

76
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ESTUDIO SOBRE LAS TÉCNICAS DE RECUPERACION
DE SUSTANCIAS TOXICAS PRESENTES EN SUELOS
CONTAMINADOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
CARLOS MANUEL IBARRARAN DIAZ



MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

INDICE

1. INTRODUCCION

1.1. Objetivos

2. DEFINICIONES Y CLASIFICACION

2.1. Marco general

2.2. Clasificación de materiales peligrosos.

2.2.1. Material explosivo

2.2.2. Material flamable y combustible

2.2.3. Material tóxico

2.2.4. Material radioactivo

2.2.5. Material corrosivo

2.2.6. Oxidantes

2.2.7. Materiales irritantes

2.2.8. Material asfixiante

2.2.a. Norma Técnica Ecológica Mexicana NTE-CRP-001/88

2.3. Contaminantes más comunes e industrias que los proveen.

2.3.1. Residuos inorgánicos

2.3.2. Residuos acetosos

2.3.3. Residuos orgánicos

2.3.4. Residuos orgánicos putrescibles

2.3.5. Residuos poco peligrosos

2.3.6. Residuos diversos

2.4. Grupos industriales

3. CONTAMINACION DEL SUELO POR SUSTANCIAS TOXICAS

3.1. Causas de la presencia de sustancias tóxicas en suelos

3.2. Principales contaminantes localizados en suelos

4. METODOS DE DESCONTAMINACION DE SUELOS

4.1. Técnicas de inyección directa

4.1.1. Método "Detoxifier"

4.1.2. Método combinado para suelos y agua contaminados

4.1.3. Sistema CROW

4.2. Métodos de extracción.

4.2.1. Proceso BEST

4.2.2. Proceso CONTEX

4.2.3. Otros procesos

4.2.4. Sistema Excalibur

4.2.5. Suelos contaminados con plomo.

4.3. Métodos biológicos.

4.4. Estabilización de suelo contaminado

4.5. Resumen de opciones para descontaminación de suelos

5. SITUACION EN MEXICO

5.1. Posibles áreas de suelo contaminado

5.2. Legislación Mexicana para disposición final de residuos peligrosos

ANEXO 1. Normas técnicas ecológicas

ANEXO 2. Normas oficiales Mexicanas

ANEXO 3. Residuos peligrosos considerados en la Norma Ecológica Mexicana NTE-CRP-001/88.

ANEXO 4. Legislación Ambiental en Estados Unidos de Norteamérica.

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

1. INTRODUCCION

En la actualidad la ecología y la protección ambiental han cobrado mucha importancia, se empieza a crear una conciencia muy fuerte en favor de esta práctica y cada vez más asociaciones, empresas y naciones lo consideran de vital importancia.

Entre los puntos más observados por esta ciencia está el tratamiento de suelos contaminados por sustancias tóxicas, que presenta un problema muy importante para el establecimiento y adaptación de cualquier tipo de vida, inclusive afecta a otras áreas lejanas al lugar contaminado, debido al acarreo de los tóxicos por ríos subterráneos u otros medios.

El presente trabajo tiene como objetivo principal recopilar una serie de técnicas y procedimientos que se han desarrollado en los últimos años para limpiar estos sitios contaminados con desechos industriales de alto riesgo o derrames accidentales de hidrocarburos. Así mismo se identifican los tóxicos más comunes que se presentan en estos lugares y las industrias que los proveen.

La mayoría de estos métodos se desarrollaron y se aplican en el extranjero, en México no se ha considerado hasta el momento ninguno de ellos, aunque día a día se hace más necesario el tomar medidas al respecto.

1.1. OBJETIVOS

** Identificar los contaminantes más comunes que se presentan en los suelos contaminados, por desechos industriales, y las industrias o sectores de donde provienen.*

** Conocer las características principales y cualidades de un suelo, para determinar los factores y contaminantes que pueden afectarlo.*

** Exponer las causas que originaron que algunas sustancias (entre las que se incluyen principalmente desechos industriales), se convirtieran en contaminantes de suelos originalmente sanos.*

** Recopilar las técnicas y procedimientos más importantes que se han desarrollado hasta la fecha para tratamiento de suelos contaminados con productos tóxicos, conociendo sus fundamentos y algunas de las características principales que los conforman.*

** Indicar en estos métodos de descontaminación de suelos, los compuestos factibles de recuperación, la eficiencia de eliminación con respecto a determinado contaminante y el costo aproximado de operación.*

** Exponer un panorama general de la situación en México sobre el problema de los suelos contaminados.*

2. DEFINICIONES Y CLASIFICACION

2.1. MARCO GENERAL

Contaminante: *Toda sustancia que excede la concentración normal permisible en un sistema determinado.*

Material peligroso: *De acuerdo con SEDUE, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (actualmente SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social), un material peligroso es aquel que presenta una o más de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o ser biológico-infeccioso.*

2.2. CLASIFICACION DE MATERIALES PELIGROSOS

Se puede clasificar a los materiales peligrosos de varias maneras. Una de las más comunes es distribuirlos de acuerdo con sus efectos, como se especifica en el Código Federal de Reglamentaciones (CFR) de los Estados Unidos de América. En donde se mencionan las siguientes categorías

2.2.1. Material explosivo:

Estos se clasifican dentro de las siguientes clases:

1. Clase A. *Son explosivos sólidos o líquidos altamente peligrosos, que pueden detonar por un simple contacto con un elemento externo como chispas, flamas, detonadores, gotas, etc.. Dentro de estos explosivos se pueden mencionar la pólvora negra, dinamita, trinitrotolueno, ácido pícrico, fulminato de mercurio, nitroglicerina, etc.*

2. Clase B. *Son explosivos de menos peligrosidad que los anteriores, pero que son también rápidamente combustibles, por ejemplo se mencionan los propulsores y cohetes de señales.*

3. Clase C. Estos explosivos solo reaccionan bajo condiciones de calor intenso, siendo de menor peligrosidad que los otros. Ejemplo son los fuegos artificiales comunes.

2.2.2. Material flamable y combustible:

Dentro de esta categoría se incluyen todas las sustancias capaces de arder bajo una cierta temperatura. Generalmente se considera que un material es flamable cuando su temperatura de inflamación no excede los 100°F. Si este punto es mayor de esta temperatura se considera como combustible.

2.2.3. Material Tóxico:

Se considera una sustancia tóxica a aquella que en pequeñas concentraciones es peligrosa para la vida. Dentro de esta clasificación pueden existir otras tantas de acuerdo a la peligrosidad de cada tóxico. Como ejemplo se pueden nombrar al ácido cianhídrico, fosgeno, anilina y arsénico.

2.2.4 Material Radioactivo:

Los materiales radioactivos son cualquier sustancia o mezcla de sustancias, que espontáneamente emiten radiación ionizante y tienen una actividad específica mayor que 0.002 microcuries por gramo para propósito de embarque. Como ejemplo están el uranio, radio, cesio, e isótopos médicos.

2.2.5. Material corrosivo:

Los materiales corrosivos son cualquier sustancia que cause destrucción al tejido de la piel humana, o bien líquidos que tengan un alto grado de corrosión sobre el acero. Ejemplo es el ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, soluciones de hidróxido de sodio, etc.

2.2.6. Oxidantes:

Estos materiales aportan oxígeno con cierta facilidad, para estimular la combustión de materia orgánica.. Algunas sustancias con esta capacidad son los cloratos, permanganatos, peróxidos inorgánicos o nitratos entre otros.

2.2.7. Materiales irritantes:

Se incluyen sólidos o líquidos, que por contacto con fuego o por exposición al aire libre, despiden vapores peligrosos, elevadamente irritantes. Ejemplo son los gases lacrimógenos.

2.2.8. Material asfixiante:

Los agentes asfixiantes son materiales que ejercen sus efectos por interferencia con oxigenación de los tejidos, como resultado de ello el individuo puede llegar a sofocarse. Generalmente se dividen en dos tipos:

Asfixiantes simples: Son gases fisiológicamente inertes que actúan diluyendo el oxígeno del aire a un nivel inferior del requerido para una respiración normal. Ejemplo: Dioxido de carbono, metano, helio, propano y ácido sulfhídrico.

