, con objeto de minimizar estos daños ante la posibilidad de que se presenten incidentes durante el transporte de sustancias peligrosas se presentan los siguientes puntos:

1. Las empresas que transportan sustancias peligrosas tienen la responsabilidad de seguir un orden legal es decir:
  - Reglamentos de la SCT (Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos)
  - LGEEPA
2. Checar sus unidades constantemente
  - Sistema eléctrico
  - Sistema de frenos
  - Tuberías del sistema de escape
  - Motor
  - Tableros de control
  - Contar con caja de herramienta y todos los accesorios necesarios para reparar el vehículo
3. Capacitación a operadores
4. Contar con el equipo de protección personal de acuerdo a el tipo de material que se transporta
5. El conductor debe evitar hacer paradas innecesarias
6. Realizar el " antidoping " a los choferes al azar
7. Investigar la zona con mayor incidencia de accidentes
  - Curva peligrosa
  - Carretera en mal estado

Minimización de daños a la población y a la ecología en caso de derrame.

1. La empresa debe contar con una línea telefónica de emergencia que opere las 24 horas del día y los 365 días del año, en caso de lada, contar con identificador de llamadas y sistema de grabación.
2. Difundir el número telefónico, indicando que es línea de emergencia, en las etiquetas de productos, facturas, ligas de seguridad, y en cualquier tipo de información que la industria acostumbra manejar.
3. También difundir este número a transportistas, SCT, PFP, Cruz Roja, Bomberos; Protección Civil.
4. Recabar los siguientes datos:
  - Nombre del informante
  - Lugar donde se informa
  - Hora
  - Lugar del incidente
  - Hora aproximada en que ocurrió el incidente
  - Tipo de transporte accidentado
  - Tipo de contenedor (si esta dañado o no)
  - Material involucrado
  - Averiguar la extensión de la fuga o derrame
5. La persona de guardia debe:
  - a) Contar con base de datos de los productos que se están transportando
  - b) Tener contacto por radio con SEMARNAT, CENAPRED.
  - c) Contactarse con la autoridad a cargo del incidente
  - d) Informar propiedades del producto, para el controlar en caso de incendio o explosión
6. Capacitación a la P.F.P sobre carteles de identificación y sustancias químicas

### 3.3 SELECCION DEL CONTAMINANTE DERRAMADO

Como se puede observar en la tabla 3.4, la mayor incidencia de materiales y residuos peligrosos derramados son hidrocarburos. Por esta razón a continuación se presenta información sobre los hidrocarburos, sus efectos y en capítulos subsiguientes propuestas de rehabilitación para derrames de estos compuestos.

Los productos de petróleo provenientes del aceite crudo son mezclas complejas de muchos compuestos químicos que presentan una gran variación en su composición y, también, variaciones significativas entre diferentes muestras del mismo producto. Esto resulta de la variación natural de las fuentes del aceite crudo, procesos y condiciones de refinación, así como de los tipos y cantidades de aditivos empleados. La mayoría de los productos de petróleo se obtienen del aceite crudo por destilación, que es un proceso que separa los compuestos por volatilidad (Rocha, 2000).

Para entender mejor el comportamiento de los hidrocarburos en el subsuelo es importante reconocer las diferencias en las propiedades físico-químicas, que se observan en las moléculas al aumentar el número de carbonos presentes. El comportamiento es similar en compuestos de estructura molecular semejante.

Las características físico-químicas de los hidrocarburos son muy variadas. Su peso molecular así como su punto de ebullición va desde un valor muy bajo hasta uno muy alto; pueden ser viscosos o ligeros, muy volátiles o relativamente no volátiles, altamente solubles o insolubles (ver anexo 3). Muchos de los hidrocarburos y sus mezclas tienen también menor densidad que el agua. Esta variabilidad en las características físico-químicas causan que el comportamiento de los hidrocarburos individuales así como las mezclas de diferentes hidrocarburos en el subsuelo sea también muy variable.

En general, al aumentar el número de carbonos (o tamaño molecular) se observa lo siguiente: mayor punto de ebullición, menor presión de vapor, mayor densidad, menor solubilidad en agua, mayor adhesión a los suelos y menos movilidad en el subsuelo. Se espera que los hidrocarburos con más de 10 átomos de carbono, sean, inmóviles en el subsuelo (debido a bajas solubilidades, bajas

presiones de vapor, y fuerte tendencia a absorberse a la superficie del suelo), excepto cuando se encuentran en fase no acuosa (ASTM, 1995).

Los hidrocarburos aromáticos son más solubles y móviles en el agua que los hidrocarburos alifáticos de similar peso molecular. Los hidrocarburos oxigenados tienen, generalmente, solubilidades mucho mayores que los hidrocarburos de similar peso molecular, por lo que son los constituyentes de los combustibles de petróleo más móviles. Los alcoholes ligeros, incluyendo el metanol y etanol, son completamente miscibles en agua en todas las proporciones (ASTM, *op. cit.*).

Es importante notar que el comportamiento de distribución de compuestos individuales es afectado por la presencia de otros hidrocarburos en el subsuelo. Las concentraciones máximas, disueltas y en vapor, alcanzadas en el subsuelo son siempre menores que en cualquier combustible de petróleo puro.

### 3.3.1 Efectos toxicológicos y de la salud ocasionados por hidrocarburos

Los hidrocarburos son peligrosos desde tres diferentes perspectivas (Madrigal, 1998):

- Riesgos de explosión e incendio
- Son tóxicos a la salud humana
- Dañinos al ambiente, especialmente al agua potable

**Riesgos de explosión e incendio.** Solo la gasolina y los productos de medio destilado como el keroseno, y productos derivados, poseen riesgos de provocar incendios bajo las condiciones normales encontradas durante las actividades de rehabilitación. Estas actividades incluyen la remoción de tanques, excavaciones, muestreos, perforaciones, mantenimiento de equipo y monitoreo.

Los productos que tienen alta presión de vapor, como la gasolina, tienen el potencial para crear serios problemas en estructuras subterráneas como basamento, letrinas y estructuras de estacionamientos.

Para los trabajadores rutinariamente expuestos a los vapores de hidrocarburos, la ruta más común de exposición de inhalación. las exposiciones a la gasolina por largos periodos han sido asociados con enfermedades del riñón y otros efectos (Madrigal, *op. cit.*).

**Toxicidad.** La toxicidad de los hidrocarburos puede ser aguda o crónica. Una toxicidad aguda es definida como una exposición a altas concentraciones en un periodo corto de tiempo; la toxicidad crónica se define como una exposición a sustancias peligrosas de baja concentración por un periodo largo. Las manifestaciones a intoxicaciones agudas por la exposición a hidrocarburos se puede presentar en minutos, horas o en pocos días. Los efectos crónicos toman años en aparecer y son frecuentemente muy difíciles de correlacionar con la exposición original (Madrigal, *op. cit.*).

Los efectos y síntomas de la exposición a los hidrocarburos son difíciles de cuantificar sobre una base clínica. Primero, no existe una división clara entre los efectos agudos y crónicos. Segundo la sensibilidad individual a los hidrocarburos varía enormemente. Tercero, resulta difícil distinguir los síntomas de la exposición a hidrocarburos con los síntomas no relacionados con esta exposición. (Madrigal, *op. cit.*). (Los efectos a la salud por hidrocarburos están resumidos en la tabla A3.2, anexo 3).

Los hidrocarburos ligeros, incluyendo benceno y los alquilbencenos son depresivos al Sistema Nervioso Central (SNC), en concentraciones relativamente moderadas. Los síntomas generales de la depresión del SNC incluyen pérdida de la coordinación, somnolencia, vómito y mareo. Efectos más severos de exposiciones en periodos cortos incluyen pérdida del conocimiento, hemorragia del pulmón y órganos intestinales, y en casos raros muerte debido a falta de circulación. Algunos compuestos de la gasolina, especialmente benceno, están asociados con problemas agudos y crónicos en periodos cortos de exposición (Madrigal, *op. cit.*).

Los hidrocarburos son buenos solventes de grasas y sustancias no acuosas utilizadas como aditivos en productos comerciales, como desengrasantes. Desafortunadamente, las grasas y sustancias no acuosas también incluyen los



lípidos que componen las células que forman parte a su vez, de las membranas de los tejidos. Las células de la piel están bien protegidas por una membrana impermeable de queratina, pero el tejido epitelial tal como el que compone la cubierta de la garganta y los pulmones son mucho más sensibles. Por esto la inhalación de vapor de hidrocarburos puede causar daño a los tejidos del pulmón (Madrigal, *op. cit.*).

La principal dificultad con el diagnóstico de problemas agudos de salud asociados con la exposición a hidrocarburos es que muchos de los síntomas son esencialmente los mismos de la tensión u otras dolencias relativamente menores: pérdida de la coordinación, mareo, náusea, vómito, diarrea, irritabilidad, pérdida de apetito; síntomas regularmente comunes que pueden reflejar efectos a la salud sin estar relacionados con la exposición a hidrocarburos (Madrigal, *op. cit.*).

El tolueno representa aproximadamente del 4 al 7% de la gasolina. El principal riesgo asociado con la inhalación aguda de altos niveles de tolueno es la depresión del SNC. La exposición controlada de seres humanos sujetos a 200 ppm de tolueno por 8 horas produjo fatiga moderada, debilidad, confusión, lagrimeo y comezón en la piel. A 600 ppm se observaron efectos adicionales, incluyendo euforia, dolor de cabeza, mareo, pupilas dilatadas y náusea. A 800 ppm los síntomas fueron más severos y requirieron varios días para desaparecer. Se han observado efectos dañinos en humanos después de 20 minutos de exposición a 300ppm y después de 76 horas a 200ppm. La irritación de ojos es notable a vapores con concentraciones de 300 a 400 ppm (Madrigal, *op. cit.*).

Los xilenos componen cerca del 56 al 8% del peso de las gasolina. Los principales efectos son similares a los efectos de exposición a otros alquilbencenos: depresión del SNC, pérdida de coordinación, náusea, vómito y dolor abdominal. Los Xilenos tienen efectos variables sobre el hígado y los riñones y un efecto de irritación sobre el tracto gastrointestinal. El líquido y el vapor son irritables a la piel y ojos. Los efectos crónicos de la exposición al xileno se asemejan a los efectos de una exposición aguda, pero son más severos. Han sido reportados dolor de cabeza, irritación, fatiga, desordenes digestivos y desordenes del sueño. La inhalación de altas concentraciones pueden causar temblores,

debilitamiento de la memoria, mareo, vértigo, dolor de cabeza y anorexia (Madrigal, *op. cit.*).

El etilbenceno irrita la piel, ojos y tracto respiratorio superior. La absorción sistemática causa depresión del CNS. Se tienen limitados datos sobre los niveles de exposición humana. A 200 ppm, la irritación de ojos y el lagrimeo son inmediatos (Madrigal, *op. cit.*).

Los hidrocarburos alifáticos en general, y los alcanos en particular, tienen un efecto narcótico o depresivo sobre el sistema nervioso humano. La absorción puede ser a través de la piel o los pulmones, pero es mucho más rápido a través de los pulmones. Los síntomas a una intoxicación con hidrocarburos alifáticos son similares a los efectos de los compuestos aromáticos; mareo, náusea, y pérdida de la coordinación. Los síntomas son reversibles exponiéndose al aire fresco. Los alcanos son buenos solventes de lípidos y pueden disolver los lípidos de los tejidos y las células de las membranas si son aspirados por los pulmones (Madrigal, *op. cit.*).

El n-hexano es el tóxico de los alcanos, comprenden del 11 al 13% del peso de las gasolina. La mayor parte de los datos de exposición de los seres humanos son derivados de la exposición de los trabajadores a vapores del solvente en sus centros de labores y pueden ser no directamente comparable con la exposición en suelo y agua contaminada. Las exposiciones agudas ocurren a través de la inhalación. Los principales síntomas de la exposición son vértigo, dolor de cabeza y náusea. En exposiciones a altas concentraciones tienen un efecto narcótico sobre el SNC. Los efectos pre-narcóticos ocurren en concentraciones de vapor de 1500 a 2500 ppm La exposición crónica a los vapores de n-hexano causan daño a los nervios musculares. La principal señal clínica de daño a los nervios es el entumecimiento en los dedos de las manos y los pies. Más exposiciones pueden provocar un aumento en el entumecimiento y pérdida de los reflejos musculares. Se desarrolla parálisis reversible con diferentes niveles de gravedad. La recuperación inicia de las 5 a las 12 semanas después de la exposición. Los casos más severos toman años de recuperación (Madrigal, *op. cit.*).

El octano, si se inhala dentro de los pulmones, puede causar rápidamente la muerte debido a un paro cardíaco, parálisis respiratoria y asfixia. El octano tiene un efecto narcótico similar al del hexano. Una prolongada exposición a la piel causa quemaduras y ampollamiento de la misma (Madrigal, *op. cit.*).

El isopentano es un depresivo del SNC. Los efectos de la toxicidad aguda son similares a los efectos de la intoxicación por alcohol: mareo, dolor de cabeza, náusea, confusión y pérdida de la coordinación. La exposición prolongada provoca pérdida del conocimiento (Madrigal, *op. cit.*).

Los productos de medio destilado incluyen keroseno, combustibles para avión y diesel. Estos combustibles contienen parafinas (alcanos), cicloalcanos, aromáticos y oleofinas de aproximadamente C<sub>9</sub> a C<sub>20</sub>. Compuestos aromáticos de interés incluyen alquilbencenos, tolueno, naftalenos e hidrocarburos poliaromaticos (PAHs), keroseno y diesel (Madrigal, *op. cit.*).

Todos estos productos tienen rutas similares de exposición: ingestión, absorción e inhalación. La inhalación de hidrocarburos ligeros produce daños más severos. Altos niveles de vapor son irritantes para ojos, membranas mucosas y tejidos de los pulmones. Los efectos tóxicos agudos son similares a los efectos de exposiciones a hidrocarburos alifáticos: náusea, dolor de cabeza, confusión e irritación del sistema respiratorio. Los vapores son irritantes para los ojos, membranas mucosas y tejidos de los pulmones y pueden tener un efecto sobre la piel por el efecto del solvente (Madrigal, *op. cit.*).

### 3.4 CONCEPTOS Y DEFINICIONES DE SUELO

El término suelo tiene diferentes acepciones (Rocha, *op. cit.*):

- a) Desde el punto de vista agrícola: es la delgada parte superior del manto de rocas en que penetran las raíces de las plantas, y donde estas toman aguas y sustancias necesarias para su existencia.
- b) Para la geología es todo material intemperizado (producto de acción en el tiempo, del clima y de los organismos vivos en un material con cierta topografía) y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie.

No considera los materiales transportados ni intemperizados posteriormente a su transporte.

Así mismo los geólogos, definen como subsuelo la parte de la corteza terrestre, debajo del suelo en la que el material no esta intemperizado (Blyth, 1989).

Desde el punto de vista ambiental se puede agrupar las acepciones dadas por los agrónomos (suelo) y los geólogos (subsuelo) como un solo medio. Esto, porque tanto las propiedades de este medio tratadas desde el punto de vista agrícola como del punto de vista de geología son muy importantes en el transporte y destino de los contaminantes (Rocha, *op. cit.*).

En el suelo y el subsuelo, se distinguen tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida esta formada por partículas de suelo; la líquida por el agua en el suelo, (aunque en sitios contaminados puede haber también fluidos no acuosos (no soluble en agua, como los hidrocarburos); la fase gaseosa comprende aire y CO<sub>2</sub> (Rocha, *op. cit.*).

#### 3.4.1 Propiedades físicas y químicas del suelo

La cantidad de suelo contenida en los quince centímetros de la capa superior se estima en  $2.2 \times 10^6$  kg./área. La capacidad de esta masa de suelo para absorber nutrientes y retener suficiente agua para sustentar la vida de las plantas depende de ciertas propiedades físicas y químicas. Algunas de éstas son (Hornick, 1983):

- Textura
- Infiltración y permeabilidad
- Capacidad de almacenamiento de agua
- Densidad
- Contenido de materia orgánica
- Capacidad de intercambio catiónico
- Contenido de macronutrientes

- Salinidad
- Contenido de micronutrientes

Los suelos minerales están compuestos aproximadamente de 45% de material mineral (variando las proporciones de arena, limo y arcilla), 25% de aire, 25 % de agua y 5% de materia orgánica. Cualquier cambio significativo en el balance de estos componentes afectan las propiedades físicas y químicas antes mencionadas. Esto altera la capacidad del suelo para (Hornick, *op. cit.*):

- a) soportar las reacciones químicas y biológicas necesarias para degradar, transformar e inactivar los constituyentes tóxicos de los residuos, y
- b) funcionar como filtro natural en la adsorción y retención de los constituyentes de los residuos, así como en la prevención o minimización del transporte, lixiviación y contaminación de las aguas subterráneas y superficiales.

Por lo tanto, el suelo contaminado es un sistema que generalmente consiste de cuatro fases (Izcapa, 1998):

1.-Acuosa

2.-Gaseosa

3.-Aceite comúnmente referido como fase líquida no acuosa (NAPL) (non aquos phase liquids)

4.- Sólido el cual tiene dos componentes, una parte mineral inorgánica y otra parte de materia orgánica.

La interfase para la transferencia potencial de los constituyentes de los residuos entre las fases de aceite, agua, aire y sólido (orgánica e inorgánica) en un sistema de suelos, se ve afectada por la relativa afinidad de los constituyentes de cada fase; ésta afinidad se puede cuantificar mediante el cálculo de los coeficientes de partición. Los coeficientes de distribución se calculan como la relación de la concentración de una sustancia química en la fase del suelo, aceite, o aire a la concentración en una sustancia química en la fase de agua (Sims, 1990).

### 3.4.2 Contaminación del subsuelo por hidrocarburos

El comportamiento de los hidrocarburos en el subsuelo depende tanto de sus características fisicoquímicas como las propias de cada estrato. Las diferentes zonas del subsuelo se presentan esquemáticamente en la figura 3.3.

La capa superior que es el horizonte orgánico, es una capa delgada de espesor variable, por lo general entre 30 y 70 cm.

Inmediatamente por debajo de la zona orgánica, se encuentra la capa superior de suelo donde existe la zona no saturada o vadosa. Los espacios intersticiales en esta zona están parcialmente llenos de agua y de aire. Dependiendo del tipo de suelo, esta zona es moderadamente aireada y es rica en actividad microbiana.

Por debajo de la zona vadosa, el suelo empieza a incrementar su grado de saturación y anaerobiosis. El grado de saturación aumenta hasta alcanzar un 100%. La zona capilar se considera parte de la zona vadosa aunque por lo general esta completamente saturada; sin embargo, la saturación se debe a capilaridad y fluctuaciones con las variaciones de nivel freático.