Asfixiantes químicos: Estos actúan por medio de una acción química directa, ya sea bloqueando la captación de oxígeno por la sangre, interfiriendo el transporte de oxígeno de los pulmones a los tejidos, o evitando la oxigenación normal de los tejidos. Ejemplo: monóxido de carbono, ácido cianhídrico y sulfhídrico.

2.2.a. NORMA TECNICA ECOLOGICA MEXICANA NTE-CRP-001/88

En el Diario Oficial de la Federación de julio de 1988 se expide la Norma Técnica Ecológica NTE-CRP-001/88, que establece los criterios para la determinación de residuos peligrosos y el listado de los mismos. Dicha norma menciona en su artículo cuarto lo siguiente:

Los residuos considerados como peligrosos son aquellos que presentan una o más de las siguientes características: corrosivas, tóxicas, reactivas, explosivas o inflamables.

Para la determinación de los residuos peligrosos, se aplican los siguientes criterios:

I. Corrosividad.

Un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando:

-En solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2, o mayor o igual a 12.5.

-En estado líquido es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020), a una velocidad de 6.35 milímetros por año y una temperatura de 55°C.

II. Toxicidad al ambiente.

Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente cuando:

-Al hacer la prueba de extracción para toxicidad, conforme a la Norma Técnica Ecológica NTE-CRP-002/88, aparezcan uno o más de los constituyentes que a continuación se mencionan, y al efectuar los métodos de análisis previstos en las Normas Técnicas Ecológicas correspondientes presenten concentraciones iguales o mayores a los límites señalados en la tabla 2.1.

III. Reactividad

Un residuo se considera peligroso por su reactividad cuando:

-Bajo condiciones de golpe, presión, temperatura o espontáneamente se descompone, combina o polimeriza vigorosamente.

-Es normalmente inestable y se combina o transforma violentamente sin detonación

-Reacciona con el agua y forma mezclas potencialmente explosivas o genera gases, vapores o humos en cantidades suficientes para provocar desequilibrio ecológico o daños al ambiente.

| CONSTITUYENTES QUE HACEN PELIGROSO A UN RESIDUO POR SU TOXICIDAD AL AMBIENTE | |
|--|--------------------------------|
| CONSTITUYENTE | CONC. MAXIMA PERMITIDA mg/l |
| Acetonitrilo | 5.00 |
| Arsénico | 5.00 |
| Bario | 100.00 |
| Benceno | 0.07 |
| Bis (2-cloroetil) éter | 0.05 |
| Cadmio | 1.00 |
| Clordano | 0.03 |
| Clorobenceno | 1.40 |
| Cloroforno | 0.07 |
| Cloruro de metileno | 8.60 |
| Cloruro de vinilo | 0.05 |
| m-cresol | 10.00 |
| o-cresol | 10.00 |
| p-cresol | 10.00 |
| Cromo | 5.00 |
| 2, 4-D | 1.40 |
| 1, 2-Diclorobenceno | 4.30 |
| 1, 4-Diclorobenceno | 10.80 |
| 1, 2-Dicloroetano | 0.40 |
| 1, 1-Dicloroetileno | 0.10 |
| 2, 4-Dinitrotolueno | 0.13 |
| Disulfuro de carbono | 14.40 |
| Endrín | 0.003 |
| Fenol | 14.40 |
| Heptacloro (y su epóxido) | 0.001 |
| Hexaclorobenceno | 0.13 |
| Hexaclorobutadieno | 0.72 |
| Hexacloroetano | 4.30 |
| Isobutanol | 36.00 |
| Lindano | 0.06 |
| Mercurio | 0.20 |
| Metilacetona | 7.20 |
| Metoxicloro | 1.40 |
| Nitrobenceno | 0.13 |
| Pentaclorofenol | 3.60 |
| Piridina | 5.00 |
| Plata | 5.00 |
| Plomo | 5.00 |
| Selenio | 1.00 |
| 1, 1, 1, 2-Tetracloroetano | 10.00 |
| 1, 1, 2, 2-Tetracloroetano | 1.30 |
| 2, 3, 4, 6-Tetraclorofenol | 1.50 |
| Tetracloruro de carbono | 0.07 |
| Tolueno | 14.40 |
| Toxafeno (cafeína clorada técnica) | 0.07 |
| 1, 1, 1-Tricloroetano | 30.00 |
| 1, 1, 2-Tricloroetano | 1.20 |
| Tricloroetileno | 0.07 |
| 2, 4, 6-Triclorofenol | 5.80 |
| 2, 4, 6-Triclorofenol | 0.30 |
| 2, 4, 6-TP (stiver) | 0.14 |

Tabla 2.1. Constituyentes y concentraciones peligrosas para el ambiente. Gaceta Ecológica-Volumen 8- 1990.

-Posee en su constitución sustancias que cuando se exponen a condiciones de pH adecuadas puede generar gases, vapores o humos en cantidades suficientes que constituyan un riesgo para el ambiente.

-Es capaz de producir radicales libres.

IV. Explosividad

Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando:

-Es más sensible a golpes o fricción que el dinitrobenceno

-Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a una atmósfera de presión (1.033 kg/cm²).

| CLASIFICACION DE MATERIAL PELIGROSO DE LAS NACIONES UNIDAS | |
|---|--|
| CLASE | DIVISION |
| 1. EXPLOSIVOS | 1.1 Explosivos con peligro de reacción en cadena 1.2 Explosivos con peligro de proyección 1.3 Explosivos con peligro de incendio 1.4 Explosivos sin peligro de detonación 1.5 Explosivos muy insensibles |
| 2. GASES | 2.1 Gases inflamables 2.2 Gases no inflamables 2.3 Gases Tóxicos 2.4 Gases corrosivos |
| 3. LIQUIDOS FLAMABLES | 3.1 Temperatura de inflamación menor de -18°C 3.2 Temperatura de inflamación de -18°C a 23°C 3.3 Temperatura de inflamación de 23°C a 61°C |
| 4. SOLIDOS PELIGROSOS | 4.1 Sólidos inflamables 4.2 Materiales espontáneamente combustibles 4.3 Materiales peligrosos cuando se humedecen. |
| 5. OXIDANTES | 5.1 Oxidantes 5.2 Peróxidos orgánicos |
| 6. MATERIAL TOXICO Y ETIOLOGICO | 6.1 Material tóxico 6.2 Material etiológico |
| 7. MATERIAL RADIOACTIVO | |
| 8. MATERIAL CORROSIVO | |
| 9. OTROS MATERIALES PELIGROSOS | |

Tabla 2.2. Clasificación de materiales peligrosos según la ONU.

V. Inflamabilidad

Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando:

- En solución acuosa contiene más de 24% de alcohol en volúmen.
- Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60°C.
- No es líquido pero es capaz de causar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos.
- Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes.

El artículo quinto de esta Norma Técnica hace mención de los residuos comúnmente considerados como peligrosos, los cuales se encuentran en el anexo 3.

2.3. CONTAMINANTES MAS COMUNES E INDUSTRIAS QUE LOS PROVEEN.

Se puede clasificar a los contaminantes más comunes en varios grupos, de acuerdo con su composición y propiedades físicas y químicas. A continuación se presentan estos grupos y se describen brevemente sus características, según un estudio realizado por el Banco Mundial, Organización Mundial de la Salud y el programa de las Naciones Unidas para el mejoramiento del ambiente (1989).

2.3.1. Residuos inorgánicos:

Entre estos contaminantes podemos mencionar los ácidos y álcalis que se presentan con cierta regularidad. Se generan por varios sectores de la industria, destacando la industria de tratamiento de metales. Estos elementos son altamente corrosivos. También generados en el acabado de metales están los cianuros altamente tóxicos.

Algunos metales pesados como el plomo, arsénico, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel y cobre se desechan por una amplia gama de procesos de manufactura como la producción de cloro, pigmentos, preservativos de madera, baterías, textiles, galvanizado y curtiduría.

Otro contaminante importante de este grupo son los residuos de asbesto, provenientes de recubrimientos, estaciones de energía, fábricas de gas, etc. Los riesgos a la salud asociados con la inhalación de fibras de asbesto y corrientes de polvo provienen del potencial carcinógeno del material.

2.3.2. Residuos aceitosos:

Estos residuos generalmente provienen del proceso, uso y almacenamiento de aceites minerales, como fluidos lubricantes e hidráulicos. Pueden ser fondos de tanques de almacenamiento de aceites amargos residuales.