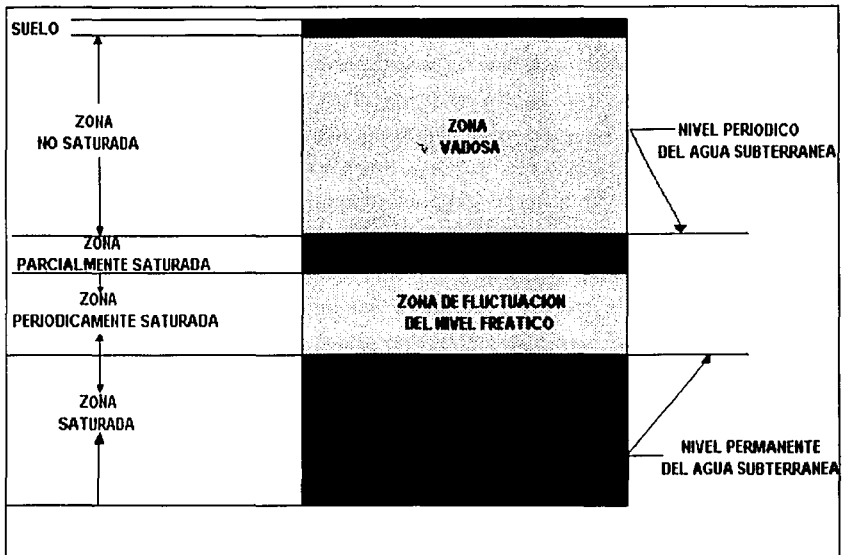
La tensión superficial actúa trayendo una cantidad de agua por arriba de lo normal de los espacios intersticiales insaturados incrementando el grado de saturación del suelo arriba del nivel freático.

La zona de fluctuación llega a estar parcialmente saturada cuando el agua subterránea se eleva durante los periodos de fuertes escurrimientos superficiales.

La zona inferior esta permanentemente saturada y su frontera superior se denomina nivel freático, que se define como la línea en la cual se tiene la presión atmosférica.

Una vez que los hidrocarburos empiezan a migrar a través del subsuelo se inicia la interacción con la matriz a través de la cual están migrando. Los hidrocarburos se pueden presentar en el subsuelo en cualquiera de las siguientes fases: fase vapor, fase de bulbo líquido, fase adsorbida y fase disuelta. Las interacciones y el grado en que ocurren son una función de las características fisicoquímicas de los propios hidrocarburos y de las características del suelo.

Figura 3.3 Zonas del subsuelo



Fuente: MADRIGAL, 1998

De acuerdo con su densidad, los compuestos orgánicos se clasifican en dos grupos (Madrigal, *op. cit*):

- Aquellos cuya densidad es menor que la del agua se denominan ligeros (LNAPLs, por sus siglas en inglés) y,
- Los de una densidad mayor a la del agua se les conoce como densos (DNAPL, por sus siglas en inglés)

Esta clasificación es importante ya que es lo que determina el comportamiento de los contaminantes en el acuífero.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la primera etapa de migración, el petróleo migra principalmente de forma descendente bajo la influencia de las fuerzas gravitacionales. Durante esta etapa las fuerzas capilares producen alguna migración lateral. En la zona vadosa, los hidrocarburos altamente volátiles tienden a volatilizarse y llegan a ser parte del ambiente en la zona vadosa. Aquellos hidrocarburos que tienen un gran afinidad por la matriz sólida del suelo en la cual están migrando tienden a adsorberse. Los hidrocarburos que son muy solubles en agua, tienden a disolverse en la zona vadosa, cuyas partículas de suelo se cubren y migran en el interior de los poros, creando una fase residual. Si el volumen de hidrocarburos introducido al subsuelo excede la capacidad residual de la zona vadosa del suelo, este continuara migrando verticalmente hasta alcanzar el nivel freático o alguna unidad de baja permeabilidad donde se acumulara y extenderá lateralmente. Esta fase separada de hidrocarburo junto a la fase que permanece adsorbida a la matriz del suelo constituye una fuente de contaminación al manto freatico. Debido a que la fase separada de hidrocarburo descansa sobre la superficie del nivel freatico o más correctamente sobre la superficie de la zona capilar, este viajara verticalmente con las fluctuaciones estacionales del nivel freatico. Estas fluctuaciones crean una zona de alta concentración de hidrocarburos continuamente referida como la "zona de mancha". Los hidrocarburos en los poros del suelo de esta zona están sumergidos y circundados por agua subterránea por al menos una parte del año. Debido a esto, los hidrocarburos están íntimamente asociados con el acuífero actuando como una fuente muy significativa de contaminación disuelta (Madrigal, *op. cit.*).

### **3.4.3 Contaminación del agua subterránea**

Los hidrocarburos que alcanzan el agua subterránea crean una fase disuelta como resultado de su solubilización, la cual es función de la solubilidad de los compuestos que conformen el hidrocarburo. Los compuestos muy solubles son compuestos hidrofílicos, y se disuelven para crear fases disueltas con altas concentraciones. En contraste, los compuestos hidrofóbicos, de baja solubilidad,



se disuelven escasamente en el agua subterránea. Si bien el grado con el cual un compuesto individual se disuelve en el agua subterránea es una función de la solubilidad de los compuestos acuosos, en el caso de una mezcla de hidrocarburos, la solubilidad es una función de la fracción molar de los compuestos en toda la mezcla (Madrigal, *op.cit.*).

Una vez disueltos, los hidrocarburos migran con el flujo del agua subterránea vía transporte dispersivo y advectivo. La velocidad con la cual migra el flujo de hidrocarburos es proporcional a su viscosidad y a la densidad de partícula y conductividad del suelo. Sin embargo, los hidrocarburos disueltos son transportados a una velocidad menor que la velocidad del agua subterránea. El grado con que la velocidad de los hidrocarburos se retarda con respecto a la velocidad del agua, es una función de su interacción con la matriz del suelo a través del cual esta migrando. Más específicamente, es una función de la interacción con la fracción orgánica presente en el suelo. Aquellos compuestos con una baja afinidad por la matriz del suelo migran a velocidades que son relativamente altas en comparación con aquellos compuestos que presenten una gran afinidad por la matriz. Esta variabilidad en el retardo, origina que el compuesto disuelto, en la pluma de contaminación se separe. Los compuestos hidrofílicos y oleofóbicos tienden a ser encontrados sobre el filo principal de la mancha de contaminación, mientras que los compuestos hidrofóbicos y oleofóbicos tienden a ser encontrados cerca de la fuente de contaminación (Madrigal, *op. cit.*).

**CAPITULO 4**  
**EVALUACION DE LAS ZONAS**  
**AFECTADAS CON PROPUESTAS**  
**DE RESTAURACION**

## EVALUACION DE LAS ZONAS AFECTADAS CON PROPUESTAS DE RESTAURACION

Para evaluar un sitio contaminado y establecer la necesidad de restaurarlo es necesario la planeación adecuada de las actividades como: la colección de datos, identificación de los principales efectos sobre las personas y el ambiente, diseño de programas de muestreo y análisis de los diferentes medios comprendidos en él (suelo, agua y aire), y reporte de la evaluación de resultados.

La evaluación de sitio tiene por objetivos los siguientes puntos: (Izcapa, *op. cit.*):

- a) Determinar el grado de contaminación
- b) Establecer medidas de seguridad
- c) Determinar el nivel de limpieza a que debe llegarse según el análisis de riesgo y el uso de suelo
- d) Con base a lo anterior, establecer las medidas de restauración que mejor convengan de acuerdo con el diagnóstico

### 4.1 EVALUACION DEL SITIO CONTAMINADO

La evaluación de un sitio se puede definir como la secuencia planeada y organizada de actividades llevadas a cabo para determinar la naturaleza y distribución de contaminantes sobre y abajo de la superficie del sitio que se ha identificado como potencialmente contaminado. El propósito de la evaluación consiste en (Izcapa, *op. cit.*):

- Determinar si existe o no liberación de sustancias peligrosas al ambiente
- Identificar y establecer la distribución y concentración de los contaminantes presentes
- Desarrollar el programa de restauración del sitio

Para lograr los propósitos de la investigación se deben definir sus objetivos, determinar el nivel de información requerida y planear apropiadamente las etapas necesarias; con la finalidad de satisfacer las necesidades específicas del proyecto.

#### 4.1.1 EVALUACION PRELIMINAR DEL SITIO

El primer paso en el proceso de evaluación de sitio, involucra generalmente la colección sistemática de información para identificar la contaminación potencial y sus posibles fuentes. La recopilación de información es fácilmente disponible, relativamente rápida y de bajo costo. Incluye el reconocimiento del lugar y su ambiente circundante, pero no se lleva a cabo él muestro:

Esta evaluación incluye las siguientes actividades (Izcapa, *op. cit.*):

- Análisis de la historia del terreno a través de fotografías del lugar, mapas históricos y actuales, mapas de uso de suelo.
- Descripción detallada de las actividades, proceso de manufactura, materias primas, productos, subproductos y residuos.
- Conocimiento de las actividades previas a través de información registradas en archivos locales o dependencias reguladoras.
- Realización de entrevistas con los ocupantes del lugar presentes y pasados, funcionarios de gobierno y vecinos.
- Realización de visitas para inspeccionar el manejo de los materiales y residuos, las prácticas de almacenamiento de combustible en instalaciones en operación.
- Localización de construcciones, tuberías de desagüe, alcantarillas, drenaje y tanques de almacenamiento.
- Realización de visitas para familiarizarse con la topografía general, condiciones y principales rasgos del lugar y del suelo circundante.
- Establecimiento de las características geológicas naturales del área a partir de mapas.
- Revisión de información hidrogeológica del área y caracterización de acuíferos y suministros de agua.
- Obtención de datos meteorológicos (clima y pronóstico del tiempo, vientos prevalecientes, niveles de precipitación, perfiles de temperatura).

- Ubicación de centros de población cercanos y caracterización de la población expuesta al riesgo.
- Obtención de información sobre especies amenazadas o en peligro de extinción.

En lo posible el recorrido debe hacerse caminando, primero alrededor del perímetro del terreno antes de inspeccionar el área central y los puntos de interés (Izcapa, *op. cit.*):

Con la evaluación preliminar se establece la necesidad de investigación posterior, el tipo de muestreo y los análisis requeridos para corroborar la información obtenida de la evidencia documental y para complementar la información. Esta actividad es muy útil para evaluar las condiciones generales del lugar, las áreas de posible contaminación, para desarrollar el plan de muestreo y prever los peligros potenciales asociados a éste, o bien sirve para confirmar que el sitio este libre de contaminación y que no es necesaria una investigación más detallada.

#### **4.1.2 EVALUACION DETALLADA DEL SITIO**

La segunda etapa en el proceso de evaluación del sitio consiste en confirmar y describir la contaminación presente a través de un programa de muestreo de análisis de diferentes medios y de los residuos.

Una evaluación detallada debe caracterizar el tipo y extensión de la contaminación en el lugar o confirmar que el contaminante que se sospechaba no está presente. Esta etapa involucra la colección de nueva información por medio de información visual y muestreo. Los puntos de muestreo deben planearse estratégicamente para identificar los contaminantes presentes, determinar si estas sustancias peligrosas han impactado objetivos específicos vía suelo, agua superficial, agua subterránea.

Durante la evaluación preliminar surgen recomendaciones para realizar una investigación adicional, las cuales se basan en una sospecha sin sustentación analítica, ya que en esta etapa no se toman muestras de campo. Si después del

muestreo para probar las hipótesis de la evaluación preliminar se encuentra que el sitio no presenta amenaza significativas a la salud humana o al ambiente, la evaluación detallada sirve como una segunda investigación para descartar el lugar.

#### 4.1.3 REVISION DE INFORMACION DISPONIBLE

Antes de desarrollar los planes de la evaluación detallada el investigador debe revisar los resultados obtenidos a partir de investigaciones previas, particularmente de datos analíticos. Estos datos pueden ayudar a guiar el muestreo adicional, probar las hipótesis sobre el sitio y evaluar amenazas de contaminación en (EPA/540, 1992):

- Pozos de agua potable por migración de sustancias peligrosas al agua subterránea.
- Tomas de agua potable por migración de sustancias peligrosas al agua superficial.
- Piscicultura y ambientes sensibles, por migración de sustancias tóxicas a las aguas superficiales.
- Residentes y ambientes sensibles a la contaminación del suelo, y
- Poblaciones y ambientes sensibles por migración de sustancias peligrosas al aire.

#### 4.2 MUESTREO

El muestreo se realiza para coleccionar información, caracterizar la contaminación, identificar y confirmar las rutas de exposición y plantear acciones de restauración. El plan de muestreo generalmente se prepara junto con un plan de seguridad y uno de aseguramiento de calidad.

Un plan de muestreo correctamente preparado e implementado permite cumplir con los objetivos del muestreo, ayuda a evitar errores y confusión en el

campo, preserva la salud y la seguridad de los trabajadores y ahorra tiempo y dinero.

El primer paso en la planeación del muestreo de un sitio contaminado es definir sus objetivos, los cuales dependerán de la cantidad de datos que ya están disponibles y del propósito de la investigación global (Izcapa, *op. cit.*).

El proceso de muestreo debe tender a:

- Identificar los niveles más altos de contaminación
- Describir la distribución de la contaminación

#### **4.2.1 MUESTREO DEL SITIO CONTAMINADO**

La contaminación presente en un suelo está sujeta a una gran variabilidad como son los tipos de contaminantes, sus propiedades físicas y químicas, el cambio de concentración a lo largo de todo el sitio y el tipo de suelo. Otra característica única de los suelos es la lentitud de migración de los contaminantes de un sitio a otro; de manera que un sitio puede volverse a muestrear en una hora o más sin que haya ocurrido un cambio significativo en los contaminantes o sus concentraciones.

Otra característica del muestreo de suelo es el submuestreo. En muchos estudios de suelos es muy útil el submuestreo o muestreo multietapas. Con esta técnica la unidad de muestreo seleccionada se divide en elementos pequeños y la característica bajo consideración se mide en una muestra de estos elementos extraída al azar a partir de la unidad.

La principal ventaja del submuestreo es que permite estimar alguna característica de la unidad de muestreo sin necesidad de medir la unidad completa. De esta manera se reduce considerablemente el costo de investigación.

## 4.2.2 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Una vez que se decide el esquema de muestreo el siguiente paso es seleccionar los puntos de muestreo. Para el esquema estadístico, la selección del sitio exacto de cada punto de muestreo es crucial para lograr representatividad, pudiendo influir por ejemplo, la dificultad en la colección de una muestra en un punto dado, la presencia de vegetación o la decoloración del suelo.

Los puntos de muestreo se localizan usando varios métodos. Uno relativamente simple para ubicar puntos al azar consiste en medir con un compás y una cinta métrica o bien a pasos para ubicar estos puntos con respecto a una marca relativamente permanente. Entonces las coordenadas aéreas de los puntos de muestreo se dibujan en un mapa y los puntos de muestreo se marcan para futuras referencias. Los métodos de muestreo de suelos pueden diferir en detalle, pero todos usan uno de los siguientes tres equipos básicos: pala de mano, taladro, o dispositivo para obtener núcleos.

Se deben tomar en cuenta dos consideraciones principales cuando se selecciona un equipo de muestreo específico: las condiciones del suelo y los contaminantes que se van a analizar a partir del material colectado. Las condiciones del suelo pueden ser extremadamente variables de un sitio a otro.

El uso y selección inapropiado del equipo de muestreo pueden dar por resultado datos que no son representativos del suelo que se está estudiando. Los resultados basados en esta experiencia previa o a partir de una prueba equivalente pueden usarse para evaluar y seleccionar el equipo apropiado para un objetivo de muestreo específico.

Para muestreo superficial o poco profundo de 15 a 30 cm. Puede usar cucharas o palas, aunque no se obtienen muestras muy similares. Estas herramientas no son recomendables para suelos contaminados con compuestos volátiles, ya que se pueden volatilizar durante el muestreo y obtener muestras no representativas. Generalmente los cucharones deben ser de acero inoxidable para contaminación de compuestos orgánicos.



### 4.2.3 Preparación de la muestra

En la tabla 4.1 se muestran los materiales apropiados de los recipientes para diferentes clases de compuestos, así como algunos procedimientos que deben seguirse.

**Tabla 4.1. Contenedores para muestras de suelo**

GRUPO DE COMPUESTOS	CONTENEDOR	COMENTARIOS
Inorgánicos	Plástico, vidrio	
Compuestos orgánicos volátiles	Vidrio, de preferencia viales con tapas de teflón	Mantener frío (<4 °C) en campo.
Hidrocarburos poliaromáticos y nitrosaminas	Vidrio color ámbar, enjuagado con solvente, tapas forradas de teflón u hoja de metal	En campo mantener frío a <10°C y no exponer a la luz. Refrigerar para almacenar
Ftalatos	Vidrio enjugado con solvente, tapas forradas de teflón	En campo mantener frío a <10°C y no exponer a la luz. Refrigerar para almacenar. No poner en contacto con plásticos durante el muestreo
Otros compuestos orgánicos	Vidrio enjugado con solvente, tapas forradas de teflón	En campo mantener frío a <10°C y no exponer a la luz. Refrigerar para almacenar

Fuente: (OMEE, 1994)

Para análisis de compuestos orgánicos, el suelo ni se tamiza ni se seca, ya que estas operaciones podrían ocasionar la pérdida o remoción de algunos compuestos de interés. En lugar de esto, se toma una parte de la muestra bien mezclada y se determina su humedad. Este valor se usa para calcular los resultados analíticos en peso base seca. Al tomar una submuestra para análisis de compuestos orgánicos se debe evitar incluir piedras o material de cascajo, por que podría sesgar los resultados debido a su desproporcionado peso en la pequeña submuestra.

Las muestras para análisis de compuestos orgánicos volátiles deben permanecer selladas y enfriadas a  $< 4^{\circ}\text{C}$  hasta que se analicen. Si se requiere molienda porque se sospecha que hay esquistos que contienen compuestos orgánicos volátiles (COV's) se debe volver a resellar inmediatamente después de molerla.

### 4.3. Desarrollos de criterios de limpieza

La decisión de limpiar un sitio se determina suponiendo que existen ciertas concentraciones de contaminantes (ver tabla A3.4, anexo 3), las cuales si no se exceden en el ambiente se consideran permitidas. Comúnmente estos criterios de limpieza o concentraciones de contaminantes aceptables se aplican a suelos (Killian, D. 1989).

Los criterios de limpieza son concentraciones de sustancias químicas que aseguran la protección de la salud humana, del agua superficial, del agua subterránea y del aire, y que no poseen un riesgo significativo para la salud humana, por lo tanto las sustancias químicas pueden permanecer en el sitio a estas concentraciones como material residual.

Los siguientes principios se aplican para determinar las concentraciones aplicables de contaminantes (Killian, D. *op. cit.*):

- El suelo está contaminado si contiene una cierta concentración de contaminantes
- Los contaminantes pueden moverse desde el suelo hacia otros ambientes (agua superficial, agua subterránea, aire, sedimentos, biota) por varios mecanismos de transporte.
- Los organismos vivos (hombre, animales o plantas) pueden estar expuestos a los contaminantes del suelo o a los contaminantes que se transportan desde el suelo hacia otros ambientes.

- La exposición de organismos a uno o más de estos contaminantes a ciertas concentraciones puede producir uno o más efectos tóxicos indeseables

Existen dos tendencias generales para establecer criterios o estándares de limpieza para sitios contaminados con materiales peligrosos (Izcapa, *op. cit.*):

1. Estándares iguales para todos los estados de un país, son decir límites numéricos de concentración uniformes, o
2. Estándares específicos del sitio basados en evaluaciones de riesgo a la salud y ecológico, factibilidad técnica y costo

Los estándares de limpieza uniforme son recomendables, por que pueden evitar la necesidad de realizar análisis específicos del sitio, tales como evaluaciones del riesgo a la salud humana. Sin embargo, existe el riesgo de que estos se apliquen inadecuadamente dando por resultado acciones de limpieza que no protegen lo suficiente o son sobreprotectoras (Izcapa, *op. cit.*).

Los estándares de limpieza específicos de un sitio en algunas situaciones son recomendables por que están hechos a la medida para responder a los requerimientos y condiciones únicos del sitio específico. Estos estándares, por ejemplo pueden ser apropiados para un sitio donde están expuestos al riesgo un gran número de receptores tales como plantas, animales y seres humanos por la presencia de contaminantes en varios ambientes. Sin embargo, los costos para desarrollarlos pueden ser excesivos y requerirse mucho tiempo; además, no están disponibles guías apropiadas para determinar los tipos y alcances de los análisis necesarios para evaluar los estándares específicos de un sitio.

Los criterios o estándares de limpieza se desarrollan para cumplir con los siguientes objetivos (OMME, 1994):

- Llevar a cabo la restauración de sitios contaminados a niveles que protejan la salud humana y el ambiente natural contra el potencial de efectos adversos.

- Proteger a la salud humana y el ambiente natural con base en criterio de calidad, considerando los efectos adversos de los contaminantes en suelo.

#### **4.3.1 Criterios de limpieza**

Los principales pasos para la determinación de los criterios de limpieza son (Stephanatos, 1991):

1. Selección de las sustancias químicas indicadoras. Se debe determinar cuáles son las sustancias químicas que se van a considerar para establecer los niveles de limpieza, tomando en cuenta su concentración, propiedades físicas y químicas, destino y persistencia, toxicidad y movilidad ambiental.
2. En los sitios donde exista sustancia carcinogénicas y no carcinogénicas, generalmente las primeras son las que guiarán el proceso de restauración porque las concentraciones correspondientes al riesgo de los receptores normalmente son menores que las concentraciones aceptables para sustancias no carcinogénicas.
3. Identificación de las rutas de exposición potencial. Una ruta de exposición completa tiene cuatro componentes: una fuente de liberación de sustancias químicas, un medio de transporte ambiental, un punto donde los receptores humanos puedan estar expuestos, y una ruta de exposición probable. Siempre es necesario simplificar el número total de rutas de exposición e incluir solo el análisis del peor caso más probable.

Las características específicas del sitio están referidas a los contaminantes en el estado presente. Se trata de estudiar el comportamiento y mecanismos de transporte de estos, basados en las características del sitio y las propiedades

físico-químicas del contaminante. (Tales características se presentan en la tabla 4.2).

Los mecanismos de transporte para determinar las concentraciones de contaminantes aceptables en el suelo incluyen:

- Migración de contaminantes a través de la zona no saturada del suelo hacia el agua subterránea
- Migración de contaminantes a través de la zona saturada (agua subterránea)
- Difusión, volatilización hacia la atmósfera
- Migración de contaminantes sobre el suelo por medio de agua de precipitación y desagüe, y por erosión dentro de las aguas superficiales
- Asimilación de contaminantes por plantas y animales

En muchas ocasiones, la ruta de migración más significativa para el caso de la determinación de los niveles de limpieza es el movimiento de contaminantes a través de la zona no saturada del suelo hacia el agua subterránea.

**Tabla 4.2 Características específicas del sitio contaminado**

Condiciones meteorológicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura</li> <li>- Velocidad del viento</li> <li>- Humedad</li> <li>- Precipitación</li> </ul>
Propiedades del suelo en la zona no saturada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de suelo</li> <li>- Porosidad</li> <li>- Densidad</li> <li>- Contenido de agua</li> <li>- Contenido de arcilla</li> <li>- Contenido de materia orgánica</li> <li>- PH de suelo</li> <li>- Capacidad de intercambio catiónico</li> </ul>
Condiciones geológicas/hidrogeológicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espesor de lecho de roca y/o agua subterránea.</li> <li>- Tipo de roca firme y propiedades del suelo en la zona saturada.</li> <li>- Presencia de acuíferos confinados y/o no confinados.</li> <li>- Conductividad hidráulica.</li> <li>- Gradiente hidráulico.</li> <li>- Porosidad efectiva.</li> <li>- Espesor del acuífero.</li> <li>- Rapidez de recarga.</li> </ul>
Topología/Topografía del sitio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gradientes y contornos superficiales</li> <li>- Proximidad de cuerpos de agua superficiales.</li> <li>- Tipo y cantidad de vegetación.</li> </ul>
Características del agua superficial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de cuerpos de agua superficial</li> <li>- Dimensiones del cuerpo</li> <li>- Rapidez del flujo del agua superficial</li> </ul>
Características del sedimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenido de materia orgánica</li> <li>- Tamaño de partícula</li> <li>- Volumen o cantidad de sedimento</li> </ul>
Características de la biota	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proximidad al sitio</li> <li>- Factores de bioconcentración</li> <li>- Posición en la cadena alimenticia</li> </ul>

Fuente: Izcapa, 1998

### **4.3.2. Evaluación de riesgo**

La evaluación del riesgo es una herramienta útil para estimar el potencial de los efectos adversos que podría originar la presencia de contaminación en un lugar. Los principios de la evaluación de riesgo se pueden utilizar para desarrollar los criterios de limpieza para sitios contaminados y las opciones de restauración.

La evaluación del riesgo consiste en la evaluación técnica y científica de la naturaleza y magnitud del riesgo aplicando criterios objetivos para definir los efectos en la salud debido a la exposición de individuos o poblaciones a contaminantes y situaciones peligrosas. El riesgo se define como la probabilidad de que un evento adverso ocurra.

### **4.3.3. Evaluación del riesgo a la salud humana**

La evaluación del riesgo a la salud humana es una evaluación científica de la probabilidad de consecuencias adversas a la población humana debido a perturbaciones en el ambiente (Li-Muller and Marsh, 1994).

Los cuatro elementos principales que deben considerarse en la evaluación del riesgo a la salud son:

- Identificación del peligro
- Evaluación de la toxicidad
- Evaluación de la exposición
- Caracterización del riesgo

#### **Identificación del peligro**

Consiste en determinar si un contaminante ambiental particular está presente o es probable que lo esté e identificar sus efectos adversos, tal como efectos físicos y químicos (persistencia, bioacumulación), toxicológicos (cancerígenos, mutagénicos) y de la salud (enfermedades).

### **Evaluación de la toxicidad (dosis-respuesta)**

Consiste en la determinación de la relación cuantitativa entre la magnitud de exposición y la probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso particular, así como las incertidumbres asociadas con la determinación.

### **Evaluación de la exposición**

Es la determinación o estimación de la magnitud, frecuencia, duración y rutas de exposición de los contaminantes y la evaluación de las incertidumbres asociadas con la determinación.

### **Caracterización del riesgo**

Consiste en estimar la magnitud del impacto potencial del peligro y la incertidumbre de la estimación, basándose en la severidad de sus efectos y la cantidad de exposición.

#### **4.3.4 Evaluación del riesgo específico para un sitio contaminado**

La evaluación del riesgo específica para un sitio permite incorporar consideraciones particulares del sitio en el desarrollo de los criterios de limpieza para suelo y agua subterránea. Incorpora ambos procedimientos: la evaluación y el manejo del riesgo (Izcapa, *op. cit.*).

La evaluación del riesgo específica de un sitio para una sustancia química consiste en evaluar la probabilidad de consecuencias adversas a la salud causadas por la presencia de una sustancia en un sitio dado. Toma en consideración que muchos contaminantes pueden estar presentes simultáneamente en varios medios tal como aire, suelo y en productos de consumo como alimentos, y que alcanzan a los receptores a través de múltiples rutas de exposición (Li-Muller and Marsh, *op. cit.*).



#### **4.3.5 Evaluación del riesgo ecológico (Li-Muller and Marsh, *op. cit.*)**

Es un proceso que intenta estimar donde es posible cuantificar el riesgo que causa al ambiente y a los seres vivos, sin incluir a los humanos, la presencia de una sustancia química en concentraciones superiores a las que existen de manera natural. El riesgo ecológico es una evaluación técnica y científica de la naturaleza y magnitud del riesgo atribuible al contaminante.

La evaluación del riesgo ecológico puede ser predictiva o retrospectiva. La primera intenta predecir los efectos futuros de un contaminante en el ambiente y se usa para determinar el riesgo potencial de una sustancia química antes de su liberación en el ambiente. La segunda intenta estimar el efecto que ya ha tenido un contaminante sobre el ambiente y se usa para ayudar a determinar los procedimientos de restauración.

De esta manera es posible decir que los criterios de limpieza para suelo se desarrollan para determinar la cantidad de sustancias químicas que pueden permanecer en él dentro de niveles de riesgo aceptables para la salud humana y el ambiente. Debido a que el riesgo es una función de la toxicidad y los tiempos de exposición un criterio de limpieza aceptable para suelo puede determinarse estableciendo un nivel de riesgo aceptable, determinando la cantidad de exposición humana.

#### **4.4 Tecnologías de restauración**

Después de realizar la evaluación ambiental de un sitio potencialmente contaminado, se elegirán las acciones más adecuadas para resolver el problema. Se decide si se requiere o no restauración del suelo contaminado cuando la evaluación ambiental del sitio y la evaluación de riesgo indica que el riesgo que presenta el sitio es aceptable, y que se cumplen con los niveles de limpieza establecidos específicamente para el lugar.

Las técnicas de restauración de suelo contaminado se han desarrollado en los últimos años, principalmente como resultado de las acciones por parte de los gobiernos, como es la expedición de leyes y reglamentos que hacen responsables a los propietarios de las industrias o del suelo, de la contaminación que ocasionan sus actividades, exigiéndoles la limpieza del suelo contaminado. Aun en los países desarrollados, la experiencia sobre restauración del suelo es muy reciente, y las diferentes empresas continúan desarrollando tecnologías para la limpieza de suelo, las cuales se someten a evaluación a través de los programas que para tal efecto tiene cada país.

Técnicamente la opción más simple que se ha usado con mayor frecuencia, es cubrir el suelo con material sin contaminar o con una membrana o material plástico. Este método solo es efectivo cuando la contaminación no se disemina y en los sitios donde el nuevo uso de suelo que se tiene contemplado no va a alterar el subsuelo contaminado. Otra técnica muy empleada es la excavación y disposición de la tierra contaminada en un relleno sanitario, lo cual técnicamente es simple pero muy costoso e inoperable cuando el volumen de suelo contaminado es muy grande (Industry and Environment, 1993).

#### **4.4.1 Restauración**

La etapa de restauración del sitio implica el desarrollo y la aplicación de un plan para remover, dar tratamiento o disponer los contaminantes presentes en el sitio.

El plan de trabajo para llevar a cabo la restauración de un sitio contaminado incluye las siguientes actividades.

- Selección del tipo de restauración que se llevará a cabo.
- Evaluación de las opciones para remoción, almacenamiento y/o tratamiento del suelo contaminado.

- Estudios de tratabilidad y evaluación de las tecnologías que podrían aplicarse.
- Diseño detallado del proceso de restauración.
- Obtención del oficio de acreditación de la empresa y la tecnología propuesta y la determinación de los niveles de limpieza a alcanzar con base en el análisis de riesgo o de acuerdo con la legislación de cada lugar.
- Monitoreo y muestreo de verificación.
- Documentación del proceso y de las condiciones finales del sitio.

La parte final de la restauración consiste en la verificación de las actividades realizadas. Para ello se deben coleccionar y analizar las muestras necesarias para verificar que el plan de trabajo propuesto ha eliminado o reducido la contaminación identificada en el sitio hasta alcanzar los niveles de limpieza establecidos.

Una vez que se ha concluido la restauración se debe documentar el proceso y las condiciones finales del sitio. Esta documentación debe describir los objetivos de la restauración propuestos, el plan de trabajo de restauración, que debe incluir el monitoreo periódico para considerar si la restauración fue exitosa alcanzando estos objetivos.

Es conveniente proporcionar la siguiente información general respecto a los trabajos de restauración llevados a cabo:

- Ubicación del sitio donde se realizó la restauración.
- El nivel de restauración alcanzado y aclarar si es adecuado para el uso de suelo pensado para el sitio.
- Anexar los datos obtenidos en el muestreo de verificación.
- Especificar si la restauración se llevo a cabo a nivel superficial o subsuperficial y si fue necesario restaurar el agua necesaria.
- Describir la tecnología de restauración empleada.
- Incluir las máximas concentraciones de contaminantes encontradas.

#### 4.4.2. Clasificación de las tecnologías de restauración

Las tecnologías de restauración de suelos contaminados se clasifican en los siguientes dos tipos de sistema de acuerdo con su forma de operación o aplicación (Izcapa, *op.cit.*).

- Técnicas in-situ: el suelo contaminado se trata en el lugar donde se encuentra, sin moverlo.
- Técnica ex-situ: el suelo contaminado se mueve físicamente de su lugar de original y puede:
  - a) Colocarse en un área preparada, la cual ha sido diseñada para mejorar el tratamiento y/o prevenir el transporte de contaminantes a partir del sitio;
  - b) Llevarse a un área de almacenamiento mientras se prepara el sitio original para poder usarse y después colocar el suelo removido para tratamiento. La preparación del lecho puede consistir en colocar una capa de arcilla o una membrana plástica para retardar el transporte de contaminantes, o en la adición de suelo sin contaminar o algún aditivo para proporcionar un medio de tratamiento adicional;
  - c) Tratarse en una planta móvil llevada al sitio.
  - d) El suelo contaminado se remueve completamente del sitio y se transporta a una planta de tratamiento permanece en otra parte, generalmente el suelo se vuelve a poner en el sitio después de tratarlo.

Las tecnologías y procesos de tratamiento para suelos contaminados de acuerdo con su principio de operación se clasifican en las siguientes categorías (Izcapa, *op. cit.*)

#### Tratamientos físicos

Algunos constituyentes químicos presentes en los sitios contaminados se pueden tratar por medio de procesos de separación y purificación, que consisten en técnicas tales como: filtración, centrifugación, flotación, destilación,

evaporación, extracción con solventes, ósmosis inversa, absorción con carbón activado, decantación e inmovilización de constituyentes por solidificación.

Este tipo de técnicas generalmente no altera la composición química de los contaminantes sólo separan o concentran los materiales tratados aprovechando las diferencias en las características físicas tales como densidad, presión de vapor, tamaño de partícula. Los procesos físicos rara vez se usan como la opción de tratamiento final para cualquier material contaminado. En general, los objetivos de muchos de estos métodos son:

- a) Separar los materiales peligrosos de aquellos que se consideran menos peligrosos.
- b) Separar diferentes tipos de materiales peligrosos en varias corrientes que requieren diferentes métodos de tratamiento.
- c) Pretratar un material contaminado antes de su disposición final.

### **Tratamientos químicos**

Algunos compuestos químicos o materiales contaminados se pueden separar o transformar en menos peligrosos mediante tratamientos químicos. Estos procesos involucran el uso de reacciones químicas para transformar los compuestos peligrosos en sustancias menos tóxicas. Estas técnicas son: precipitación, neutralización, hidrólisis, fotólisis, oxidación-reducción y deshalogenación.

### **Tratamientos biológicos**

Estos procesos consisten en el uso de microorganismos naturales o desarrollados para degradar los compuestos químicos presentes en el suelo. Los procesos biológicos pueden transformar materiales tóxicos en elementos no tóxicos tales como agua, bióxido de carbono y otros productos inocuos. El tratamiento biológico es altamente sensible a cambios en la composición orgánica y las concentraciones del material que se está tratando, generalmente no tiene

efecto sobre sustancias inorgánicas disuelta, inclusive niveles significativos de algunos compuestos químicos inorgánicos llegan a inhibir la actividad biológica o hasta matar a los microorganismos.

### **Tratamientos térmicos**

Las tecnologías de tratamiento térmico emplean calor para destruir o transformar los contaminantes de interés. Este tipo de proceso a través del control de la temperatura y de la disponibilidad de oxígeno, convierten los materiales peligrosos en dióxido de carbono, agua y otros productos de combustión. La degradación térmica es aplicable a materiales contaminados que contienen concentraciones significativas de compuestos orgánicos y se pueden realizar a través de diferentes tipos de incineración o pirólisis.

Dependiendo del tipo de material contaminado que se está tratando, resultan diferentes productos finales. La degradación térmica de compuestos orgánicos produce principalmente como subproductos agua, nitrógeno, oxígeno, bióxido de carbono, gases ácidos y partículas. También existe la posibilidad de formar y liberara productos de combustión incompleta.

### **4.5 Tecnologías de restauración aplicables a suelos contaminados por hidrocarburos.**

Actualmente se desarrollan técnicas para la restauración de suelos potencialmente más efectivas. A continuación se presentan las tecnologías de mayor eficiencia en la limpieza de suelos contaminados por hidrocarburos.

#### **Lavado de suelo in situ (enjuague)**

Es una técnica innovadora de tratamiento que consiste en inundar suelos contaminados con una solución que transporta los contaminantes hasta un lugar donde pueden extraerse.

El tipo de solución empleada para el tratamiento depende de los contaminantes que se hallen en el suelo. La solución de enjuague generalmente es uno de los siguientes líquidos: agua, agua con aditivos tales como ácidos (pH bajo), bases (pH altos) o agentes tensioactivos (como detergentes).

El agua se usa para tratar contaminantes que se disuelven fácilmente en la misma. Una solución ácida (mezcla de agua y ácido, como ácido nítrico o ácido clorhídrico) se usa para extraer metales y contaminantes orgánicos, como los que se encuentran, generalmente, en el reciclaje de baterías o en procesos de cromado industrial. Las soluciones básicas se usan para tratar fenoles y algunos metales (una solución básica es una mezcla de agua y una base como hidróxido de sodio). Un agente tensioactivo puede ser un detergente o un emulsor. Los emulsores facilitan la mezcla de sustancias que normalmente no se mezclan como el aceite. Por esta razón, las soluciones tensioactivas son eficaces para retirar contaminantes oleosos (EPA, 1996).