2.3.3. Residuos orgánicos:

Dentro de estos contaminantes existe una gran variedad de sustancias, que con frecuencia se encuentran en sitios contaminados. Entre los más importantes se encuentran los siguientes:

Los solventes halogenados, que se generan en operaciones de limpieza en seco, limpieza de metales y en desengrasado. Estos compuestos son tóxicos y de persistencia en el ambiente.

Los solventes no halogenados comprenden todos los hidrocarburos e hidrocarburos oxigenados, como tolueno, metanol, isopropanol y etanol. Las industrias que los manejan son la de pinturas, tintas, adhesivos, resinas, preservativos de madera, saborizantes, cosméticos, etc. La toxicidad de estos compuestos varía, llegando a ser el mayor peligro su inflamabilidad.

Los policloruros de bifenilo (PCBs) se emplean como fluidos dieléctricos en transformadores y capacitores, también como líquidos hidráulicos y de transferencia de calor. Su peligro radica en su alta persistencia y potencial de bioacumulación.

También se pueden incluir en este grupo los residuos de pinturas y resinas, comúnmente usados en casi todas las áreas de construcción. Estos generalmente vienen combinados con solventes y materiales poliméricos.

Otros residuos orgánicos se generan por la carbonización de hulla, o bien residuos de filtración y destilación en la industria de refinamiento del petróleo, en manufactura de compuestos químicos, colorantes, farmacéuticos, plásticos, hules y resinas.

DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS

| RESIDUOS | GRUPO INDUSTRIAL | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | |
| INORGANICOS | | | | | | | | | | | | |
| Acidos y álcalis | ■ | | | ■ | | | | | | | | |
| Cianuros | | | | ■ | | | | | | | | |
| Metales pesados | | | | ■ | | | | | | | | |
| Asbestos | | | | ■ | | | | | | | | |
| Otros | | | | ■ | | | | | | | | |
| ACEITOSOS | | | | | | | | | | | | |
| ORGANICOS | | | | | | | | | | | | |
| Solv.halogenado | | | | | | | | | | | | |
| Solv.no-halog. | ■ | | | | | | | | | | | |
| PCBs | | | | | | | | | | | | |
| Pinturas | | | | | | | | | | | | |
| Biocidas | ■ | | | | | | | | | | | |
| Otros | | | | | | | | | | | | |
| PUTRESCIBLES | ■ | | | | | | | | | | | |
| POCO PELIGR. | | | | | | | | | | | | |
| DIVERSOS | | | | | | | | | | | | |
| Infecciosos | | | | | | | | | | | | |
| Laboratorios | | | | | | | | | | | | |
| Explosivos | | | | | | | | | | | | |

- A-Agricultura
- B-Extracción mineral
- C-Generación de energía
- D-Manufactura de metales
- E-Manufactura de no metales productos minerales
- F-Industrias químicas afines
- G-Beneficio de metales ingeniería y automotriz
- H-Textil, curtiduría y construcción
- I-Papel, imprenta y publicidad
- J-Servicios hospitalarios y de salud
- K-Servicios personales comerciales

Tabla 2.3. Diagrama de clasificación de los principales residuos peligrosos y la industria de la que comúnmente provienen. (The safe disposal of hazardous wastes. The special need and problems of developing countries. Vol.II (1989). World bank technical paper No.93.)

2.3.4. Residuos orgánicos putrescibles:

Estos residuos incluyen residuos de la producción de aceites comestibles, así como desperdicios de rastros y otros productos provenientes de animales. El manejo apropiado de residuos putrescibles es de particular importancia en el desarrollo de países donde las condiciones climatológicas extremas pueden incrementar los riesgos a la salud.

2.3.5. Residuos poco peligrosos:

Estos contaminantes con base en sus propiedades intrínsecas presentan baja peligrosidad, pero en grandes volúmenes pueden afectar la zona donde se encuentren localizados. Ejemplo de estos son los lodos provenientes de la perforación de pozos petrolíferos y de gas, cenizas finas de los combustóleos quemados en plantas de energía, desechos de minas o escorias metalíferas.

2.3.6. Residuos diversos:

Dentro de este grupo se suman todos los demás contaminantes que no se incluyen en los anteriores. Se nombran residuos infecciosos con afección a tejidos humanos o animales, residuos de laboratorio y residuos explosivos de operaciones de manufactura o excedente de municiones.

La tabla 2.3 muestra de forma esquemática la relación entre estos grupos de contaminantes y las industrias que comúnmente los generan.

Los grupos industriales que se mencionan en este estudio se encuentran a manera de tabla en el siguiente párrafo:

2.4. GRUPOS INDUSTRIALES

A Agricultura, silvicultura y producción alimenticia.

- *Agricultura, manejo de bosques, pesca**
- *Productos animales y vegetales del sector alimenticio**
- *Industria de bebidas**
- *Manufactura de alimentos para animales**

B Extracción mineral (no hidrocarburos).

- *Minería y explotación de cantera de minerales no-metálicos**
- *Minería y explotación de canteras de minerales metálicos**

C Energía.

- *Industria del carbón, incluyendo extracción mineral, fábricas de gas y coque.**
- *Industria del petróleo y gas incluyendo extracción de aceite, gas y productos refinados**

D Manufactura de metales.

- *Metalurgia férrea**
- *Metalurgia no férrea**
- *Fundición y operaciones de explotación de metales**

E Manufactura de productos minerales no metálicos.

- *Materiales de construcción, cerámica y vidrio**
- *Refinamiento de sal**
- *Beneficio de asbestos**
- *Productos abrasivos**

F Industria química y afines.

- *Petroquímicas**
- *Producción de compuestos químicos primarios**
- *Producción de tintas, barnices, pinturas y pegamentos**
- *Fabricación de productos fotográficos**
- *Industria del perfume y fabricación de detergentes y jabones**
- *Hule terminado y materiales plásticos**
- *Producción de pólvora y explosivos**
- *Producción de biocidas**

G Beneficio de metales, industria automotriz y de ingeniería.

- *Ingeniería mecánica**
- *Manufactura de maquinaria y procesamiento de resultados del equipo**
- *Ingeniería eléctrica y electrónica**
- *Manufactura de vehículos automotrices y partes**
- *Manufactura de otro equipo de transporte**
- *Ingeniería de instrumentación**
- *Otras industrias de manufactura de beneficio de metales.**

H Industria textil, de piel y de madera.

***Industria textil, ropa y calzado**

***Industria de cuero y piel**

***Industria de madera y equipo mobiliario**

***Otras industrias de manufactura de materiales no metálicos**

J Manufactura de papel, imprenta y publicación.

***Papel e industria del cartón**

***Imprenta, publicación y laboratorios fotográficos**

K Servicios hospitalarios, sanitarios y de salud.

***Salud, hospitales, centros médicos y laboratorios**

***Servicios veterinarios**

L Servicios comerciales personales.

***Lavanderías, tintorerías, limpieza en seco**

***Servicios domésticos**

***Cosméticos, peluquerías**

***Otros servicios personales.**

3. CONTAMINACION DEL SUELO POR SUSTANCIAS TOXICAS

3.1. CAUSAS DE LA PRESENCIA DE SUSTANCIAS TOXICAS EN SUELOS

Las causas de la presencia de sustancias tóxicas en los suelos obedece a dos razones principales:

a) Disposición de materiales peligrosos hacia el suelo, desechados como resultado de un proceso industrial que en el momento no tuvo un tratamiento adecuado.

b) Derrames accidentales de compuestos químicos.

El método de disposición de desechos en un sitio específico era en el pasado una forma de desligarse de material peligroso, ya que representa un método económico y se pensaba seguro, se basa en el principio de la descomposición del material tóxico por microorganismos. Pero antes de disponer un material en un suelo determinado se deben considerar muchas características importantes que el suelo debe poseer para favorecer la degradación de ciertos materiales, las cuales se mencionan a continuación (Parr/Marsh, 1979):

Textura:

Este factor determina la capacidad de filtración y permeabilidad, capacidad de absorción de agua, aire y otros componentes. Un buen suelo debe contar con una porosidad media, ya que suelos poco porosos ocasionan una permeabilidad lenta, que no permite llegar los elementos necesarios. Y por el contrario una alta porosidad también es negativa porque son excesivamente drenables, no permitiendo que los nutrientes sean bien absorbidos, ya que se mueven muy rápidamente.