La figura 4.1 presenta un esquema de un tipo de enjuague del suelo in situ. El proceso comienza con la perforación de pozos de inyección y de extracción del suelo contaminado. La cantidad, la ubicación y la profundidad de los pozos de inyección y de extracción dependen de varios factores geológicos y consideraciones técnicas. Los pozos pueden instalarse en forma vertical u horizontal. Además de la colocación de los pozos, hay que trasladar hasta el sitio otros equipos (como un sistema de tratamiento de aguas residuales) o construirlos in situ.

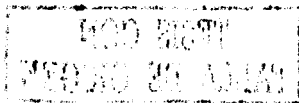
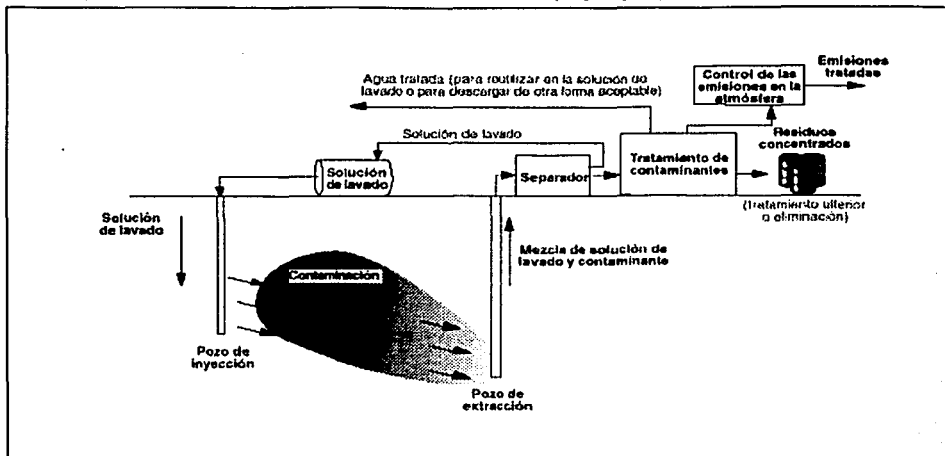


Figura 4.1 Proceso de lavado de suelo in situ (enjuague)



Fuente: EPA, 1996

La solución de enjuague se introduce en los pozos de inyección por bombeo y pasa por el suelo, arrastrando contaminantes mientras se dirige a los pozos de extracción. En los pozos de extracción se recoge el elutriado, o sea la solución de enjuague mezclada con los contaminantes.

El elutriado se extrae del suelo por bombeo en los pozos de extracción y generalmente, pasa a un sistema de tratamiento de aguas residuales para retirar los contaminantes. El agua tratada puede reutilizarse en la solución de enjuague o eliminarse de otra forma aceptable. Debido a que se trata de un proceso circular, los sistemas de enjuague de suelo in situ, a menudo se denominan sistemas de inyección y de recirculación.

El humo o los vapores contaminados que pueden emitirse durante el tratamiento de las aguas residuales se recogen y se someten a tratamiento.

La diferencia existente entre las técnicas de enjuague y lavado de suelo es que en la primera, el suelo es sometido a un tratamiento in situ con un sistema de inyección y recirculación. El lavado de suelo, ex situ, consiste en excavar el suelo



contaminado y tratarlo en la superficie del terreno en una lavadora de tierra (EPA, 1996).

### **Biorremediación**

La biorremediación es un tratamiento biológico que emplea el uso de microorganismos para promover la transformación de los residuos peligrosos a compuestos menos tóxicos y ambientalmente aceptables.

La biorremediación es un proceso que utiliza microorganismos que generan productos metabólicos para convertir sustancias complejas (substratos) a productos simples, normalmente reduciendo su toxicidad para el ambiente y la salud. El tratamiento biológico puede ser una eficiente alternativa de tratamientos para residuos peligrosos en estado físico líquido, vapor o sólido (Industrial Ecosystems Inc, 1999).

Los procesos de biorremediación pueden ser clasificados como tecnologías, fuera del sitio (*ex situ*) y en el sitio (*in situ*). Los primeros, son aquellos proceso de tratamiento que involucran la remoción física del material contaminante para ser tratado en otra área (posiblemente dentro del sitio). Biorreactores, biolabranza y composteo son algunos de este tipo de tratamientos. En contraste, las técnicas *in situ* implican el tratamiento de material contaminado en el mismo sitio. Algunos ejemplos de esta clase de tecnología de tratamiento son el bioventeo y la bioestimulación (Industrial Ecosystems Inc., 1999).

Existen muchos tipos de procesos de biorremediación y comúnmente son parte de un sistema total de rehabilitación, que puede ser usado con otras tecnologías para la rehabilitación de un sitio. El objetivo final de los procesos de biorremediación es proporcionar condiciones óptimas a las bacterias nativas para que sé metabolicen los contaminantes de interés de la manera más eficiente posible.

Existen muchos factores que limitan los procesos de biorremediación, los factores que más afectan los proyectos son la disponibilidad de fuentes de carbono, el contenido de humedad, pH, temperatura, disponibilidad de nutrientes

en el suelo y presencia de especies microbianas (Industrial Ecosystems Inc., 1999).

Los sistemas de biorremediación ex situ se refirieren a la extracción y/o excavación de los materiales contaminados para ser sometidos a procesos de tratamientos en la superficie. Estos sistemas permiten potencialmente un monitoreo preciso de los parámetros que controlan el nivel de conversión de los hidrocarburos a dióxido de carbono y agua (Industrial Ecosystems Inc., 1999)

Muchos nombres y términos son aplicados a los sistemas de biorremediación, (biodegradación, biorrestauración, etc.).

Los procesos de biorremediación ex situ pueden ser clasificados en dos grupos principales:

- Tratamiento ex situ de suelo contaminado
  - ✓ Biopilas
  - ✓ Biolabranza
  - ✓ Composteo
  
- Tratamiento ex situ de agua subterránea contaminada
  - ✓ Bioreactores

A continuación se presenta, breve descripción de cada uno de ellos:

### **Biopilas**

La biopila se construye colocando capas del suelo contaminado sobre una superficie también conocida como lecho o cama de tratamiento. El agua que contiene los nutrientes disueltos se hace pasar a través de la pila de suelo para estimular la biodegradación de los contaminantes.

Existen dos tipos de biopilas:

- En uno, el oxígeno y los nutrientes son suministrados a los microorganismos mediante la aspersión de agua sobre la pila del suelo. El agua es aplicada por medio de un sistema de irrigación y el lecho es equipado con un sistema de drenaje colector. El líquido que lixivia a través de la pila, es recolectado y tratado en un bioreactor de fase líquida para posteriormente sea reciclado a través de la pila de suelo.

- En otro los nutrientes son mezclados cuando sé esta construyendo la pila. El aire es suministrado por medio de tuberías colocadas en el fondo y parte media de la pila.

### **Biolabranza**

El suelo es dispersado sobre una superficie para estimular la degradación natural de los contaminantes. La biolabranza fue el primer método usado para la biorremediación de suelos y lodos contaminados. Ha estado siendo aplicada en la industria petrolera para el tratamiento de los residuos provenientes de los procesos de refinación. Este sistema es normalmente practicado cuando las emisiones de aire no representan un riesgo a la salud humana (Industrial Ecosystems Inc., 1999).

### **Composteo**

El composteo es una tecnología establecida para el tratamiento de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales para el tratamiento de residuos peligrosos. La biodegradación de los compuestos orgánicos ocurre cuando el suelo o los lodos contaminados son mezclados con una fuente de carbono orgánico y otros agentes como corteza de arboles, paja, madera, etc. Las pilas de composta son colocadas sobre lechos de tratamiento y la degradación microbiana es estimulada manteniendo un control sobre la temperatura, el contenido de humedad y los niveles de oxígeno y nutrientes en el interior de la pila del suelo (Industrial Ecosystems Inc., 1999).

Es necesario realizar pruebas de biotratibilidad para conocer ciertos parámetros que ayudan a determinar el tipo de tecnología que se puede utilizar como:

- La biodegradabilidad de los contaminantes
- Las condiciones óptimas de crecimiento de los microorganismos, etc.

Los datos mínimos requeridos para evaluar el potencial de biodegradabilidad de compuestos orgánicos de un suelo deben incluir análisis de requerimientos de oxígeno disuelto y nutrientes en concentraciones insuficientes para que ocurra el proceso biológico y análisis del potencial de transformación de los productos (componentes de la degradación) (USEPA, 1996).

Los procesos de biorremediación han demostrado ser potencialmente efectivos en degradar o transformar gran número de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos solubles son considerados particularmente tratables por estas técnicas. Sin embargo, los compuestos relativamente insolubles pueden ser degradados si están presentes los microorganismos adecuados. Los compuestos que pueden ser tratables por la biodegradación son: hidrocarburos (combustible, gasolina, diesel), solventes no clorados (acetona, alcohol), algunos compuestos aromáticos clorados (clorobenzenos, tricloroetano y dicloroetano) (USEPA, 1996).

### **Tratamiento térmico**

Este tratamiento implica la destrucción controlada de los compuestos por oxidación térmica. Involucra la exposición controlada de los residuos a altas temperaturas (normalmente 900°C ó más), que son normalmente convertidos a dióxido de carbono, agua y otros productos de la combustión. Los productos específicos de la destrucción térmica varían dependiendo del tipo de residuo y las condiciones de operación (Terra Vac Corporation, 1999).

Los procesos de destrucción térmica para suelos y lodos contaminados incluyen:

- Incineradores de lecho fluidizado
- Hornos de incineración rotatorio
- Procesos industriales a altas temperaturas como hornos cementeros y hornos industriales
- Tratamientos térmicos infrarrojo, sistema de incineración pirolítica y oxidación térmica.

La incineración en hornos rotatorios es el método más común de destrucción térmica de materiales contaminados. Los incineradores rotatorios pueden ser fácilmente diseñados para procesos de grandes volúmenes de residuos. Los sistemas de alimentación pueden ser modificados para manejar grandes partículas y los tiempos de residencia pueden ser incrementados para asegurar una completa oxidación de los contaminantes (Terra Vac Corporation, 1999).

La mayor parte de los procesos de destrucción térmica emplean: un sistema de alimentación de residuos, una cámara de combustión, un sistema de monitoreo de la combustión, un equipó para el tratamiento y monitoreo de las emisiones de gases contaminados y un sistema de remoción de cenizas. Los procesos de destrucción térmica normalmente operan en dos unidades. En la primer cámara de combustión se inicia una combustión parcial donde los contaminantes son desorbidos del material contaminante. La destrucción completa de los contaminantes ocurre en la cámara de combustión secundaria (Terra Vac Corporation, 1999).

El diseño y operación adecuada de los sistemas de destrucción térmica ofrecen una buena alternativa para eliminar residuos, a la vez que se logra una significativa reducción en su peso y volumen, produciendo un producto estéril, y en algunas ocasiones permite recuperar energía y materiales como ácido clorhídrico o sulfúrico. Sin embargo, un mal diseño y operación pueden afectar la salud pública a través de las emisiones de los componentes potencialmente peligrosos de los residuos (Terra Vac Corporation, 1999).

Para la limpieza de sitios con residuos peligrosos, generalmente se utiliza un sistema de incineración completa (cámara de combustión primaria, cámara de combustión secundaria y un completo sistema de control de emisiones a la atmósfera), mientras que para la rehabilitación de sitios contaminados con hidrocarburos se utiliza un equipo de venteo térmico de suelos (normalmente un secador con un sistema de control de emisiones de partículas).

Las tecnologías de tratamiento térmico, fuera del sitio se pueden dividir en dos categorías (Terra Vac Corporation, 1999):

- Venteo térmico de suelos a baja temperaturas
- Tratamiento térmico a altas temperaturas

El tratamiento térmico por venteo a bajas temperaturas, consiste en calentar el suelo a temperaturas suficientemente altas para volatilizar los hidrocarburos, pero no lo suficientemente altas para provocar su ignición y combustión. Después de la volatilización, el vapor puede ser quemado o recolectado para su disposición.

El suelo, es alimentado al interior de una cámara de venteo donde los gases a altas temperaturas provocan la volatilización de los hidrocarburos. Los vapores son quemados o colectados. Normalmente la cámara de venteo es rotada o agitada para proporcionar un buen contacto entre las partículas del suelo y los gases calientes. Los vapores de la cámara de venteo son pasados a través de una flama, un convertidor catalítico o un filtro de carbono. La elección del sistema de tratamiento depende del tipo de unida fija móvil.

Existen diferentes tipos de unidades, incluyendo unidades móviles. Algunos problemas que limitan su uso, ocasiona lo siguiente (Terra Vac Corporation, 1999):

- ❖ Los suelos con alto contenido de metales pueden dañar los convertidores catalíticos.
- ❖ Los suelos con alto contenido de materia orgánica reducen la eficiencia del sistema.
- ❖ El sistema no es tan eficiente, en presencia de suelos con grandes partículas, las cuales limitan el área superficial y la volatilización.
- ❖ La presencia de escombros grandes como bloques de concreto o asfalto pueden dañar el equipo.
- ❖ Los plásticos pueden dañar la cámara de venteo.

Este sistema es más conveniente en suelos ligeros puesto, que se requiere una gran área superficial y un tamaño de partícula pequeña. Es más efectivo en el tratamiento de hidrocarburos ligeros.

Los suelos, con un pH fuera del intervalo de 5 a 11 son demasiados corrosivos para ser tratados con este sistema. Las arcillas y los limos son generalmente muy grandes, al igual que los hidrocarburos pesados, los cuales no se volatilizan lo suficientemente rápido, y pueden ser más eficientemente tratados por un sistema térmico de alta temperatura.

Los suelos con un alto contenido de humedad y alta capacidad calorífica son tratados eficientemente por el sistema térmico de alta temperatura (Terra Vac Corporation, 1999).

El sistema de venteo térmico precalienta el suelo para volatilizar los compuestos orgánicos para posteriormente, incinerarlos en un quemador secundario. El método requiere un íntimo contacto entre el aire caliente y las partículas del suelo. Los hidrocarburos pesados, los cuales no volatilizan lo suficientemente rápido, son más convenientemente tratados por el sistema de tratamiento térmico a altas temperaturas (Terra Vac Corporation, 1999).

El sistema térmico a baja temperatura requiere un control más preciso de la temperatura. La temperatura varía dependiendo del tiempo de residencia del suelo en el incinerador, pero son normalmente debajo de 800 °C (1500 °F). El sistema, se caracteriza por su bajo consumo de combustible. Las temperaturas de operación normalmente utilizadas son las siguientes (Terra Vac Corporation, 1999):

- Temperatura para venteo de suelo contaminados con hidrocarburos ligeros: 50 a 160 °C (120 a 320°F).
- Temperatura para venteo de suelo contaminados con hidrocarburos pesados: 200 a 300 °C (390 a 570 °F):
- Temperaturas de incineración: 800 a 2000 °C (1500 a 3500 °F):

El sistema térmico de alta temperatura es más eficiente para suelos con contaminación ligera o moderada. En el tratamiento de hidrocarburos ligeros como gasolina o gas avión, no es conveniente utilizar la tecnología de alta temperatura debido, al alto riesgo de producirse incendios ó explosiones.

Algunos problemas que limitan el uso de los sistemas de alta temperatura incluyen los siguientes (Terra Vac Corporation, 1999):

- ✓ Los suelos con alto contenido de metales (plomo, arsénico y plata) pueden dañar los convertidores catalíticos.
- ✓ Los suelos con alto contenido de materia orgánica reducen la eficiencia y aumenta los costos de operación del sistema.
- ✓ La presencia de escombros grandes como bloques de concreto o asfalto pueden dañar el equipo.
- ✓ Los plásticos pueden ensuciar las cámaras de venteo.

Los sistemas de tratamiento térmico móviles y transportables son frecuentemente utilizados como conceptos iguales. Sin embargo, un sistema de tratamiento térmico móvil es definido como un sistema adaptado a un camión. La instalación de este sistema en campo toma una semana y requiere un mínimo de preparativos. Un sistema de tratamiento térmico transportable es definido como un sistema adaptado a un camión y que para su instalación en campo se requiere más de una semana e importantes preparativos.

La mayoría de las tecnologías de tratamiento para la rehabilitación de sitios contaminados son aplicables a sistemas transportables. Estas tecnologías deben ser transportadas con todos sus dispositivos de operación, incluyendo instalaciones para el laboratorio, estaciones para el personal, etc. Estos sistemas pueden resultar en una caravana de 10 a 20 camiones, requiriendo de 2 a 3 meses para su instalación en campo (Terra Vac Corporation, 1999).

En general, los sistemas transportables de incineración deben contar con los siguientes componentes:

- Sistemas para el manejo y alimentación de los materiales
- Cámaras de reacción térmica
- Sistemas para la remoción y manejo de cenizas
- Cuarto y equipo para control de procesos
- Sistemas de control de emisiones



- Sistemas de combustible auxiliar
- Sistemas de tratamiento y almacenamiento de agua residual

Para el establecimiento de un plan de incineración es necesario realizar una investigación del sitio, así como obtener datos adicionales sobre los antecedentes, costos y tipos de los sistemas apropiados (Terra Vac Corporation, 1999).

Si la incineración, es el tratamiento seleccionado, se necesitan ser incluidas consideraciones adicionales para que pueda ser especificado el incinerador correcto(Terra Vac Corporation, 1999):

- Transportabilidad
- Funcionamiento
- Tipos de residuos
- Requerimientos de pretratamiento
- Eficiencia de destrucción térmica
- Eficiencia de combustión

Para fines de tratamiento térmico, los suelos pueden agruparse por la extensión y tipo de contaminación de la siguiente manera (Terra Vac Corporation, 1999):

- Extensión de la contaminación
  - Pequeña (menos de 5000 toneladas)
  - Mediana (entre 5000 y 30000 toneladas)
  - Grande (superior a las 30000 toneladas)
- Tipos de suelo contaminado:
  - Tipo 1: suelos con un contenido de humedad menor al 30 % y contaminado ligeramente con compuestos orgánicos.
  - Tipo 2: lodos con un contenido de humedad superior al 30% y contaminados ligeramente con contenido orgánico no biológicos.
  - Tipo 3: sitios ligeramente contaminados con tambores de almacenamiento de residuos peligrosos.
  - Tipo 4: sitios con suelos, lodos y tambores contaminados.

Los siguientes sistemas de tratamiento térmico, se encuentran disponibles comercialmente, en equipos móviles y/o transportables como (Terra Vac Corporation, 1999):

- Hornos rotatorios

Los sistemas de tratamiento térmico en hornos rotatorios transportables y móviles se utilizan para la limpieza de sitios contaminados. Estos sistemas tiene una capacidad de 1 a 5 ton/hr para suelos con un contenido de humedad de 10 a 15 %. Estas unidades pueden ser utilizadas en sitios del tipo 1 al 4 con una extensión de contaminación de tamaño pequeño a mediano. Los hornos rotatorios pueden manejar diferentes tipos de residuos. En intervalos de capacidad de 4 a 5 ton/hr los hornos rotatorios disponibles son transportables no móviles. La capacidad de esas unidades es función del contenido de humedad. Una unidad que puede procesar 5 toneladas de suelo con un 15% de humedad en una hora, no será capaz de manejar 3.2 toneladas por hora de suelo con un 30% de humedad. Se requiere un pretratamiento del residuo para la reducción del tamaño a grado medio (Terra Vac Corporation, 1999).

- Hornos de tratamiento infrarrojo

El horno eléctrico de tratamiento infrarrojo es potencialmente el sistema móvil más empleado de los sistemas disponibles actualmente. Tiene una capacidad de 4 a 8 ton/hr para suelo con un contenido de humedad del 10 al 15%. La capacidad del sistema, es fuertemente afectada por el contenido de humedad y la capacidad calorífica del suelo. Es efectivo en sitios tipo 1 y 2 con un grado de contaminación de pequeña a mediana. La corrosión de las bandas metálicas de transportación es un serio problema con ciertos tipos de suelos contaminados con sales y compuestos orgánicos clorados. El sistema requiere una preparación del suelo con tamaño de partícula de 2 a 2.54 cm. (Terra Vac Corporation, 1999).

- Lecho fluidizado

El sistema de lecho fluidizado es un sistema muy eficiente. Sin embargo los residuos que contienen sales de potasio y/o sodio pueden provocar que la cama tienda a desfluidizarse. El sistema de lecho fluidizado requiere que los residuos sean cuidadosamente pretratados para lograr una reducción de partículas y remoción de metales, que permita una conveniente fluidización del lecho (Terra Vac Corporation, 1999).

- Sistema híbrido de tratamiento

Este sistema transportable es el más grande disponible comercialmente. Tiene una capacidad superior a las 20 ton/hr para suelo con un contenido de humedad del 10 al 15%. Es muy eficiente en sitios tipos 1, 2, 3, 4 con una extensión de contaminación de mediana a grande. Requiere de un pretratamiento de los residuos y el suelo para lograr una reducción del tamaño de una partícula (Terra Vac Corporation, 1999).

La mayor parte de los proyectos de rehabilitación de suelos han sido evaluados con costos por tonelada de residuo incinerado. Para suelos ligeramente contaminados, los costos son : en sitios pequeños de alrededor de 1000 toneladas los costos varían de U\$ 1000 a 1500 por tonelada. Para sitios de tamaño mediano, el intervalo de costos es de U\$ 200 a 500 por tonelada. Para sitios grandes, los costos van de U\$ 100 a 400. Sin embargo, estas estimaciones dependen de la capacidad del equipo a ser utilizado (Terra Vac Corporation, 1999).

El proceso de restauración es aplicable a un amplio rango de residuos peligrosos que incluyen plaguicidas y herbicidas, fenoles clorados, conservadores de la madera lodos de plantas de aguas residuales, residuos de la producción de compuestos orgánicos, residuos de la producción de pesticidas, residuos de la fabricación de explosivos y residuos del proceso de la refinación del petróleo entre otros (Terra Vac Corporation, 1999).

La incineración es la tecnología de tratamiento más empleada en segundo lugar de preferencia para la rehabilitación de suelos, lodos y sedimentos dentro del Programa Superfondo. La ventaja principal de los sistemas de incineración es su capacidad de alcanzar estrictos niveles de limpieza para mezclas de residuos altamente contaminantes.

En el año 1990, los sistemas de incineración utilizados fuera del sitio y en el mismo sitio contaminado representaron el 16 y 17% respectivamente del total de las tecnologías empleadas en los sitios del Programa Superfondo. En ese mismo año la desorción térmica, la cual es considerada dentro del grupo de innovación tecnológica, innovadoras, represento un 5% al ser seleccionadas en 17 ocasiones (Terra Vac Corporation, 1999).

### **Sistema de Extracción por Vapor**

El sistema de extracción por vapor es una tecnología de tratamiento in situ que se encuentra en proceso de desarrollo. Ha sido ampliamente utilizado en años recientes para la rehabilitación de la zona vadosa o no saturada de sitios contaminados con compuestos orgánicos volátiles, orgánicos semivolátiles.

Este sistema se conoce también como volatilización in situ, volatilización mejorada, aireación del suelo in situ, aireación forzada del suelo, remoción in situ por chorro de aire o extracción al vacío.

El tratamiento por vacío es un proceso que involucra el paso de grandes volúmenes de aire a través o cerca de la mancha de contaminación utilizando un sistema de circulación de aire. Los compuestos orgánicos o varias fracciones de una mezcla de compuestos volatilizados son transportados a la superficie.

La experiencia ha demostrado que este sistema es ideal para remover compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles de suelos con alta permeabilidad, y puede llegar a tener una mayor eficiencia en costos y porcentaje de remoción en comparación con otras estrategias de rehabilitación como excavación, bombeo y tratamiento, incineración o lavado de suelo in situ.

El sistema ha removido de forma eficiente: benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, naftaleno, percloroetileno, tricloroetileno, tricloroetano, butanos, pentanos, hexanos, turbosina y gasolinas. También puede remover contaminantes de mezclas de residuos con Hidrocarburos clorados, alcoholes incluyendo: metanol, etanol, propanol (Terra Vac Corporation, 1999).

A continuación la tabla 4.3, presenta un estimado de costos para las diferentes tecnologías que se han mencionado, aunque los costos pueden variar mucho dependiendo del tipo de suelo y contaminante.

**Tabla 4.3 Costos estimados para diferentes tecnologías de restauración de suelos**

Tecnologías	Costo (dis/m <sup>3</sup> )
Incineración	50 – 390
Biorrestauración	15 – 195
Lavado in situ	50 - 120
Lavado ex situ	12 -200
Extracción con vapor	15 – 185
Cubierta	40 – 195

Fuente: Asante-Duah, 1996

En la tabla 4.4 se presentan las principales ventajas y desventajas de las tecnologías de restauración aplicables a suelos contaminados con hidrocarburos.

**Tabla 4.4 Ventaja y desventaja de tecnologías de restauración**

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Biorremediación ex situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los contaminantes realmente son transformados y algunos completamente mineralizados.</li> <li>• Se utiliza microorganismos cuyo hábitat natural es el suelo, sin introducir compuestos potencialmente peligrosos.</li> <li>• Es una tecnología segura y económica.</li> <li>• Las bacterias mueren cuando los nutrientes se agotan</li> <li>• El suelo puede ser reutilizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los microorganismos pueden inhibirse por la presencia de compuestos tóxicos.</li> <li>• No tiene éxito en suelos de baja permeabilidad</li> <li>• Algunos aditivos pueden tener efecto adverso</li> <li>• Requiere largos periodos de operación</li> </ul>
Biorremediación in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos costos de instalación</li> <li>• No requiere excavación y transportación de suelo</li> <li>• Pueden utilizarse en la reutilización de grandes extensiones de suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad para monitorear y cuantificar la extensión o grado de biorremediación.</li> <li>• Se puede producir productos de la biodegradación, los cuales permanecen en el suelo.</li> <li>• Puede tomar un largo periodo de operación dependiendo del tipo de contaminante y condiciones ambientales.</li> </ul>
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción completa de los compuestos peligrosos</li> <li>• Reducción de peso y volumen del material</li> <li>• Cortos tiempos de residencia</li> <li>• Control de las emisiones de descarga</li> <li>• Recuperación de calor</li> <li>• Posibilidad de operar en el sitio</li> <li>• Aplicable para numerosos tipos de residuos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos materiales no son incinerables</li> <li>• Genera algunos compuestos orgánicos tóxicos</li> <li>• Requiere de altos costos de operación comparada con otras tecnologías</li> <li>• Se requiere personal altamente capacitado</li> <li>• Continuamente se requiere de combustible suplementario</li> <li>• Presenta un grado importante de oposición pública.</li> </ul>

Continuación de la Tabla 4.4 Ventaja y desventaja de tecnologías de restauración

Tecnologías	Ventajas	Desventajas
Extracción por vapor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crea un mínimo de perturbación en el sitio contaminado</li> <li>• Puede ser utilizada en combinación con otras tecnologías de tratamiento</li> <li>• Es posible eliminar contaminantes de la zona vadosa reduciendo el riesgo de una potencial migración hacia el nivel freático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suelos compactados o con alto contenido de humedad mayor del 50% tiene una reducida permeabilidad al aire</li> <li>• En suelos con grandes variaciones en la permeabilidad se requiere una amplia red de pozos de extracción lo cual puede resultar, por otro lado, en una desigualdad de remoción de contaminantes de la zona afectada</li> <li>• Las emisiones de vapor pueden requerir tratamiento para eliminar el posible daño al público y el ambiente</li> <li>• Como resultado del tratamiento de los vapores contaminados, los líquidos residuales y el carbón activado usado pueden requerir tratamiento</li> <li>• Las fluctuaciones del nivel freático reducen la eficiencia ya que incrementan la disolución de hidrocarburos solubles</li> <li>• Suelos con temperaturas menores a 10°C no son eficientemente rehabilitados</li> </ul>

Continuación de la Tabla 4.4 Ventaja y desventaja de tecnologías de restauración

Tecnologías	Ventajas	Desventajas
Lavado de suelo ex situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ofrece un sistema cerrado que minimiza la emisión de contaminantes a la atmósfera y la posibilidad de contaminar otros sitios</li> <li>• Crea un sistema que no es afectado por condiciones externas. Este sistema permite controlar las condiciones como pH y temperatura en las cuales se tratan las partículas de suelo.</li> <li>• Permite excavar los residuos peligrosos y tratarlos en el lugar</li> <li>• Existen unidades móviles que minimizan el riesgo de expandir la contaminación cuando el material es transportado hasta un sitio de tratamiento</li> <li>• Resultan ser tecnologías de bajo costo</li> <li>• Puede pretextar efectivamente suelos para su posterior biorremediación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La presencia de plomo y otros contaminantes orgánicos podría inferir en la extracción de materiales orgánicos</li> <li>• Podría ser necesario un tratamiento preliminar extenso de los residuos para eliminar o desmenuzar los terrones grandes</li> <li>• Los contaminantes no son destruidos</li> <li>• Los lodos provenientes de los sistemas de tratamiento de agua deben ser tratados</li> <li>• Mezclas complejas de residuos hacen difícil la formulación del fluido y lavado</li> </ul>
Lavado de suelo in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El lavado de suelo es aplicable a compuestos orgánicos solubles y metales</li> <li>• Tiene mayor eficiencia cuando los contaminantes son más solubles en agua</li> <li>• Está tecnología puede ser usada en conjunto con otras tecnologías de tratamiento que destruyen los contaminantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los tiempos de rehabilitación son largos</li> <li>• Los suelos con alto contenido de arcilla y limo tienden a ser menos permeables</li> <li>• Contaminantes hidrofóbicos generalmente requieren surfactantes o solventes orgánicos para su remoción del suelo</li> </ul>



Para elegir las tecnologías más adecuadas es conveniente considerar varios criterios (LaGrega,1996)

- a) Aptitud, capacidad técnica general para hacer frente a la contaminación del sitio
- b) Aplicabilidad, capacidad para ejecutar y poner en funcionamiento la tecnología
- c) Rendimiento,
- d) Intereses sanitarios y ambientales,
- e) Intereses institucionales, permisos
- f) Costos en términos cualitativos

#### **4.6 Pasos a seguir para restaurar un sitio contaminado**

Con base a la información recopilada, se realizó un diagrama(figura 4.1). en él están los puntos más importantes para realizar la restauración de un sitio contaminado.

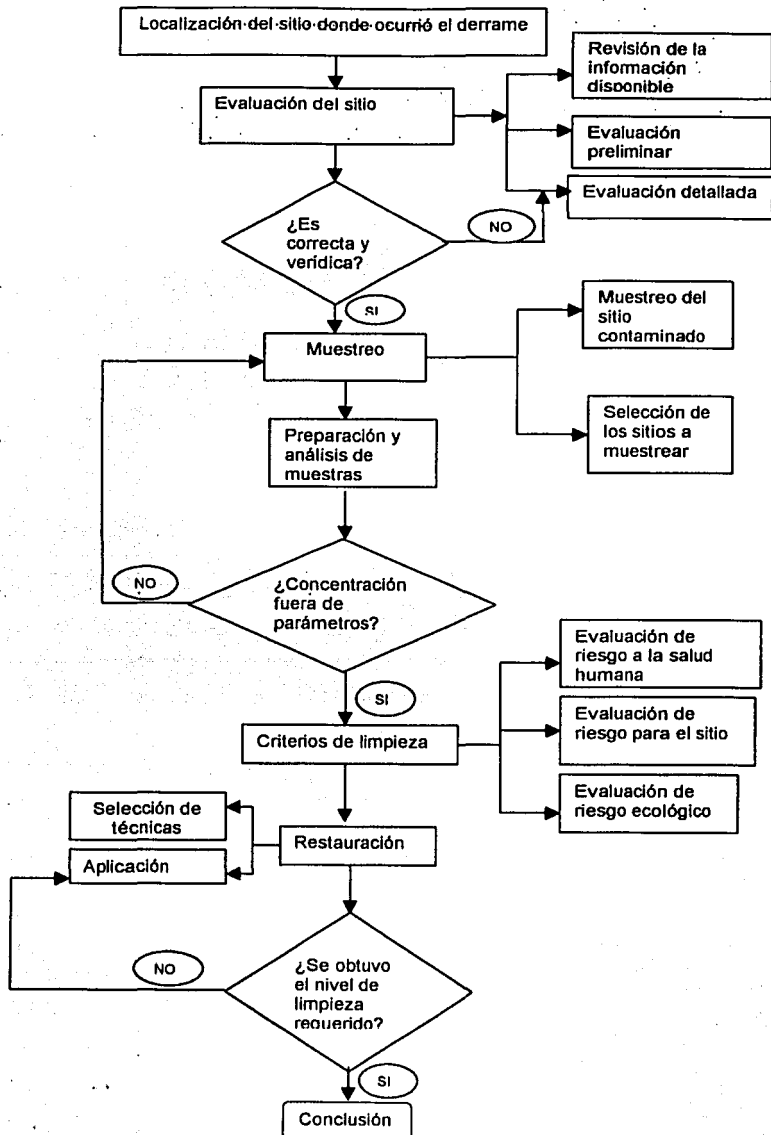
Entre los puntos más importantes a considerar están los siguientes:

**1.- Localización del sitio contaminado.** En este apartado se debe mostrar la información gráfica que pueda ayudar a determinar con mayor exactitud posible, la ubicación del evento, con la elaboración de planos de localización, indicando:

- La zona de afectación del suelo, si existe o no población cercana y vías de comunicación.
- Si existen cuerpos de agua de agua importantes, (deberán aparecer en el mapa).
- Puntos de control de acceso.
- Colindancias con poblaciones cercanas.

**2.- La evaluación del sitio:** Consiste en determinar la existencia de sustancias peligrosas, la distribución y concentración de ellas en la población y ambiente, así como desarrollar programas de restauración (Hobson, *op. cit.*):

## 4.2 Pasos a seguir para restaurar un sitio



**Revisión de la información disponible:** Se presenta toda la información relativa al sitio donde sucedió el evento, con la finalidad de describirlo de la manera más completa posible. Esta información será la base de la evaluación

- a) De los daños, se debe incluir la presencia de cuerpos de agua y demás componentes del medio ambiente que pudieran haber sido afectados.
- b) **Evaluación preliminar:** Esta fase es la recopilación de información fácilmente disponible y relativamente rápida; la cual no involucra muestreos ni análisis.
- c) **Evaluación detallada:** Este proceso se lleva a cabo para confirmar que existe contaminación (a través del muestreo y análisis). La información se deberá presentar al mayor detalle posible, ya que servirá para determinar el grado de afectación y las posibles consecuencias a corto, mediano y largo plazos.

**3.- Muestreo:** Se realiza para identificar los niveles más altos y distribución de contaminación.

- d) **Muestreo del sitio contaminado.** Su principal objetivo es proporcionar detalles específicos como el tipo de contaminante y las características principales del suelo (propiedades físicas y químicas).
- e) **Selección de los sitios de muestreo.** Consiste en localizar los puntos de muestreo, así como sus profundidades. Los puntos de muestreo deben ser seleccionados de tal forma que sean representativos del derrame, ya que, para verificar los niveles de restauración se deberán muestrear los mismos puntos.

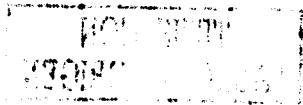
**4. Preparación y análisis de la muestra.** Este proceso debe ser lo más exhaustivo posible, ya que tiene como objetivo primordial la cuantificación del volumen afectado del suelo.

**5. Criterios de limpieza.** Consiste en determinar si las concentraciones del contaminante, son "aceptables", con base en el riesgo que representa para la salud humana, el suelo y el medio ambiente.

- f) **Evaluación de riesgo a la salud humana.** Se realiza una evaluación científica de la probabilidad de consecuencias adversas a la población.
- g) **Evaluación de riesgo para el sitio.** Consiste en evaluar la probabilidad de consecuencias adversas a la salud causada por un material peligroso en un sitio determinado.
- h) **Evaluación de riesgo ecológico.** Este proceso consiste en estimar y cuantificar el riesgo que causa al ambiente y a los seres vivos la presencia de un material o residuo peligroso.

**6. Restauración.** Después de realizar la evaluación ambiental de un sitio potencialmente contaminado, se eligen las acciones más adecuadas para resolver el problema.

- i) **Selección de técnicas.** Consiste en elegir la técnica más apropiada para la limpieza del suelo, dependiendo del tipo de contaminante.
- j) **Aplicación.** Después de elegir la técnica más apropiada se pone en funcionamiento sobre el sitio contaminado (puede realizarse in-situ o ex-situ).



# **CAPITULO 5**

## **CONCLUSIONES**

## 5.1 CONCLUSIONES

El desarrollo de la industria química, petrolera, petroquímica, farmacéutica, entre otras, ha tenido grandes avances, que permiten cubrir nuestras necesidades diarias. Actualmente la industria proporciona mejores materiales; más económicos, más ligeros y más duraderos.

Pero para llegar a ello ha sido necesario desarrollar procesos con condiciones de operación más sofisticadas (a presiones y temperaturas muy elevadas); materia prima, productos intermedios y subproductos más peligrosos, tanto para los seres humanos como para el medio ambiente.