Densidad:

Medida del peso del suelo por unidad de volúmen, lo cual determina el tamaño de poro del suelo. Esta medida puede variar con el uso frecuente de maquinaria pesada para trabajar el suelo, o bien en caso de incorporar desechos compactos, la densidad tenderá a incrementarse. Si se adicionan desechos orgánicos, la densidad disminuye y por tanto se incrementa la filtración y permeabilidad.

Captación de agua:

La capacidad de captación de agua es proporcional a su densidad y textura. Suelos de textura fina o alta densidad no mantienen la adecuada humedad. El contenido de agua es determinante para la cantidad de oxígeno, potencial Redox y la actividad microbiológica. También como ya se mencionó, la adición de materia orgánica, incrementa el contenido de agua.

Otros factores que afectan las reacciones químicas que puedan ocurrir en suelos son:

-El tipo y cantidad de fracciones orgánicas e inorgánicas que interactuen.

-El pH del sistema.

-Las concentraciones relativas de macro y micro nutrientes.

-El potencial Redox.

Estos factores aunados al clima y población microbiológica determinan cuando un suelo es capaz de asimilar desechos industriales.

En el seno del suelo se llevan a cabo una gran cantidad de reacciones que involucran intercambios iónicos, principalmente catiónicos. Esto depende del pH presente, a un pH alto los iones H^{+1} localizados en arenas y material húmico se separan y pueden ser fácilmente reemplazados por otros cationes; estos cationes a su vez pueden ser sustituidos por otros. Entre los cationes más comunes que se encuentran en los suelos podemos nombrar Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{1+} , Na^{1+} , Al^{3+} y H^{1+} .

Existe una medida para esta capacidad de intercambio catiónico (Cation Exchange Capacity; CEC), que se refiere al total de cationes capaces de intercambiarse por unidad de masa o peso de suelo (meq/100 g suelo). Este valor varía dependiendo del tipo de suelo, por ejemplo en caolinitas es 1-10 meq/100 g; en illitas de 10-40 meq/100 g; en montmorillonitas de 80-100 meq/100g y en vermiculitas de 120 a 150 meq/100 g. Por lo general los suelos están formados por mezclas de estos tipos.

También existen intercambios aniónicos, aunque en menor grado que los catiónicos, y estos se gobiernan por mecanismos más complejos que simple atracción electrostática como en el caso de la mayoría del intercambio catiónico. Generalmente las partículas de tierras silíceas tienen una carga negativa, la cual repele aniones de minerales. Los aniones como Cl^{-} , NO_3^{-} y SO_4^{2-} se retienen comúnmente en los suelos por fuerzas electrostáticas de cargas positivas y se consideran como no absorbidas.

En los suelos también se encuentran reacciones de precipitación, adsorción y formación de complejos organometálicos. Los hidróxidos presentes pueden ser absorbidos por aniones como arsenato, molibdato y fosfato a través de un intercambio ligante.

La presencia de CO_2 en los suelos ocasiona que reaccione con algunos cationes para formar carbonatos solubles. De esta forma es que podemos encontrar grandes cantidades de carbonato de calcio en casi todos los suelos, ya que el calcio es uno de los cationes más abundantes en la naturaleza.

La mayoría de todas las reacciones químicas y biológicas en suelos involucran reacciones de óxido-reducción, las cuales transfieren electrones de un ión o molécula a otro. Generalmente el oxígeno en el aire recibe los electrones de la materia orgánica, funcionando como agente oxidante. El papel del suelo en estas reacciones al igual que el oxígeno, del aire, es el de proveer aceptores de electrones para la oxidación de materia orgánica y otros. Cuando la cantidad de oxígeno no es suficiente para efectuar la oxidación, se cuenta con otros agentes como nitratos, manganeso (IV) y (III), hierro (III) y azufre (VI) los cuales pueden funcionar como receptores de electrones.

Como se puede observar el conocimiento de un suelo en especial requiere examinar todos estos aspectos. Este análisis se requiere previo a la decisión de disponer algún material tóxico en él, tomando en cuenta el tipo y la cantidad de contaminante o contaminantes que se añadan.

Otros aspectos a considerar son las condiciones que rodean al sitio propuesto, entre las que se encuentran asentamientos humanos, corrientes de agua tanto superficiales como subterráneas, la vegetación y la fauna del lugar, etc.

Desgraciadamente se ha observado que esta práctica no fue bien dirigida a nivel mundial, creando grandes cementerios tóxicos, de elevadas concentraciones de contaminantes; algunos de los cuales, que aún, si se encontraran bajo un estricto control, no son factibles de degradarse por organismos. Se sobreestimó la capacidad de la naturaleza para eliminar muchos desechos, que actualmente alcanzan grandes concentraciones y que si no se toma una decisión rápidamente afectarán los alrededores.

Pero en realidad la causa más importante de que existan suelos contaminados, se debe a accidentes que no se controlaron en su momento. Derrames de solventes, hidrocarburos u otros que afectan grandes hectáreas y que no se han tratado adecuadamente.

Gran cantidad de contaminantes quedan retenidos en el suelo. Un suelo no saturado de agua, puede captar hasta un 30% de la capacidad de retención de agua, con hidrocarburos del petróleo

3.2. PRINCIPALES CONTAMINANTES LOCALIZADOS EN SUELOS

Los sitios de suelo contaminado alojan una gran variedad de contaminantes químicos peligrosos. Las concentraciones de estos contaminantes pueden variar desde algunas partes por billón de un solo elemento, hasta altas concentraciones de una mezcla de varias sustancias peligrosas. Se han hecho algunos estudios para determinar las sustancias contaminantes más comunes en la mayoría de los suelos contaminados. La tabla 3.1 muestra una lista de los contaminantes de más incidencia en sitios contaminados, estos contaminantes se obtuvieron de estudios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA), la cual ha determinado a 1035 sitios contaminados con desechos tóxicos.

Se puede observar en esta lista que muchos de los compuestos contaminantes son volátiles o corrosivos, lo que implica tener que trabajar con equipo especial, tanto de maquinaria como de protección personal, para poder tratar estas zonas.

Generalmente estos compuestos están mezclados con muchos otros, lo que hace más difícil su tratamiento, y en ocasiones pueden interactuar unos con otros. Antes de aplicar algún método de descontaminación del suelo es necesario hacer un análisis tanto cualitativo como cuantitativo para identificar estas sustancias y sus proporciones.

**PRINCIPALES CONTAMINANTES LOCALIZADOS
EN SUELOS CONTAMINADOS**

| Sustancia | Incidencia | Sustancia | Incidencia |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Tricloroetileno | 246 | Cobre | 74 |
| Plomo | 230 | Zinc | 71 |
| Cromo | 173 | Cloruro de vinilo | 68 |
| Bifenilo policlorado | 156 | Xileno | 67 |
| Metales pesados | 147 | Cloroformo | 65 |
| Tetracloroetileno | 138 | Fenoles | 64 |
| Benceno | 137 | Dicloroetano | 60 |
| Tolueno | 131 | Solventes | 57 |
| Orgánicos volátiles | 129 | Cianuros | 53 |
| Arsénico | 119 | Níquel | 46 |
| Cadmio | 100 | Dicloroetileno | 45 |
| Tricloroetano | 86 | Etil Benceno | 45 |

Tabla 3.1. Principales contaminantes localizados en suelos contaminados, según estudios de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), en 1035 suelos determinados como contaminados. Junio 1991.

También se han clasificado los desechos tóxicos en varias familias, dependiendo de su origen:

Textiles

Madera/vegetación

Vidrio

Desechos de construcción

Papel

Suelo

Metales

Líquidos

Plásticos

Asbestos

Gomas

Otros

4. METODOS DE DESCONTAMINACION DE SUELOS

En el pasado una de las únicas alternativas para deshacerse de desechos industriales incapaces de ser reciclados o tratados para inactivarlos y convertirlos en sustancias inócuas, era depositarlos en zonas determinadas para este efecto.

Afortunadamente se han ido desarrollando nuevas técnicas y procesos que permiten que esta solución que se creía la más acertada sea desplazada.