Este avance tecnológico obliga, a ser más cuidadosos para continuar cubriendo las necesidades de la población, sin afectar a sus integrantes ni al planeta. En especial, es necesario hacer más eficiente el transporte de sustancias químicas peligrosas de los centros de producción a los de consumo, ya que se pueden presentar accidentes que ocasionen daños a la población y a su entorno.

Con objeto de investigar este problema, se utilizó la base de datos de ACARMEX (CENAPRED) identificando en toda la República, de 1996, hasta el primer trimestre del año 2000, un total de 2808 accidentes carreteros que involucran materiales y residuos peligrosos. El análisis de la información permitió establecer que las zonas con mayor número de incidentes son: el D.F. y estados circunvecinos (México, Morelos, Hidalgo, Puebla, Querétaro, Tlaxcala); con 907 eventos. Debe remarcarse que en estos estados se encuentran el mayor número de parques y/o ciudades industriales, después de la franja fronteriza, lo que implica un alto flujo vehicular y paso obligados entre ciudades.

La información recabada indica que el estado que presenta mayor número de accidentes es el estado de México 31.25%, le sigue Puebla con 26%, la Ciudad de México y el estado de Morelos con menor número de accidentes. En 1996 y

1997, los estado de Hidalgo y Querétaro presentan el tercer y cuarto lugar en eventos carreteros con un promedio de 15% y 14% respectivamente, pero en 1998 y 1999 Tlaxcala supera a Hidalgo y Querétaro, teniendo un porcentaje de 13% y 15%. En el año 2000, sólo se analizo el primer trimestre.

Hay que remarcar que el 32% del total de accidentes carreteros seleccionados en el área de estudio incluyen eventos como:

- Derrame
- Explosiones
- Incendios

Como consecuencia, de la volcadura o choque del vehículo que transporta las sustancias químicas.

Por su frecuencia en eventos carreteros nuestro interés ha sido estudiar el caso de derrames de hidrocarburos, especialmente por sus características físicoquímicas y tóxicológicas.

Se analizaron 31 eventos, donde sé produjeron derrames de materiales y residuos peligrosos de cantidades importantes. Dentro de éstos, los que presentan mayor frecuencia son: el combustoleo, gasolina, diesel, etc., debido a la gran demanda que tienen estos productos en todo el país.

En la tabla 3.5 se han identificado los tramos carreteros donde ocurrieron los eventos con derrames de hidrocarburos. Los lugares con mayor incidencia son:

- a) Autopista 190 México - Veracruz
- b) Autopista 5 de Mayo
- c) 136 México - Zacatepec
- d) 15 México - Nogales.

Nótese, que un buen número de los accidentes ocurridos ha sido en carreteras "sin cuota".

Las causas de ocurrencia de estos eventos en estas vías de comunicación son principalmente:

- Exceso de velocidad
- Fallas mecánicas

- Otros factores que pueden influir en estos eventos son:

- ◆ El estado físico de las carreteras
- ◆ Clima
- ◆ Horario
- ◆ Condiciones físicas del operador.

Una forma de prevención y disminución de accidentes carreteros (ya que es imposible evitarlos) es la revisión periódica del autotransporte, exámenes psicológicos, antidoping y capacitación al operador.

Una de las más graves consecuencias de estos accidentes, son los efectos a la salud, ya que algunos componentes de los hidrocarburos pueden producir irritación de la piel y ocasionar efectos cancerígenos al igual que otros destilados y combustibles. En el caso del suelo afecta a la vegetación, zonas agrícolas y finalmente, al incorporarse el contaminante al flujo subterráneo, los mantos acuíferos.

Finalmente, en el capítulo 4 se presentan técnicas específicas para la restauración o remediación de las zonas afectadas por el derrame de hidrocarburos, en donde los objetivos principales son:

- a) Transformar estos contaminantes orgánicos en sustancias menos peligrosas para el hombre.
- b) Evitar el deterioro de suelo y agua subterránea
- c) Durante el proceso de limpieza minimizar el riesgo para la salud de la población, y evitar mayor índice de contaminación

El método seleccionado en cada zona, dependerá principalmente del tipo de hidrocarburo a degradar, así como las condiciones naturales del sitio.

En la tabla 4.3 y 4.4 se presentan los costos de las tecnologías más adecuadas para la restauración de los sitios contaminados por hidrocarburos y sus respectivas ventajas y desventajas. La biorremediación es una de las más utilizadas por su costo y efectividad.



# **ANEXO 1**

## **RESIDUOS PELIGROSOS**

La industria contribuye a la generación de contaminantes de manera muy diversa, dependiendo de las características de los procesos, del tipo de insumos y productos, en la tabla A1.1, se indica el número de empresas que se han registrado como generadoras de residuos peligrosos en cada entidad federativa y el volumen de los residuos que manifiestan generar anualmente.

**Tabla A1.1. Generación estimada de residuos peligrosos por entidad federativa (2000)**

ESTADO	NO. DE EMPRESAS	GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS (TON/AÑO)
AGUASCALIENTES	608	9,554.77
BAJA CALIFORNIA	2,359	33,523.00
BAJA CALIFORNIA SUR	124	107.50
CAMPECHE	183	58,501.91
COAHUILA	1,020	2,359.34
COLIMA	254	1,697.73
CHIAPAS	527	939.20
CHIHUAHUA	2,224	3,862.50
DISTRITO FEDERAL	3,955	624,995.00
DURANGO	272	976.57
GUANAJUATO	1,181	1,148,550.35
GUERRERO	255	1,282.52
HIDALGO	916	392,843.47
JALISCO	1,686	4,722.72
MÉXICO	4,429	233,640.00
MICHOACÁN	223	233,680.58
MORELOS	562	8,315.97
NAYARIT	283	2,389.85
NUEVO LEÓN	1,143	253,079.48
OAXACA	131	60,533.73
PUEBLA	480	11,200.00
QUERÉTARO	507	13,878.91
QUINTANA ROO	278	48.68
SAN LUIS POTOSÍ	341	29,292.40
SINALOA	220	6,332.07
SONORA	545	7,404.50
TABASCO	314	134,096.00
TAMAULIPAS	409	218,576.20
TLAXCALA	550	52,275.40
VERACRUZ	478	152,862.26
YUCATÁN	659	2,441.16
ZACATECAS	184	1,882.45
<b>TOTAL</b>	<b>27,280</b>	<b>3,705,846.21</b>

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, Julio 2000.

**ANEXO 2**

**ASPECTOS LEGALES SOBRE**

**RESIDUOS PELIGROSOS Y**

**CONTAMINACION DE SUELOS**

Para disminuir los riesgos en el manejo y transporte inadecuado de materiales y residuos peligrosos, los organismos responsables se dieron a la tarea de elaborar leyes, reglamentos que a continuación se presentan,

## **A2. LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA SOBRE RESIDUOS PELIGROSOS**

En virtud, de que el manejo y disposición inadecuada de los residuos y materiales peligrosos es una de las principales causas de contaminación del suelo, a continuación se presentan los artículos que regulan el manejo, tratamiento y disposición final de los materiales y residuos peligrosos generados durante algún proceso u operación en cuanto su potencial de causar contaminación al suelo.

Estas regulaciones están contenidas en el Reglamento en Materia de Residuos Peligroso de la LGEEPA (RLGEEPAMRP), este Reglamento fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de noviembre de 1988, y revisado el 7 de abril de 1993.

**Artículo 8.** El generador de residuos peligrosos deberá:

Fracción V. Envasar sus residuos peligrosos, en recipientes que reúnan las condiciones de seguridad previstas en este reglamento y en la NOM-052-ECOL-1993.

Fracción VI. Identificar a sus residuos peligrosos con las indicaciones previstas en este reglamento y en la NOM-053-ECOL-1993.

Fracción VII. Almacenar sus residuos peligrosos en condiciones de seguridad y en áreas que reúnan los requisitos previstos en el presente reglamento y en la NOM-054-ECOL-1993.

Fracción VIII. Transportar sus residuos peligrosos en los vehículos que determine la SCT, y bajo las condiciones previstas en este reglamento y en la NOM-004-SCT-2000.

**Artículo 13.** El generador podrá contratar los servicios de empresas de manejo de residuos peligrosos, para cualquiera de las operaciones que comprende el manejo. Estas empresas deberán contar con la autorización previa de la Secretaría y responsables, por lo que toca a la operación de manejo en la que intervengan, del cumplimiento de lo dispuesto en el Reglamento y en la Nom-005-SCT2-1994.

**Artículo 42.** Cuando por cualquier causa se produzcan derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de residuos peligrosos, durante cualesquiera de las operaciones que comprenden su manejo, el generador y, en su caso, la empresa que preste el servicio deberá dar aviso inmediato de los hechos a la Secretaría, aviso que deberá ser ratificado por escrito dentro de los tres días siguientes al día en que ocurrieron los hechos, para que dicha dependencia esté en posibilidades de dictar o en su caso promover ante las autoridades competentes, la aplicación de las medidas de seguridad que proceden, sin perjuicio de las medidas que las mismas autoridades apliquen en el ámbito de sus competencias.

El aviso por escrito al que se refiere el párrafo anterior deberá comprender:

Fracción II. Localización y características del sitio donde ocurrió el accidente.

Fracción IV. Descripción precisa de las características físico-químicas y toxicológicas así, como cantidad de los residuos peligrosos derramados, infiltrados, descargados o vertidos.

Fracción VI. Medidas adoptadas para la limpieza y restauración de la zona afectada.

### **A2.1 Reglamento Para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (RTTMRP)**

Este Reglamento hace énfasis en el control que se debe tener sobre los productos considerados como peligrosos, de acuerdo al grado de peligrosidad y el riesgo que éstos representan cuando no son transportados, confinados o almacenados adecuadamente (Publicado el 7 de abril de 1993).

En forma general, este Reglamento abarca los siguientes puntos:

## **Título Primero**

### **Disposiciones generales**

Este título tiene por objeto regular el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, sus servicios auxiliares y conexos. El cual corresponde a la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), en el permiso que otorga a los transportistas.

Es importante destacar que este título prohíbe la transportación de personas animales, productos alimenticios de consumo humano o animal, artículos de uso personal y residuos sólidos municipales, en unidades que hayan sido autorizadas para transportar materiales y residuos peligrosos (RTTMRP, título I, cap. I, *op.cit.*).

### **3.2.2 Título Segundo**

#### **Del envase y embalaje**

Este título contiene las disposiciones aplicables a envases y embalajes nuevos y reutilizables, empleados para el transporte de sustancias o residuos. Se menciona la inspección que se debe realizar el expedidor de estas sustancias al envase y embalaje antes de ser llenado y entregado, así como las medidas preventivas para que estos no sean susceptibles de crear o aumentar un riesgo durante su transportación. Las especificaciones y características de construcción del envase y embalaje; y los métodos de prueba de los mismos, aparecen en las normas correspondientes (RTTMRP, título II, cap. I y II. *op.cit.*)

## **Título Tercero**

### **De las características, especificaciones y equipamiento de los vehículos motrices y unidades de arrastre a utilizar**

En este título se hace mención a las especificaciones que debe cumplir toda unidad motriz utilizada en el traslado de materiales y residuos peligrosos, también determina las características de construcción o reconstrucción de los autotranportes,

unidades de arrastre, recipientes intermedios para granel y contenedores con cisternas, conforme a la norma NOM-024/SCT2-1994. Las unidades mencionadas deberán contar con aditamentos de emergencia y dispositivos de protección, de conformidad con la norma NOM-005/SCT-2000. Por último, indica la identificación de unidades por medio de placas de metal inoxidable (RTTMRP, título III, cap. I y II, *op. cit.*).

#### **Título Cuarto**

##### **De las condiciones de seguridad**

Aquí se establecen las condiciones de seguridad para las unidades y la carga, así como la colaboración del Sistema Nacional de Emergencia en Transportación de Materiales y Residuos Peligrosos. Estas condiciones abarcan la inspección periódica técnica y de operación de las unidades, y el control que deben tener los transportistas del mantenimiento preventivo y correctivo de sus unidades.

Las condiciones de seguridad respecto a la carga se hará de acuerdo con las normas expedidas por la Secretaría, y aquellas unidades que estén cargadas con diversas clases de materiales y residuos peligrosos contarán con la información de emergencia de cada uno de los materiales (RTTMRP, título IV, cap. I - IV, *op. cit.*).

#### **Título Quinto**

##### **Del tránsito en vías de jurisdicción federal**

Menciona las restricciones del tránsito de materiales y residuos peligrosos en vías de jurisdicción federal. Estas son medidas de seguridad durante la operación de servicio, tales como realizar paradas no justificadas o circular por áreas densamente habitadas. Estas medidas de seguridad también establecen las condiciones meteorológicas óptimas para el tránsito de estas sustancias. Por último, se hace referencia a las acciones a seguir, en caso de congestión

vehicular, descompostura mayor de la unidad motriz y el estacionamiento nocturno en carretera (RTTMRP, título V, cap. I, *op.cit.*).

## **Título Sexto**

### **De los residuos peligrosos**

Las disposiciones especiales de este título se refieren a las medidas adoptadas para el manejo de Residuos Peligrosos durante su transporte; en forma general abarca los siguientes puntos:

El transporte de Residuos Peligroso se realizará conforme a la sustancia peligrosa de que se trate.

- La unidad a utilizar cumplirá con las especificaciones de construcción determinadas para el transporte de materiales de acuerdo con la NOM-024/SCT2-1994.
- Es necesaria la compatibilidad entre si, para el transporte de residuos peligrosos, conforme a la NOM-010/SCT2-1994 (RTTMRP, título VI, cap. I, *op.cit.*).

## **Título Octavo**

### **De las obligaciones específicas**

En este título se mencionan las obligaciones específicas del expedidor y destinatario de materiales y residuos peligrosos, autotransportista, conductor y la empresa constructora, reconstructora o arrendadora de unidades de arrastre.

Las obligaciones del expedidor y destinatario del material y residuo peligroso, son proporcionar

- Medidas de seguridad para el manejo de estas sustancias que incluye el envase y embalaje.
- Información de emergencia en transportación del material o residuo transportado
- Equipo de seguridad necesario.



- Carteles para la unidad y la verificación de maniobras de carga y descarga.

Por otro lado el autotransportista cumplirá con ciertas especificaciones para que el material o residuo peligroso sea transportado bajo condiciones de seguridad, por ejemplo, no cargar materiales o residuos peligrosos que en su envase y embalaje o contenedor presenten fracturas, fugas o escurrimientos, proporcionar capacitación y actualización de conocimientos a su personal y conductores, revisar que la unidad no cuente con elementos punzocortantes u otros que puedan deteriorar la carga, exponiendo la salud y la vida de personas, bienes y el ambiente.

Con respecto a las obligaciones que tiene el conductor, es éste quién realiza la revisión ocular diaria del vehículo verificando tanto las condiciones mecánicas como las de operación (RTTMRP, título VIII, cap. I, *op.cit.*).

## **Título Noveno**

### **Sanciones**

Este título establece las sanciones económicas y administrativas que se aplicarán en caso de infracción a los artículos dispuestos en el Reglamento.

Las sanciones económicas incluyen multas (determinado número de salarios mínimos de acuerdo al tipo de infracción. Las sanciones administrativas se determinan considerando la condición económica y el carácter intencional del infractor(RTTMRP, título IX, *op.cit.*).

La tabla A2.1 muestra las Normas Oficiales Mexicanas expedidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Secretaría de Trabajo y Previsión Social, para el manejo y transporte adecuado de materiales y residuos peligrosos, la cual establece las especificaciones en cuanto al transporte, embalaje, etiquetado, etc. de éstos.

**TABLA A2.1 NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA EL MANEJO Y TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS.**

NORMA OFICIAL MEXICANA	DESCRIPCION
NOM-002/SCT2-1994	Listado de las sustancias y materiales peligroso mas usualmente transportados.
NOM-003/SCT-2000	Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.
NOM-004/SCT-2000	Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-005/SCT-2000	Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-006-SCT2-2000	Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos
NOM-007/SCT-1994	Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.
NOM-009/SCT-1994	Compatibilidad para el almacenamiento y transporte de sustancias y materiales y residuos peligrosos de la clase explosiva.
NOM-010/SCT2-1994	Disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-EM-011-SCT2/2000	Condiciones para el transporte de las sustancias, materiales o residuos peligrosos en cantidades limitadas.
NOM-017/SCT2-1994	Lineamientos generales para el cargado, distribución y sujeción en las unidades de autotransporte de los materiales y residuos peligrosos.
NOM-019/SCT2-1994	Disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes para las unidades de autotransporte de materiales y residuos peligroso.
NOM-020/SCT2-1994	Requerimientos generales para el diseño, construcción de autotanks destinados al transporte de materiales y residuos peligrosos, especificaciones SCT 306,SCT307 y SCT312.
NOM-023/SCT2-1994	Información técnica que debe contener la placa que portaran los autotank, recipientes metálicos intermedios para granel y envases de capacidad mayor a 450 litros que transportan materiales y residuos peligrosos.
NOM-024/SCT2-1994	Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así, como métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-025/SCT2-1994	Disposiciones especiales para las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 explosivos
NOM-027/SCT2-1994	Disposiciones generales para el envase, embalaje y transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la división 5 2 (peróxidos orgánicos).
NOM-028/SCT2-1998	Disposiciones especiales para los materiales y residuos peligrosos de la clase 3 líquidos inflamables
NOM-043/SCT2-1994	Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligroso.
NOM-114-STPS-1994	Identificación y Comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo

Fuente: SECOFI/Normas, 2000

En caso de no cumplir con las leyes, reglamentos y normas correspondientes, la legislación vigente en la materia de contaminación del suelo, indica que el responsable de llevar a cabo las actividades de restauración de un sitio contaminado por residuos peligrosos a causa de fuga o derrame, corresponde al que ocasiono dicha acción, y esta obligado a asumir los costos de dicha restauración.

## **A2.2 Marco Legal de la contaminación de suelos**

En las nuevas reformas esta asentado que las obras y actividades que causen deterioro en los suelos deben considerar la aplicación de medidas para contrarrestar dicha afectación, y dejar el suelo en condiciones similares a las que presentaba al inicio de las operaciones.

**Artículo 1.** La presente ley es reglamentada de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden publico e interés social y tienen por objeto establecer las bases para:

Fracción III. La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;

Fracción V. El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, agua, y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas;

Fracción VI. La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;

**Artículo 3.** Para los efectos de esta ley se entiende por:

Fracción XXXIII. Restauración: Conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales;

**Artículo 5.** Son facultades de la Federación:

Fracción I. La formulación y conducción de la política ambiental nacional;

Fracción V. La expedición de las normas oficiales mexicanas y la vigilancia de su cumplimiento en las materias previstas en esta ley;

Fracción VI. La regulación y el control de las actividades consideradas como altamente riesgosas, y de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente o los ecosistemas, así como para la preservación de los recursos naturales, de conformidad con esta Ley, otros ordenamientos aplicables y sus disposiciones reglamentarias;

Fracción XI. La regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de los recursos forestales, el suelo, las aguas nacionales, la biodiversidad, la flora, la fauna y los demás recursos naturales de su competencia;

**Artículo 15.** Para la formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente, el Ejecutivo Federal observará los siguientes principios.

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 asumir los costos que dicha afectación implique. Así mismo, debe incentivarse a quien proteja al medio ambiente y aproveche de manera sustentable sus recursos naturales;

**Artículo 36.** Para garantizar la sustentabilidad de las actividades económicas, la Secretaría (de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) emitirá normas oficiales mexicanas en materia ambiental y para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, que tenga por objeto:

Fracción I. Establecer los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, metas, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en regiones, zonas, cuencas o ecosistemas, en aprovechamiento de recursos

naturales, en el desarrollo de actividades económicas, en el uso y destino de bienes, en insumos y en procesos;

Fracción II. Considerar las condiciones necesarias para el bienestar de la población y la preservación o restauración de los recursos naturales y la protección al ambiente;

Fracción IV. Otorgar certidumbre a largo plazo a la inversión e inducir a los agentes económicos a asumir los costos de la afectación ambiental que ocasionen;

**Artículo 49.** En las zonas núcleo de las áreas naturales protegidas quedará expresamente prohibido:

Fracción I. Verter o descargar contaminantes en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso o acuífero, así como desarrollar cualquier actividad contaminante;

**Artículo 122.** Las aguas residuales provenientes de uso público urbano de las de uso industrial o agropecuario que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, canales, vasos, y demás depósitos o corrientes de agua, así como la que por cualquier medio se infiltre en el subsuelo, y en general, las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

Fracción I. Contaminación de los cuerpos receptores;

**Artículo 123.** Todas las descargas en las redes colectoras, acuíferos, ríos, cuencas, canales, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la secretaría o las autoridades locales. Corresponderá a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requerido.

**Artículo 134.** Para la prevención y contaminación del suelo se consideran los siguientes criterios:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fracción I. Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo;

Fracción II. Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyan la principal fuente de contaminación de los suelos;

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 en cualquier tipo de actividad provista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable .

**Artículo 135.** Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran, en los siguientes casos:

Fracción I. La ordenación y regulación del desarrollo urbano;

Fracción III. La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen;

**Artículo 136.** Los residuos que se acumulen o pueden acumularse o se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

Fracción I. La contaminación del suelo;

Fracción II. Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos;

Fracción III. Las alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación;

Fracción IV. Riesgos y problemas de salud

**Artículo 139.** Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos sujetará a lo que disponga esta Ley, la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría.

**Artículo 142.** En ningún caso podrá autorizarse la importación de residuos para su derrame, depósito, confinamiento, almacenamiento o incineración o cualquier tratamiento para su destrucción o disposición final en el territorio nacional o en las zonas en las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Las autorizaciones para el tránsito por el territorio nacional de residuos no peligrosos con destino a otra Nación, solo podrán otorgarse cuando exista previo consentimiento de esta.

**Artículo 150.** Los materiales y residuos peligrosos deberán ser manejados con arreglo a la presente Ley, su Reglamento y las normas oficiales mexicanas que expida la Secretaría, previa opinión de las secretarías SECOFI, Salud, Energía, de comunicaciones y transportes, de marina y de gobernación. La regulación del manejo de esos materiales y residuos incluirán según corresponda, su uso, recolección, almacenamiento, transporte, rehuso, reciclaje, tratamiento y disposición final.

El Reglamento y las normas oficiales mexicanas a que se refiere el párrafo anterior, contendrá los criterios y listados que clasifiquen los materiales y residuos peligrosos identificándolos por su grado de peligrosidad y considerando sus características y volúmenes. Corresponde a la Secretaría la regulación y el control de los materiales y residuos peligrosos.

Así mismo, la Secretaría en coordinación con las dependencias a que se refiere el presente artículo, expedirá las normas oficiales mexicanas en las que se establecerán los requisitos para el etiquetado y envasado de residuos peligrosos, así como para la evaluación de riesgo e información sobre contingencias y accidentes que pudieran generarse por su manejo, particularmente tratándose de sustancias químicas.

**Artículo 151.** La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera. En el caso de que se contrate los servicios de manejo y disposición final de los residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría y los residuos sean entregados a dichas empresas,

la responsabilidad por las operaciones será de éstas independientemente de la responsabilidad que, en su caso, tenga quien las generó.

Quienes generen, rehusen o reciclen residuos peligrosos, deberán hacerlo del conocimiento de la Secretaría (SEMARNAT) en los términos previstos en el Reglamento de la presente Ley.

En las autorizaciones para el establecimiento de confinamiento de residuos peligrosos, solo se incluirán los residuos que no puedan ser técnica y económicamente sujetos de rehuso, reciclamiento o destrucción térmica o fisicoquímica, y no se permitirá el confinamiento de residuos peligrosos en estado líquido.

**Artículo 152 Bis.** Cuando la generación, manejo, o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzcan contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que este pueda ser destinado a algunas de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el predio o zona respectiva.

**Artículo 170.** Cuando exista riesgo inminente de desequilibrio ecológico, o de daños o deterioro grave a los recursos naturales, casos de contaminación con repercusiones peligrosas para los ecosistemas, sus componentes o para la salud pública, la Secretaría, fundada y motivadamente, podrá ordenar alguna o algunas de las siguientes medidas de seguridad:

Fracción III. La neutralización o cualquier acción análoga que impida que materiales o residuos peligrosos generen los efectos previstos en el primer párrafo de este artículo.

Así mismo la secretaria, podrá promover ante la autoridad competente, la ejecución de alguna o algunas de las medidas de seguridad que se establezcan en otros ordenamientos.



**Artículo 171.** Las violaciones a los preceptos de esta Ley, sus Reglamentos y las disposiciones que de ella emanen serán sancionadas administrativamente por la Secretaría, con una o más de las siguientes sanciones:

- I. Multar por el equivalente de 20 a 20,000 días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento de imponer la sanción;
- II. Clausura temporal o definitiva, total o parcial, cuando:
  - a) El infractor no hubiere cumplido en los plazos y condiciones impuestos por la autoridad, con las medidas correctivas o de urgente aplicación ordenadas;
  - b) En casos de reincidencia cuando las infracciones generen efectos negativos al ambiente, o
  - c) Se trate de desobediencia reiterada, en tres o más ocasiones, al cumplimiento de alguna o algunas medidas correctivas o de urgente aplicación impuestas por la autoridad.
- III. Arresto administrativo hasta por 36 horas.
- IV. La suspensión o revocación de las concesiones, licencias, permisos o autorizaciones correspondientes

Si una vez vencido el plazo concedido por la autoridad para subsanar la o las infracciones que se hubieran cometido, resultase que dicha infracción o infracciones aun subsisten, podrán imponerse multas por cada día que transcurra sin obedecer el mandato, sin que el total de las multas exceda del monto máximo permitido; conforme a la fracción I de este artículo.

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

**ANEXO 3**  
**HIDROCARBUROS**

Dentro de la industria petroquímica, además de los combustibles, se obtienen derivados del petróleo que permiten la producción de compuestos químicos, base de diversas cadenas productivas que son finalmente requeridas en una amplia gama de productos conocidos genéricamente como productos petroquímicos básicos, que se utilizan en las industrias de fertilizantes, plásticos, alimentos, farmacéuticas, químicas y textiles, entre otras.

En la tabla A3.1 se presentan estos productos, así como los lugares de producción de PEMEX y sus principales usos.

**Tabla A3.1. Productos Petroquímicos Básicos**

PRODUCTO	CENTRO PRODUCTOR	USOS
Etano	Cangrejera Pajaritos Morelos	Obtención de etileno para la elaboración de polietileno.
Nafta	Morelos Cangrejera Nuevo Pemex Cactus Reynosa Matapionche Poza Rica	Producción de etileno, propileno y butadieno, reformulado de gasolina y/o craqueo.
Hexano	Pajaritos y Minatitlán	Extractor de aceites vegetales, diluyente de pinturas, solvente, elaboración de thinners, materia prima para síntesis orgánica.

Fuente: PEMEX-GAS 2000

**Continuación Tabla A3.1. Productos Petroquímicos Básicos**

Heptano	Pajaritos	Extractor de aceites vegetales, disolvente, materia prima para síntesis orgánica, determinación y valoración de octanaje de gasolina, preparación de adhesivos, adelgazadores y reactivos de laboratorio.
Propano	Poza Rica, Reynosa Morelos	Refrigerante, combustible doméstico, propelente para aerosoles, obtención de hidrógeno.
Butano	Poza Rica	Síntesis orgánica, combustibles doméstico, propulsor para aerosoles, disolventes, refrigerante, enriquecidos de gases.
Isobutano	Poza Rica	Síntesis orgánica, combustibles doméstico, propulsor para aerosoles, fluido para calibración de instrumentos, caucho sintético.
Materia Prima para Negro de Humo	Ciudad Madero, Tula Cadereyta	Industria Hulera

Fuente: PEMEX-GAS 2000

A continuación se presentan propiedades de algunos hidrocarburos, así como efectos a la salud (tabla A3.2), debido a su exposición.

## PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS DE HIDROCARBUROS

**Combustoleo**.- Líquido negro de olor característico, inflamable.

### PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

TEMPERATURA DE FUSION (°C):	-
TEMPERATURA DE EBULLICION (°C):	212 - 588
PRESION DE VAPOR ( mmHg a 20 °C):	-
DENSIDAD RELATIVA:	0.95
DENSIDAD DE VAPOR (AIRE = 1):	-
SOLUBILIDAD EN AGUA (g/ml):	insoluble
% DE VOLATILIDAD:	-

Los riesgos que se pueden presentar en un accidente durante la transportación de combustoleo son: fuego, explosión, fuga y/o derrame, intoxicación, daños o lesiones, y contaminación al medio ambiente. La liberación accidental de combustoleo son la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, etc., así como la contaminación de suelos que afectan a los mantos freáticos.

Otro riesgo es la liberación de vapores (nubes de vapor) que puede reducirse utilizando una cortina. Los vapores de combustoleo no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión. El derrame accidental puede originar un incendio, por lo que es fundamental que este producto no tenga contacto con ningún tipo de calentamiento o fuente de ignición. Intoxicación por exposición. Por ingestión accidental provoca asco, vómito, se recomienda en el caso de asco no inducir al vómito a la víctima y practicarle un lavado de estómago.

**Contacto con los ojos.** Ocasiona Irritación y/o conjuntivitis, en ocasiones puede llegar a producir ceguera, lavar con abundante agua durante 15 minutos y consultar al médico.

**Contacto con la piel.** Produce ardor, alergias, quemaduras de primer grado, en caso de irritación lavar con agua y jabón, consultar al médico. En inhalación, causa vértigo, desmayos, dolor de cabeza y falta de coordinación, se debe de alejar a la víctima del área afectada. Si la víctima no respira aplicar respiración artificial. Si respira con dificultad administrar oxígeno.

**Diesel.**- Líquido amarillo claro, olor característico a petróleo, inflamable.

#### **PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS**

TEMPERATURA DE FUSION (°C):	-
TEMPERATURA DE EBULLICION (°C):	175-375
PRESION DE VAPOR ( mmHg a 20 °C):	-
DENSIDAD RELATIVA:	0.841
DENSIDAD DE VAPOR (AIRE = 1):	4
SOLUBILIDAD EN AGUA (g/ml):	insoluble
REACTIVIDAD EN AGUA:	No es reactivo

Los riesgos que se pueden presentar en un accidente durante la transportación de diesel son: fuego, explosión, fuga y/o derrame, intoxicación, daños o lesiones, y contaminación al medio ambiente. La liberación accidental de diesel son la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, etc., así como la contaminación de suelos que afectan a los mantos freáticos. Otro riesgo es la liberación de vapores (nubes de vapor) que puede reducirse utilizando una cortina. Los vapores de diesel no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión. El derrame accidental puede originar un incendio,

por lo que es fundamental que este producto no tenga contacto con ningún tipo de calentamiento o fuente de ignición.

**Intoxicación por exposición.** Por ingestión accidental provoca, vómito, depresión del sistema nervioso central y dolor de cabeza. Si llega a pasar a los pulmones produce neumonitis química y puede llegar a producir edema y hemorragia pulmonar. No se induzca al vómito, ya que la aspiración del líquido hacia los pulmones es peligrosa, por el mismo motivo se recomienda acostar a la víctima de lado. Mantener a la víctima abrigado y en reposo.

**Contacto con los ojos.** Produce irritación y/o conjuntivitis; lavar con abundante agua durante 15 minutos y consultar al médico. Contacto con la piel, produce irritación y en ocasiones dermatitis y/o quemaduras leves, en caso de irritación lavar con agua y jabón, consultar al médico. Inhalación, mareos y desmayos, irritación de nariz y vías respiratorias altas, se debe de alejar a la víctima del área afectada. Si la víctima no respira aplicar respiración artificial.

**Gasolina.**- Líquido viscoso, rojo con olor característico, inflamable.

#### PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

TEMPERATURA DE FUSION (°C):	No disponible
TEMPERATURA DE EBULLICION (°C):	27 - 221
PRESION DE VAPOR ( mmHg a 20 °C):	7.8 a 11.5 psi
DENSIDAD RELATIVA:	0.680 a 0.760
DENSIDAD DE VAPOR (AIRE = 1):	3.0 a 4.0
SOLUBILIDAD EN AGUA (g/ml):	insoluble
REACTIVIDAD EN AGUA:	Ninguna

Los riesgos que se pueden presentar en un accidente durante la transportación de gasolina son: fuego, explosión, fuga y/o derrame, intoxicación, daños o lesiones, y contaminación al medio ambiente. La liberación accidental de

gasolina son la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, etc., así como la contaminación de suelos que afectan a los mantos freáticos. Otro riesgo es la liberación de vapores (nubes de vapor) que puede reducirse utilizando una cortina. Los vapores de gasolina no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión. El derrame accidental puede originar un incendio, por lo que es fundamental que este producto no tenga contacto con ningún tipo de calentamiento o fuente de ignición.

**Intoxicación por exposición.** Por ingestión accidental provoca, produce irritación en la mucosa de la garganta, esófago y estómago. Puede producir neumonía si ocurre la aspiración directa de ella hacia los pulmones; la mayor parte de esta aspiración es durante el primer trago; sin embargo esto puede ocurrir durante el vómito, por lo que no se debe de inducir el mismo. Mantener a la víctima abrigado y en reposo (acostado de lado), de esta manera disminuirá la posibilidad de aspiración a los pulmones en caso de vómito espontáneo, consultar al médico.

**Contacto con los ojos.** El líquido causara la sensación de quemadura severa, con irritación temporal e hinchazón en los párpados. La concentración de vapores de 160 a 270 ppm en el aire irritará los ojos. lavar con abundante agua durante 15 minutos hasta que la irritación disminuya. Si la irritación persiste consultar al médico.

**Contacto con la piel.** Produce irritación, si el contacto es repetido o prolongado, disuelve la grasa subcutánea y provoca dermatitis, retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados. Lavar con agua y jabón la parte afectada, mantener a la víctima abrigada y en reposo, consultar al médico.

**Inhalación.** Produce Irritación a los ojos, nariz, garganta y pulmones; puede causar dolor de cabeza y mareos, puede causar anestesia y ser depresivo para el sistema nervioso central. Causa sofocación, contiene pequeñas cantidades de benceno y n-hexano, el primero causa daños a la sangre como leucemia y el



segundo a los nervios periféricos. Se debe de alejar a la víctima del área afectada para que respire aire fresco, si la víctima no respira aplicar respiración artificial. Mantener a la víctima en reposo y abrigada consultar al médico.

**Tolueno o metil benceno**.- Líquido transparente de olor característico inflamable

#### PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

TEMPERATURA DE FUSION (°C):	-93
TEMPERATURA DE EBULLICION (°C):	110
PRESION DE VAPOR ( mmHg a 20 °C):	22
DENSIDAD RELATIVA:	-
DENSIDAD DE VAPOR (AIRE = 1):	3.2
SOLUBILIDAD EN AGUA (g/ml):	insoluble
REACTIVIDAD EN AGUA:	-

Los riesgos que se pueden presentar en un accidente durante la transportación de tolueno son: fuego, explosión, fuga y/o derrame, riesgos para la salud por ingestión, contacto con la piel, inhalación y absorción. La liberación accidental de tolueno son la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, etc., así como la contaminación de suelos que afectan a los mantos freáticos. Otro riesgo es la liberación de vapores (nubes de vapor) que puede reducirse utilizando una cortina. Los vapores de tolueno no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión. El derrame de este producto afecta a suelos, en especial si estos están destinados al cultivo.

**Intoxicación por exposición.** Por ingestión accidental provoca, irritación gastrointestinal, náusea, vómito, diarrea y dolor de cabeza. Puede producir neumonía si ocurre la aspiración directa de ella hacia los pulmones; no inducir vómito. Mantener a la víctima abrigado y en reposo (acostado de lado), de esta

manera disminuirá la posibilidad de aspiración a los pulmones en caso de vómito espontáneo, consultar al médico.

**Contacto con los ojos.** Produce Irritación grave de los ojos, los síntomas pueden incluir enrojecimiento, hinchazón, dolor lágrimas, aspecto nebuloso de la córnea, dificultad para ver y en casos extremos puede llegar a producir ceguera. lavar con abundante agua durante 15 minutos levantando ocasionalmente el párpado. consultar al médico.

**Contacto con la piel.** Produce irritación enrojecimiento, hinchazón, comezón y sequedad; si el contacto es prolongado provoca dermatitis, retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados. Lavar con agua y jabón la parte afectada, mantener a la víctima abrigada y en reposo, consultar al médico.

**Inhalación.** Ocasiona Irritación a nariz y vías respiratorias; puede causar dolor de cabeza y mareos, debilidad, fatiga, náusea y posible inconsciencia. La inhalación excesiva de los vapores puede llegar a producir la muerte. Se debe de alejar a la víctima del área afectada para que respire aire fresco, si la víctima no respira aplicar respiración artificial. Mantener a la víctima en reposo y abrigada consultar al médico.