Ahora se ha visto en la necesidad de actuar sobre estas zonas que representan un gran peligro para todo tipo de vida.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (United States Environmental Protection Agency, EPA) determinó que 32,000 sitios de desechos industriales contienen material peligroso, de los cuales 838 deben ser atendidos urgentemente.

Inicialmente se optó por aislar estas zonas, mantenerlas lejos del paso de ríos subterráneos y superficiales, mediante desviaciones por trincheras, pero esto no fue una solución, al paso del tiempo las trincheras comienzan a degradarse y el problema sigue latente. También se intentó mezclar estas tierras con suelo estéril, lo cual fué contraproducente porque la extensión del problema se acrecentó. Se debían tomar medidas mas decisivas, con buenos resultados.

En los últimos 10 años se han hecho esfuerzos satisfactorios que han permitido descontaminar muchos de estos depósitos y regenerarlos para una mejor armonía ecológica. Algunas de las técnicas empleadas para este efecto se discuten a continuación.

Se clasifican las técnicas de descontaminación de suelos dentro de los siguientes grupos dependiendo del tipo de proceso:

-
- a) *Técnicas de inyección directa.*
 - b) *Técnicas de extracción por solventes.*
 - c) *Técnicas mediante microorganismos para biodegradación.*
 - d) *Otros.*

Es importante mencionar que dependiendo del tipo de contaminante o contaminantes que albergue el lugar se determina la técnica adecuada para tratarlo.

4.1. TECNICAS DE INYECCION DIRECTA

Esta novedosa técnica se fundamenta en el acarréo de sustancias volátiles alojadas en el suelo, mediante la inyección de fluidos gaseosos, entre los que se encuentran el aire y el vapor. Generalmente estos fluidos se introducen a una temperatura elevada para que los contaminantes evaporen y salgan a la superficie más fácilmente, acompañados del agente acarreador.

4.1.1. METODO "DETOXIFIER"

Uno de los equipos conocidos es el "detoxifier" de Toxic Treatments (USA) Inc., el cual es una unidad transportable. El equipo esta formado de dos componentes principales, la torre y el tren de proceso. La torre esta constituida por dos barrenadores de tallo largo, cada uno modificado con cortadores rotatorios de 5 ft. de diámetro, localizados en el extremo inferior del tallo, este equipo es capaz de operar a 27 ft. de profundidad. Cada barrenador está formado de dos tubos concéntricos, en el interior del primer tubo se conduce una corriente de vapor hacia los cortadores que se encuentran en contacto directo con el suelo contaminado. Esta corriente de vapor se provee de un calentador que trabaja a 450°F y 450 psig. El otro tubo inyecta aire caliente a una temperatura aproximada de 300°F y 250 psig también en dirección hacia los cortadores rotatorios. (SITE Technology Profile, 1990-I).

El vapor se bombea hasta el tope de los barrenadores y se inyecta a través de las hojas cortadoras. La corriente calienta la tierra, incrementando la presión de vapor de los contaminantes volátiles y por tanto aumenta la facilidad con que pueden ser liberados hacia la superficie. Tanto el vapor como el aire inyectado facilitan la salida de los contaminantes, funcionando como un medio de acarréo.

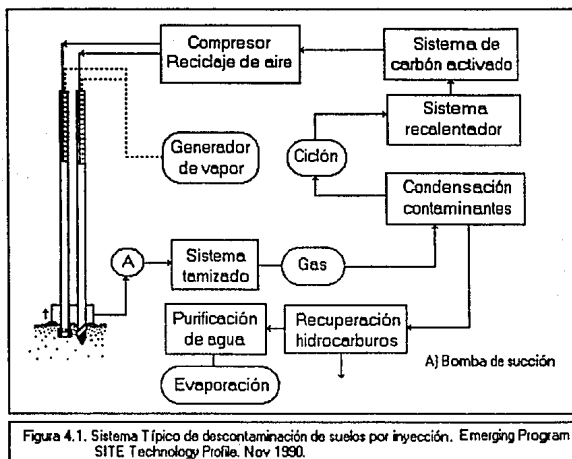
En el exterior se cuenta con una cubierta metálica, que cubre toda el área en proceso, captando los gases que salen a la superficie, impidiendo que se liberen a la atmósfera y la contaminen.

Los gases se recolectan en la cubierta y se conducen hacia el tren de proceso, el cual cumple la función de separar los contaminantes de la corriente de gases utilizada.

La primera etapa consiste en una condensación, liberando la corriente de aire de la mayoría de los contaminantes que se habían evaporado. Posteriormente, la corriente de aire se pasa a través de una serie de lechos de carbón activado para eliminar totalmente los contaminantes y se inyecta nuevamente al suelo para continuar un ciclo. La corriente líquida pasa a un destilador separando los contaminantes del agua; generalmente el agua recuperada se manda a una planta de tratamiento de aguas para una mayor purificación y los contaminantes recuperados del suelo se disponen dependiendo de su naturaleza a tratamientos de purificación o de estabilización.

Un sistema típico de descontaminación de suelos por inyección de fluidos, como el que se describe se muestra en la figura 4.1.

Esta tecnología es aplicable a contaminantes orgánicos como hidrocarburos y solventes con suficiente presión de vapor presentes en el suelo. Tampoco constituye una limitación el tipo de suelo por tamaño de partícula, porosidad inicial, concentración química o viscosidad.



Este proceso se aplicó en la Terminal Annex, San Pedro, CA., en donde se trataron doce hectáreas contaminadas con compuestos orgánicos volátiles (Volatile Organic Compound, VOCs) y compuestos orgánicos semivolátiles (Semivolatile Organic Compound, SVOCs) en septiembre de 1989. Los resultados fueron satisfactorios y después de varias muestras del área tratada antes, durante y después del proceso se determinó que más del 85 por ciento de los VOCs, y 55 por ciento de los SVOCs se separaron del suelo. También se comprobó que las emisiones de contaminantes hacia la atmósfera fueron muy bajas.

4.1.2. METODO COMBINADO: SUELO Y AGUA CONTAMINADOS.

Ahora bien este proceso puede presentar algunas variantes. Por lo general donde existe un problema de suelo contaminado, también hay problemas con agua del subsuelo afectada. Para tal caso se ha desarrollado un tratamiento similar al anterior, el cual combina dos tecnologías en una sola, estas son: (Hornsby/Helgerson, 1991).

- La extracción de contaminantes volátiles orgánicos (VOCs) del suelo por medio de vapor (Soil Vapor Extraction, SVE).

-Aqua Detox, desarrollada por Dow Chemical para la extracción de volátiles orgánicos (VOCs) del agua.

Los dos métodos aplicados simultáneamente, representan una reducción substancial en los costos de operación del sistema.

Independientemente cada uno de las tecnologías funcionan de la siguiente manera:

El SVE es un sistema de inyección de vapor y aire hacia el suelo, que facilita la migración de contaminantes orgánicos a la superficie. Este sistema aplica un vacío en la zona de extracción para inducir los flujos de aire en el suelo a través de las cavidades.

El gas se recolecta en la superficie y se conduce hacia lechos de carbón activado, las cuales eliminan los contaminantes de la corriente fluida. Alternativamente el gas purificado se vuelve a inyectar al suelo para la extracción de otros contaminantes.

El Aqua Detox es un proceso cuya función es remover compuestos volátiles y algunos otros de punto de ebullición superiores a los 200°C, del agua contaminada. Básicamente consiste en purgar un gas acarreador, como aire o vapor, a través del agua, transfiriendo los contaminantes volátiles a una fase gaseosa.

Esta técnica que se desarrolló principalmente durante los años 70's es capaz de remover efectivamente más de 90 de los 110 compuestos volátiles enunciados en el documento CFR40 de la EPA del 1 de julio de 1986 (ver tabla 4.1). Esta técnica es factible de aplicarse en un vacío, para la separación de contaminantes menos volátiles.

Recolectada la fase gaseosa se condensa obteniéndose un sistema líquido multifase, el cual puede ser decantado y separado, para que los contaminantes se puedan tratar o recuperar.

Ahora bien, como se mencionó anteriormente estos procesos actúan conjuntamente en sitios donde existe tanto contaminación de suelo como de agua. El sistema conjunto separa los orgánicos volátiles (VOCs) del agua y suelos, sin emisiones de gases peligrosos a la atmósfera. La figura 4.2 muestra de manera esquemática el sistema integrado.

Los vapores que llegan a la superficie se condensan en el separador líquido/gas (a), se separan y los gases se envían hacia los lechos granulados de carbón activado (b), donde se eliminan los contaminantes incondensables y el gas resultante se vuelve a inyectar al seno del suelo por medio de una bomba.

Los líquidos (corriente 2) se calientan en un intercambiador de calor (c) y entran en el domo de una columna de intercambio (9' de diámetro y 60' de alto) fluyendo hacia abajo de la torre. En el inferior de la torre se inyecta vapor trabajando a una presión de 100 mmHg abs, de esta manera los contaminantes pasan del líquido hacia la corriente de vapor y salen por la parte superior de la columna. El agua tratada (corriente 4) sale en la parte inferior de la torre y se enfría en el intercambiador de entrada, calentando así la corriente de alimentación a la columna.

PRINCIPALES CONTAMINANTES VOLATILES DETERMINADOS POR LA EPA

| | | |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Acroleina | BASES/NEUTROS | Naftaleno |
| Acrlonitrilo | Acenaplano | Nitrobenceno |
| Benceno | Acenapileno | N-nitrosodimetilamina |
| Bromoformo | Antraceno | N-nitrosodi-n-propilamina |
| Bromuro de metilo | Bencidina | N-nitrosodifenilamina |
| Clorobenceno | Benzo(a)antraceno | Fenantreno |
| Clorodibromometano | Benzo(a)pireno | Pireno |
| Cloroetano | Benzo(ghi)perileno | , 1, 2, 4, triclorobenceno |
| Cloroformo | Benzo(k)fluoroanteno | |
| Cloruro de metileno | bis(2cloroetil)eter | PESTICIDAS |
| Cloruro de metilo | bis(2cloroetilhexil)ftalato | , 4, 4'-DDD |
| Cloruro de vinilo | bis(2cloroetoxi)metano | , 4, 4'-DDE |
| Diclorobromometano | bis(2cloroisopropil)eter | , 4, 4'-DDT |
| Etilbenceno | butilbencil ftalato | Aldrin |
| Tetracloroetileno | Criseno | Alpha-BHC |
| Tetracloruro de carbono | Di-n-butil ftalato | Alpha-endosulfan |
| Tolueno | Di-n-octil ftalato | Beta-BHC |
| Tricloroetileno | Fluoreno | Beta-endosulfan |
| , 1, 1, 1, tricloroetano | Fluoroanteno | Clordano |
| , 1, 1, 2, 2, tetracloroetano | Hexaclorobenceno | Delta-BHC |
| , 1, 1, 2, tricloroetano | Hexaclorobutadieno | Dieldrin |
| , 1, 1, dicloroetano | Hexaclorociclopentadieno | Endrin aldehido |
| , 1, 1, dicloroetileno | Hexacloroetano | Haptachlor |
| , 1, 2, dicloroetano | Indeno(1, 2, 3, cd)pireno | Haptachlor epoxide |
| , 1, 2, dicloropropano | Isoplorona | PCB-1016 |
| , 1, 2, trans-dicloroetileno | , 1, 2, diclorobenceno | PCB-1221 |
| , 1, 3, dicloropropileno | , 1, 2, difenilhidrazina | PCB-1232 |
| , 2, Cloroetilvinil eter | , 1, 3, diclorobenceno | PCB-1242 |
| | , 1, 4, diclorobenceno | PCB-1248 |
| COMPUESTOS ACIDOS | , 2, 4, dinitrotolueno | PCB-1254 |
| Pentaclorofenol | , 2, 6, dinitrotolueno | PCB-1260 |
| p-cloro-m-cresol | , 2, cloronaphtaleno | Sultato de endosulfan |
| , 2, clorofenol | , 3, 3, diclorobencidina | Toxafeno |
| , 2, 4, dimetilfenol | , 3, 4, benzofluoroanteno | |
| , 2, 4, diclorofenol | , 4, bromofenil fenil eter | |
| , 2, 4, 6, triclorofenol | , 4, clorofenil fenil eter | |

Tabla 4.1 Componentes volátiles determinados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Lab. de Ingeniería de Reducción de riesgos, Cincinnati Ohio, Junio 1986

Es importante mencionar que el sistema opera con tres unidades de lechos de carbón activado granulado (Granulated activated carbon, GAC), de las cuales dos están conectadas en serie mientras la tercera es regenerada, a ésta se le pasa una corriente de vapor la cual lleva los contaminantes (corriente 3) hacia el condensador superior de la torre de intercambio para separarlos. Cada 8 horas se regenera uno de los lechos de carbón activado.

En este tipo de sistemas es muy importante la colocación de los equipos de extracción y de inyección, ya que de ellos depende el éxito de la operación. Un buen mecanismo de flujo neumático evitará que haya fugas hacia la atmósfera o que los gases se conduzcan hacia zonas fuera del alcance del tratamiento. Por tanto antes de introducir los cabezales se debe tener un análisis completo de la zona que se tratará.

Este proceso fue aplicado a fines de 1988 en un área contaminada por solventes en The Lockheed Aeronautical Systems Company (LASC) en Burbank, California. El sistema operó a 1000 gpm en el área de tratamiento de líquidos, y a 170 SCFM para el SVE. Los contaminantes tratados se describen en la tabla 4.2. Inicialmente la concentración de VOC en el agua ascendía a 12,000 ppb y en el suelo a 6,000 ppb. Al paso de unos meses disminuyeron hasta 3,500 ppb y 400 ppb respectivamente, habiéndose retirado miles de libras de VOCs.

Los análisis de efluentes demostraron que todos los contaminantes disminuyeron sus concentraciones por debajo de la detección analítica (1 ppb para la mayoría de los compuestos), esto es equivalente a decir que se tuvo una eficiencia del 99.99%.

Los gases del suelo que se inyectaban una vez más al interior del suelo, entraban con una concentración de 2 ppm, equivalente a una eficiencia del 99%.

Los costos generales de operación del proceso se describen en la tabla 4.3.

RESULTADOS LOGRADOS EN EL TRATAMIENTO EN LOCKHEED-BURBANK POR EL SISTEMA CONJUNTO DE DESCONTAMINACION DE SUELO Y AGUA DE LA REGION

SVE

| Contaminantes | Gas de extraccion | Gas de inyeccion |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| | conc. (ppb) | conc. (ppb) |
| Hydrocarburos en general | 450000 | 2000 |
| Tetracloroetileno | 420000 | 365 |
| Tricloroetileno | 8000 | 60 |

AQUADETOX

| Contaminantes | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------|------|-------|------|-----|
| | ppb | ppb | ppb | ppb |
| Tricloroetileno | 3300 | 2200 | 4.5 | <1 |
| Tolueno | 180 | <100 | 9.5 | <1 |
| Tetracloroetileno | 7650 | 11000 | 3.5 | <1 |
| trans-1,2,dicloroetileno | 19.5 | <100 | 15 | <1 |
| Cloroformo | 30 | <100 | N/A | <1 |
| ,1,1,dicloroetano | 18 | <100 | 5.5 | <1 |
| ,1,2dicloroetano | 4.5 | <100 | 0.8 | <1 |
| Tetracloruro de carbono | 7.5 | <100 | N/A | <1 |
| Benceno | 30 | <100 | 0.65 | <1 |
| ,1,1,2,tricloroetano | 34.5 | <100 | N/A | <1 |
| Etilbenceno | 255 | <100 | N/A | <1 |

- *1. Concentración de diseño del agua alimentada al sistema
- 2. Concentración despúes de varios meses de trabajo en la alimentación
- 3. Concentración de diseño para el agua tratada
- 4. Concentración en el efluente despúes de varios meses.

Tabla 4.2. Resultados obtenidos SVE - AQUA DETOX.

| COSTOS DE OPERACION DEL SISTEMA AQUADETOX/SVE EN LOCKHEED-BURBANK | | | |
|--|---|-------------|--------------------|
| | | COSTO ANUAL | COSTO POR 1000 GAL |
| Mano de obra | \$8,000/mes | \$96,000 | 0.18 |
| Vapor | 3,840 lb/hr * 8760 h * 0.92 * \$5.70/1000lb | 176,400 | 0.34 |
| Químicos | \$1,800/mes | 21,600 | 0.04 |
| Energía | 88 kW * 8,760 h * 0.92 * 0.07 \$/kWh | 50,400 | 0.10 |
| Otros | \$5,000/mes | 60,000 | 0.11 |
| \$ Valor en dólares Galones por año = 1000 gpm (60 mn/h) (8760 h/año) = 525 gal/año | | 404,400 | 0.77 |

Tabla 4.3. Costos de operación del sistema combinado Aquadetox/SVE en el sitio contaminado de Lockheed-Burbank. Robert G. Hornsby, PE AWD Tech. Inc./LASC.

4.1.3. SISTEMA CROW

Existen otras modificaciones a los métodos de inyección descritos, dependiendo principalmente de los tipos de contaminantes que se presenten o bien de las características físicas del suelo en que se trabaje. Así pues para un suelo altamente contaminado con compuestos oleosos del petróleo, se desarrolló el sistema de Recuperación de desperdicios aceitosos CROW (Contained Recovery of oil wastes), el cual utiliza corrientes de vapor y agua caliente para desplazar los volúmenes oleosos acumulados en el seno del suelo. Se inyecta una corriente de vapor por debajo de la zona contaminada, este vapor condensa y comienza a arrastrar partículas de contaminantes hacia niveles superiores, manteniendo a flote los líquidos orgánicos; los contaminantes se tratan de llevar a zonas más permeables. Por arriba de las zonas menos permeables se inyecta agua caliente para continuar el arrastre de los contaminantes y concentrarlos en un banco común para que se puedan extraer para su tratamiento. Un esquema general se muestra en la figura 4.3. (SITE Technology Profile, 1990-II).

En el mismo lugar en donde se aplicó el tratamiento descrito se lleva a cabo un tratamiento biológico, el cual continúa hasta que no se detecten determinadas concentraciones de contaminantes.

Al igual que los procesos anteriores es necesario conocer perfectamente bien las características del suelo en que se trabaja. El equipo necesario es muy sencillo, y muy similar al convencional para la producción de petróleo.

Mediante este método se pueden tratar contaminantes de los subproductos del petróleo, además de soluciones de pentaclorofenol y creosota entre otros.

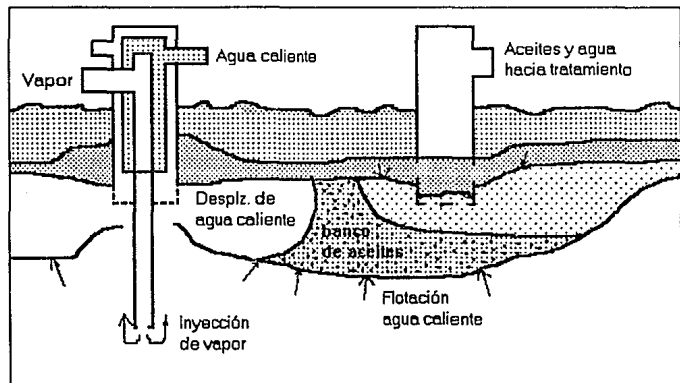
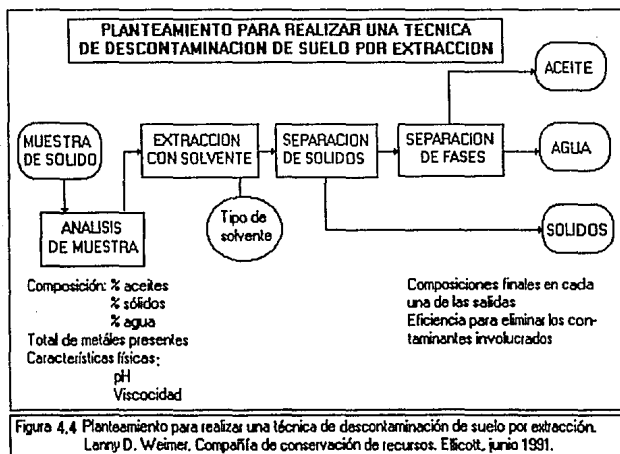


Figura 4.3. Esquema del Proceso Crow para descontaminación de suelos. SITE Tech. Profile. Western Research Institute. James Speight. Nov., 1990.

4.2. METODOS DE EXTRACCION

Este tipo de método de descontaminación de suelos está basado en la propiedad que tienen algunos contaminantes orgánicos de disolverse en presencia de un solvente, debido a la similitud de polaridades entre ambos.

El procedimiento y los fundamentos de esta técnica son sencillos; se requiere inicialmente conocer el tipo de contaminantes que se encuentran presentes en el suelo, para poder determinar el solvente de extracción más adecuado para el tratamiento. Se separan las fases formadas; en la fase líquida se encuentra el concentrado de contaminantes, mientras que la fase sólida queda libre de ellos. Posteriormente se procede a recuperar el solvente de extracción para poderse reutilizar.



Una forma genérica que describe el plan a seguir de este método de descontaminación de suelos se puede observar en la figura 4.4, la cual muestra los pasos comunes y las características que debemos considerar para llevar a cabo un buen resultado.

1.- Analizar la muestra de suelo contaminado, determinando sus composiciones, tipo de contaminantes, tipo de suelo, viscosidad, pH entre otros.

2.- Elegir el solvente de extracción adecuado, después de probar varias posibilidades.

3.- Llevar a cabo la extracción y la separación de la fase sólida y acuosa.

4.- Secar los sólidos y determinar la composición residual de contaminantes, solvente y agua.

5.- Separar la corriente acuosa en los componentes comunes: agua, contaminantes (aceites) y solvente (reciclado para volver a ser usado). A cada uno de estos componentes se determina su composición final.

A continuación se describen algunas de las técnicas actualmente utilizadas que se basan en este método.

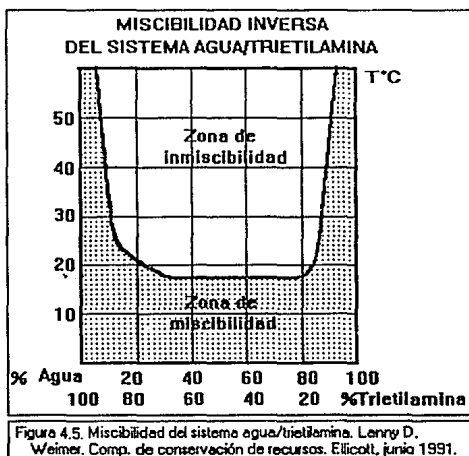
4.2.1. PROCESO B.E.S.T.

Una de las técnicas recientemente desarrolladas es el proceso B.E.S.T., por medio de la Compañía de Conservación de Recursos (Resources Conservation Company, RCC.). Este proceso es capaz de tratar suelos contaminados con orgánicos volátiles (VOC), hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs), bifenilos policlorados (PCBs) y plaguicidas. (Weimer, 1991).

El objetivo principal del proceso B.E.S.T. es separar desechos oleosos de suelos y sedimentos por medio de un solvente de extracción, formando una fase líquida que acepte a todos los contaminantes.

El proceso B.E.S.T. utiliza trietilamina como solvente de extracción. Este compuesto es una amina alifática que se produce comúnmente por la reacción de alcohol etílico y amoníaco.

La trietilamina presenta varias características y propiedades importantes que facilita su manejo como líquido de extracción; en principio este compuesto presenta la propiedad de miscibilidad inversa, a temperaturas abajo de 65°F es soluble en agua y a temperaturas mayores solo es parcialmente miscible con ella. La figura 4.5. muestra esta propiedad gráficamente.



Así pues, el proceso de descontaminación se puede llevar desde una etapa a temperatura cercana a la ambiente, incorporando simultáneamente aceites y acuosos. Se produce una sola fase de solución de extracción, la cual es una mezcla homogénea de trietilamina, agua y orgánicos (conteniendo los contaminantes).

Utilizando trietilamina el proceso puede manejar alimentaciones de suelos con alto contenido de agua, sin verse afectada la eficiencia de descontaminación.

La trietilamina exhibe otras características importantes que facilitan el trabajar con residuos peligrosos, algunas de las cuales son:

- Presenta alta presión de vapor, lo que facilita la recuperación del solvente y separarlo de los contaminantes por simple evaporación.

- Forma un azeótropo con el agua de bajo punto de ebullición, esto facilita eliminar los residuos de trietilamina de los extractos finales.

- Tiene un bajo calor de vaporización (1/7 del agua), lo que facilita separarlo de los sólidos tratados por simple calentamiento con poca administración de energía.

- La trietilamina presenta un pH alcalino, esto ayuda a transformar algunos de los metales pesados presentes en el suelo contaminado en hidróxidos, los cuales precipitan y salen del proceso junto con los sólidos tratados.

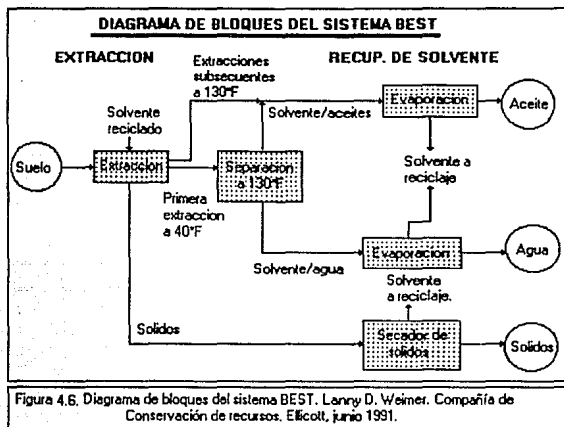
La trietilamina es moderadamente tóxica y es biodegradable. La EPA en el documento EPA-600/2-82-001 informa que 200 ppm de trietilamina en agua se degrada completamente en 11 horas por medio de bacterias aeróbicas comunes en suelos.

Todas estas características se muestran a manera de cuadro sinóptico en la tabla 4.4.

| CARACTERÍSTICAS DE TRIETILAMINA (C ₂ H ₅) ₃ N |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">* Miscibilidad inversa con agua* Calor de vaporización - 130 BTU/lb (BP -194°F)* Forma azéotropo con agua 90/10 (BP -170°F)* Nivel de detección en aire - 0.1 ppm* Biodegradación - 200 ppm en agua, 100% en 11 hrs.* Flameable* Alcalino, pH = 11 |
| Tabla 4.4. Principales características de la Trietilamina. Larry D. Weimer. Compañía de conservación de recursos. Elicolt, junio 1991. |

El concepto general del proceso se muestra en la figura 4.6. Se cuenta con un alimentador de suelo contaminado, generalmente son unidades transportables que manejan un pie cúbico de material, el cual se deposita en un sistema de extracción (lavador/secador).

Dentro de este sistema ocurren tres etapas de extracción. En la primera etapa se introduce trietilamina a una temperatura que permita solubilizarse con el agua, generalmente es a 40°F, se lleva a cabo el proceso de lavado, y se separa la mezcla líquida de los sólidos, la cual se calienta alrededor de 130°F donde se presenta la inmiscibilidad, pudiendo decantarla fase acuosa para purificarse por medio de simple evaporación.



Las otras dos etapas que ocurren en el sistema de extracción, se llevan a cabo a una temperatura de 130°F (con el mismo solvente), con el fin de recuperar los contaminantes que no fueron removidos en la etapa anterior. Se separan las mezclas líquidas del suelo tratado y se disponen a un sistema de recuperación, junto con la fase orgánica que se formó en la primera etapa de extracción. La trietilamina se recupera fácilmente por evaporación y los contaminantes orgánicos se disponen para su tratamiento o eliminación.

Los sólidos tratados se secan por medio de calentamiento directo e indirecto con vapor. El calentamiento directo es solamente el necesario para que se forme el azeótropo correspondiente con la trietilamina para facilitar su eliminación. La trietilamina que llegara a permanecer en el suelo tratado, que generalmente es alrededor de 150 ppm, se biodegradará por proceso natural. Los sólidos generalmente se regresan a su lugar de origen.

Es importante hacer mención a los siguientes aspectos:

- El uso de una sola unidad para extracción, lavado y secado de sólidos, reduce considerablemente la necesidad que hay de manejar y transportar el material, influyendo en los costos de proceso.

- El suelo antes de ser alimentado a la unidad de tratamiento, debe tamizarse, separando el material mayor a 1/2 pulgada. Este material se dispone en una unidad de tratamiento especial.

- Es importante notar que la separación de los elementos de la fase líquida se lleva a cabo con mínimo requerimiento de energía. El agua se separa cuando se llega al punto de la inmiscibilidad, sin ser necesario que se evapore completamente. Solamente en caso de que entre los contaminantes presentes se encuentren detergentes, surfactantes o aceites sintéticos, será necesaria una destilación para recuperar el agua.

- El proceso B.E.S.T. opera cerca de la presión atmosférica y en un medio medianamente alcalino. Las temperaturas de las corrientes oscilan entre los 40 y 170°F, sin que se requieran altas presiones.

- Una planta de este tipo puede operar las 24 horas del día, manejando diariamente alrededor de 70 toneladas.

Un diagrama más específico del proceso se observa en la figura 4.7.

Este tratamiento de extracción ha demostrado ser muy efectivo en el tratamiento de suelos contaminados por policloruros de bifenilo (PCB), tanto en escala piloto como en industrial. Esto se observa en la tabla 4.5, la cual muestra datos de tres muestras tratadas por este método

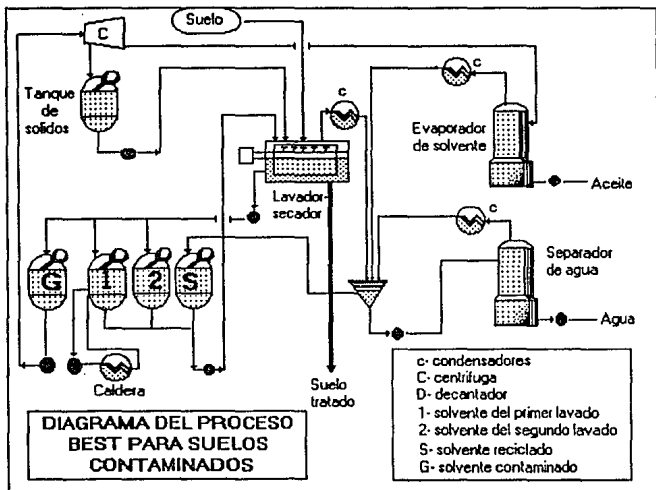


Figura 4.7. Diagrama del proceso BEST para descontaminación de suelos. Lanny D. Weimer. Compañía de Conservación de recursos. Elicott, junio 1991.

Se trataron aproximadamente 1,000 libras de suelo contaminado con PCB a niveles de 130 ppm, resultando un estándar de limpieza menor a 10 ppm, llegando hasta 2 ppm. En el agua tratada se detectaron niveles de este contaminante menores a 20 ppb.

El solvente residual que se detectó en los sólidos tratados es del orden de 130 ppm, el cual como ya se mencionó se eliminará por degradación de bacterias. En el agua se presentó menos de 10 ppm de solvente. El solvente total recuperado es del orden de 99.99%.

**DATOS DE ELIMINACION DE PCB POR EL
PROCESO BEST EN SUELOS CONTAMINADOS**

| MUESTRA | PCB EN ENTRADA MG/KG | PCB EN SALIDA MG/KG | EFICIENCIA |
|---------|-------------------------|------------------------|------------|
| 1 | 2000 | 1.5 | 99.99 |
| 2 | 550 | 0.77 | 99.99 |
| 3 | 510 | 1.2 | 99.98 |

Tabla 4.5. Datos de eliminación de PCB por el proceso BEST en suelo contaminado
Larry D. Weimer. Compañía de conservación de recursos. Junio, 1991.

4.2.2. PROCESO CONTEX

Otra técnica de descontaminación de suelos por extracción con solvente se desarrolló en la compañía Phonix Miljo. Durante tres años se hicieron investigaciones que terminaron en un proceso de extracción continuo, el sistema CONTEX. Este sistema está diseñado como planta semi-móvil, para operarse en el sitio contaminado. (Steen Vedby, 1991).

El sistema CONTEX puede tratar suelos contaminados con cualquier sustancia orgánica, y también algunas formas de metales pesados. La extracción se lleva a cabo en un circuito cerrado, el cual incluye la completa regeneración del líquido extractor.

El sistema puede tratar 10 toneladas de suelo contaminado por hora. El proceso de limpieza es muy sencillo, consistiendo en una extracción líquida y en una evaporación subsecuente, formando un ciclo. Esto se muestra gráficamente en la figura 4.8.