Tabla A3.2 Efectos a la salud debido a la exposición de hidrocarburos

PRODUCTO	COMPUESTO	TLV <sup>1</sup>	EFFECTOS A LA SALUD
Gasolina	Benceno	10	Nausea, vomito, es un conocido cancerigeno.
	Tolueno	100	Depresivo del Sistema Nervioso Central (CNS, por sus siglas en inglés), fatiga, debilidad, irritación de ojos.
	Xilenos	100	Depresivo del CNS, nausea, vomito, irritación de la piel
	Etilbenceno	100	Depresivo del CNS, nausea, vomito, daños al hígado/riñón.
	n-hexano	50	Nausea, mareo, vomito, parálisis severa pero reversible
	Otros isómeros del hexano	500	Irritación de la piel y de la membrana mucosa.
	Octano	300	Debilidad, fatiga, dolor de cabeza, vomito, nausea, anorexia, diarrea.

Fuente: Madrigal, 1998

<sup>1</sup> Valores limite; los valores son un promedio tiempo-peso presentados en ppm para vapores

<sup>2</sup> Para el compuesto ciclopentadienil tricarbonil el cual ha sido usado como aditivo en gasolina regulares

<sup>3</sup> Un valor de cero significa que no es un nivel aceptable de exposición

PAHS Hidrocarburos Aromáticos Policiclicos. También llamados Hidrocarburos Poliaromaticos.

NOTA: Muchos de los síntomas listados son poco diferenciales de los síntomas de tensión, gripe, tos y otras dolencias incluyendo resaca.

**Continuación de la Tabla A3.2 Efectos a la salud debido ala exposición de hidrocarburos**

Productos de Medio Destilado	PAHs		
	Naftaleno	10	Debilidad, temblor, mareo, vomito
	Benzo(a)antraceno	0	Probable cancerígeno humano
	Benzo(a)pireno	0	Probable cancerígeno humano
	Cresoles y fenoles	5	Irritación de piel, ojos y membrana mucosa.
	N,N-dimethylformamide	10	Irritación de piel, ojos y membrana mucosa.
	Compuestos de manganeso <sup>2</sup>	0.1	Efectos al CNS, no específicos
Combustibles	PAHs		
	Benzo(a)antraceno	0 <sup>3</sup>	Probable cancerígeno humano
	Benzo(a)pireno	0	Probable cancerígeno humano
	Crysene	0	Probable cancerígeno humano

Fuente: Madrigal, 1998

<sup>1</sup> Valores limite; los valores son un promedio tiempo-peso presentados en ppm para vapores

<sup>2</sup> Para el compuesto ciclopentadienil tricarbonil el cual ha sido usado como aditivo en gasolina regulares

<sup>3</sup> Un valor de cero significa que no es un nivel aceptable de exposición

PAHS Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. También llamados Hidrocarburos Poli-aromaticos.

NOTA: Muchos de los síntomas listados son poco diferenciales de los síntomas de tensión, gripe, tos y otras dolencias incluyendo resaca.

Como se puede observar el derrame accidental de hidrocarburos, tiene consecuencias nocivas no sólo a la salud humana, sino también al ambiente en este caso al suelo. Para determinar el grado de contaminación de suelos se aplican distintas técnicas (tabla A3.3).

**TABLA A3.3 Especificaciones de análisis de laboratorio aplicables a hidrocarburos en suelo**

CONTAMINANTE	METODO
Hidrocarburos base diesel	Cromatografía de gases - Ionización de flama extraídos con cloruro de metileno (EPA 8015 B)
Hidrocarburos base gasolina	Cromatografía de gases - Ionización de flama extraídos con cloruro de metileno (EPA 8015 B)
Hidrocarburos recuperables de petróleo	Espectrometría en infrarrojo, extraídos con hexano (EPA 418.1 ó ASTM 3921)
Benzopireno	Cromatografía de gases. Extraídos con cloruro de metileno (EPA 8310, 8100 u 8270 (Hidrocarburos poliaromáticos))
Benceno	Cromatografía de gases - Espectrometría de masa extraídos con cloruro de metileno (EPA 8240u 8260 C (Hidrocarburos monoaromáticos y otros compuestos orgánicos volátiles))

Fuente: PROFEPA, 1999

NOTA: Para las mediciones inicial y de seguimiento en los contaminantes en el suelo, se deberá usar invariablemente el mismo método de laboratorio.

En caso de que se confirme que el suelo esta contaminado por hidrocarburos, el siguiente paso es determinar si las concentraciones del contaminante son "aceptables" con base en el riesgo que representan a la salud humana y el ambiente (PROFEPA, 1999) tabla A3.4

**Tabla A3.4. Criterios de limpieza de suelos contaminados por hidrocarburos**

Uso del suelo:	Agricultura Forestal Recreativo de conservación mg/kg. (ppm)	Residencial Comercial mg/kg. (ppm)	Industrial mg/kg. (ppm)	Método Analítico (EPA) mg/kg. (ppm)
Gasolina HC	200	200	500	8015
Benceno*	20	20	50	8240u 8260c
Tolueno	40	40	100	8240u 8260c
Xilenos	40	40	100	8240u 8260c
Diesel HC	1,000	1,000	2,000	8015
Benzopireno*	0.08	0.08	0.08	8310,8100u 8270
Benzo(a)antraceno*	0.80	0.80	8.0	8310,8100u 8270
Benzo(b)fluoranteno*	0.80	0.80	8.0	8310,8100u 8270
Benzo(k)fluoranteno*	8.00	8.00	80.0	8310,8100u 8270
Criseno*	80.0	80.0	800.0	8310,8100u 8270
Residuos aceitosos				
HC recuperables	1,000	1,000	2,000	418.1
Benzopireno*	0.08	0.08	0.75	8310, 8100u 8270
Benzoantraceno*	0.80	0.80	7.5	8310, 8100u 8270
Benzofluoranteno*	0.80	0.80	7.5	8310, 8100u 8270
Benzofluoranteno*	8.00	8.00	75.0	8310, 8100u 8270
Criseno*	80.0	80.0	750.0	8310, 8100u 8270

**Contaminante (mg/kg., ppm) \*compuestos cancerigenos**

Acido sulfúrico (ácido)	P H del suelo >4
Sosa (base)	P H del suelo <10

Fuente:PROFEPA,1999

Debido a que dentro de los Criterios Interinos que propone la PROFEPA de Restauración de suelos contaminados solo aparecen los relativos a gasolinas, diesel y residuos aceitosos, se propone la siguiente clasificación para aquellos hidrocarburos distintos a los tres mencionados, para los que aplicarían los valores numéricos de los criterios mencionados (PROFEPA, *op. cit.*) según la siguiente tabla:

### A3.5 Clasificación de hidrocarburos aplicables a la restauración

HC Recuperables Criterio para Residuos Aceitosos	HC Base Diesel Criterio Diesel	HC Base Gasolina Criterio Gasolina
Petróleo Crudo	Diesel	Gasavion
Combustóleo	Turbosina	Gasolvente
Emulsiones	Kerosene	Gasolina Magna
Asfalto	Aceites lubricantes	Gasolina Premium
Parafinas	Vaselinas	Gas Nafta
	Aceites Combustibles ligeros	Eter de petróleo
		Ligroina
		Thinner
		Producto Alkylado
		Aromina

Fuente: PROFEPA, 1999

# GLOSARIO



## GLOSARIO

**Accidente:** Un evento indeseado o inesperado que ocurre causando daños a la propiedad, a las personas y/o al ambiente.

**Contaminación:** Se refiere a la alteración del medio ambiente causado por la liberación accidental de las sustancias, materiales o residuos peligrosos.

**Acroleína.-** Aldehído no saturado que se obtiene de la glicerina.

**Absorber.-** Aspirar los tejidos orgánicos, materias externas que contribuyen a la nutrición o son causa de enfermedades.

**Ademar.-** Cubierta de madera con que se aseguran los trabajos subterráneos.

**Adsorber.-** Fijación de gases, y sustancias disueltas en la superficie de cuerpos sólidos.

**Anaerobiosis.-** Capacidad que poseen algunos organismos de vivir de forma anaerobia.

**Asentamiento.-** Instalación provisional de colonos.

**Carcinogenicidad.-** Los individuos están expuestos a sustancias químicas que causan cáncer, es decir un tumor maligno, y éstas pueden estar presentes en el aire, agua, alimentos, productos de consumo y aún en el suelo.

Los expertos en cáncer, con pocas excepciones, no determinan la causa específica del cáncer en los individuos. En general se puede descubrir los factores que contribuyen para la frecuencia de cáncer en grandes grupos de la población. Se considera que entre el 70% y el 90% de los cánceres humanos son de origen ambiental. Este término es usado en un sentido amplio abarcando sustancias químicas industriales y contaminantes, dieta, hábitos personales, costumbres de fumar y radiaciones

**Ciudad industrial.-** Es un concepto similar al del parque industrial, donde además de considerar todas las ventajas que el parque ofrece, incluye áreas habitacionales, comerciales y de servicios.

**Corredor industrial.-** Es un sistema de parques y ciudades industriales, localizado a lo largo de ciertas vías de comunicación como; carreteras federales, estatales y/o vías de ferrocarril, presentan un origen y destino. Se establece generalmente entre dos o más municipios incluso puede instalarse entre dos

estados de la república, (comprendiendo así tanto zonas urbanas como rurales), lo que obliga a un reconocimiento oficial por parte de los gobiernos municipales y federales; condición indispensable para reconocer censalmente la instancia de dichos corredores industriales.

**Depauperación.**- Debilitación del organismos.

**Derrame:** Es el escape de cualquier sustancia líquida o sólida en partículas o mezclas de ambas, de cualquier recipiente que lo contenga, como tuberías, equipos, tanques, camiones, cisternas, carros tanques, etc.-

**Desertización.**- Depauperación progresiva de un terreno por pérdida del horizonte superior acusa de la erosión.

**Disemina.**- Sembrar esparcir

**Dispersivo.**- Separar lo que esta reunido.

**Endémicos.**- Actos o sucesos que se repiten con frecuencia en un País.

**Esquitos.**- Roca arcillosa de alto contenido de microorganismos.

**Fotólisis.**- Proceso de rompimiento de las moléculas por acción de la luz.

**Freático.**- Relativo alas aguas acumuladas en el subsuelo, capas del subsuelo.

**Fuga:** Se presenta cuando hay un cambio de presión debido a rupturas en el recipiente que contenga el material o en la tubería que lo conduzca.

**Hidrofílicos.** Sustancias que absorbe el agua con gran facilidad

**Hidrofóbicos.**- Aversión al agua.

**Hidrogeología.**- Ciencia que estudia las aguas subterráneas. De gran importancia para solucionar los problemas de abastecimiento de agua.

**Inocuo.**- No hace daño

**Intersticial.**- Lo que ocupa los intersticios que existen en un cuerpo.

**Intersticio.**- Espacio pequeño que media entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo.

**Ley:** Es una regla que regula todos los casos o circunstancias que reúnan las condiciones previstas por ella para su aplicación.

**Metabolitos.**- Sustancias originada por la transformación metabólica de los alimentos en el interior de las células o de los seres vivos.

**Microbiana.**- Microorganismos.

**Mutagenicos.-** Capacidad para la inducción de mutaciones por parte de distintos agentes físicos y químicos.

**Norma:** Son aquellas disposiciones que el poder publico por medio de órganos Legislativos señalan como obligatorios a la obediencia general y en caso de inobservancia las hace cumplir de acuerdo con órganos judiciales.

**Parque industrial.-** Superficie geográficamente delimitada, planeada y diseñada especialmente para la instalación de plantas industriales, donde se reúnen las mejores condiciones de ubicación, infraestructura y equipamiento. Cuenta con una administración permanente. Pertenece tanto al sector público como al privado. El parque industrial puede ser portuario.

**Peligro:** Cualquier situación con el potencial para causar daño a la vida, propiedad, y/o al ambiente es la fuente u origen de un riesgo, una amenaza que puede causar un accidente.

**Pirólisis.-** Transformación de un compuesto químico en una sustancia diferente por medio de calor.

**Polimerización.-** Producto formado por macromoléculas.

**Queratina.-** Sustancias córnea proteica, uno de los principales constituyentes de la piel.

**Reglamento:** Es una disposición de carácter Legislativo expedida por el ejecutivo que se aplica a todas las personas cuya situación recae bajo su campo de acción. El objeto de los reglamentos es facilitar el mejor cumplimiento de la ley.

**Riesgo:** Medida de la probabilidad de daño a la vida, propiedad, y/o al ambiente que ocurriría si un peligro se manifestara, esta medida incluye la severidad de consecuencias anticipadas a la gente.

**Teratogenicidad.-** Después de la fertilización del óvulo, comienza la proliferación de las células que dan origen al feto. En los humanos, alrededor del noveno día comienza el proceso de diferenciación celular y los distintos tipos de células específicas que constituyen el organismo comienzan a formarse y migrar a su posición apropiada. Esto ocurre hasta el desarrollo completo del feto. Algunas sustancias químicas pueden causar efectos en la descendencia que no son hereditarios y son denominados sustancias teratogénicas.

Un medicamento, talidomida, puede ser mencionado como ejemplo de sustancia teratogénicas. Este medicamento, cuando fue ingerido por las mujeres durante el embarazo, produjo efectos terogénicos en la descendencia.

**Tejido mioepitelial.-** Tipo especial de tejido epitelial, formado por células prismáticas unidas por su polo mundial y ensanchadas por el polo basal, que contiene en su interior multitud de fibrillas contráctiles parecidas a las de la células musculares.

**Zona vadosa:** Es la zona de la superficie arriba del nivel de agua freática y el borde capilar en la cual los poros dentro de la matriz geológica son parcialmente llenados con aire y agua, y la presión del fluido es menor que la atmosférica. Zona del suelo insaturado o arriba de la capa freática.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- ACARMEX. Base de datos de accidentes carreteros (CENAPRED) SEGOB y SCT.
- ANIQ. Asociación Nacional de la Industria Química En Internet <http://www.aniq.org.mx>
- Biorremediation Field Guide. For ex situ of Petroleum Contaminated Soil and Other Petroleum Materia. En internet: <http://www.industrialecosystems.com>
- CAPUFE. Camino y Puentes Federales. En Internet <http://www.capufe.gob.mx>
- De la Cruz, G. L. **Identificación de sustancias químicas y materiales peligrosos involucrados en accidentes carreteros**. T. Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM, México 2000.
- Enciclopedia Ilustrada Cumbre. Tomo II y VI, 18 edición. México D.F, 1978.
- Hidalgo. **Industria en el Estado de Hidalgo**. En Internet <http://www.hidalgo.gob.mx/estado/industria>
- INE. Instituto Nacional de Ecología. En Internet <http://www.ine.gob.mx>
- Industry and Environment (I & E), **Managines Contaminated Landi Factand Figures**, Vol. 16, No 3, Jul. – Sept., 1993.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadísticas Geográfica e Informática. **Censos económicos 1999. Enumeración integral de parques, corredores y ciudades industriales de México**. Ags, México. En Internet <http://www.inegi.gob.mx>
- IMP. Instituto Mexicano del Petróleo. Procesos petroquímicos En Internet <http://www.imp.gob.mx>
- IMT. Instituto Mexicano de Transporte. En Internet <http://www.imt.gob.mx>
- Iturbe, R. Castro, A. **Técnicas de Rehabilitación de suelo y Acuíferos II**. DEPFI UNAM, 1998.

- Izcapa, C. **Lineamiento generales para la evaluación de sitios contaminados y propuestas de acciones para su restauración.** T. Maestría, DEPTI UNAM, 1998.
- LGEEPA. **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.** En Internet <http://www.ine.gob.mx/uaj/lgeepa>
- Li-Muller A, and Marsh M, "**Guidance for the Use of Risk Assessments in Site Clean-ups Ontario**" – Proponed Draft-, Ontario Ministry of the Environment and Energy (OMEE), May 1994.
- Madrigal, M. I. **Alternativas de tratamiento para la rehabilitación de sitios contaminados con hidrocarburos en México.** T. Maestría, DEPTI UNAM; 1998.
- México. **Zonas de Parques industriales en el Estado de México.** En Internet <http://www.edomex.gob.mx/fidepar/parques/parq.htm>
- Morelos. **Sectores Industriales.** En Internet <http://www.morelos.gob.mx/principal/>
- Nociones básicas de Toxicología. **Aplicadas a las emergencias químicas.** En Internet <http://www.disater.info.desastres.net>
- PEMEX. **Petróleos Mexicanos. Pemex-gas,** 1999. En Internet <http://www.gas.pemex.gob.mx>
- Pérez, G:G: **Evaluación preliminar de la contaminación ambiental de la ZMVM asociada con el crecimiento industrial.** T. Licenciatura. Facultad de Química. UNAM México, 1995.
- PROFEPA: **Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Criterios interinos de restauración de suelos contaminados con hidrocarburos. 1999.** En Internet <http://www.profepa.gob.mx>
- Puebla. **Información sobre Puebla.** En Internet <http://www.convenciones-puebla.com.mx>
- Querétaro. **El Querétaro de Hoy.** En Internet <http://www.queretaro.gob.mx>

- Rocha, J. M. **Evaluación de la contaminación, criterios y alternativas de rehabilitación en los "Talleres de Ferrocarriles Nacionales de México (FNM) en Aguascalientes, Ags., México.** DEPMI UNAM México, 2000.
- Rodríguez, R. **Selección de tecnologías de restauración en suelos contaminados por hidrocarburos poliaromáticos en Dos Bocas, Tabasco.** T Maestría DEPMI, UNAM México, 2000.
- Sandoval, M. I. **La contaminación del subsuelo y aguas subterráneas por hidrocarburos y una evaluación de sitios contaminados en el centro-este de México.** T Maestría Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, I:P:N, 1998.
- Saval, S. **Biorremediación de suelos contaminados.** Coordinación de bioprocesos ambientales, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1995.
- SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. En Internet <http://www.sct.gob.mx>
- SCT. **Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.** DOF (México 7 de abril, 1993)
- Secretaría de economía, antes SECOFI. **Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas.** En Internet <http://www.se.gob.mx>
- Secretaría de energía. **Procesos de transformación industrial del petróleo.** En Internet <http://www.energia.gob.mx>
- SIEM. Sistema de información empresarial mexicana 2000. En Internet <http://www.siem.gob.mx>
- Stephanatos, Basilis N, Capitulo 36 de " **Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater Analysis, Fate, Environmental and Public Health Effects Remediation** Vol. 1, Editores Paul T. Kostocki y Edward J. Calabrese, Lewis Publishers, USA, 1991.
- Terra Vac environmental clean up and remediation. En internet: <http://www.terravac.com>
- Tlaxcala. **Industria.** En Internet <http://www.tlaxcala.gob.mx>



- USEPA: U.S. Environmental Protection Agency. **Guía del ciudadano: El enjuague del suelo del suelo in situ.** EPA 542-F-96-022. En Internet <http://www.clu-in.org>, 1996.
- Zegarra, M. **Optimización de la biodegradación de diesel industrial en un suelo contaminado mediante la metodología de superficie de respuesta.** T. Maestría. DEPMI, UNAM México, 2000.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN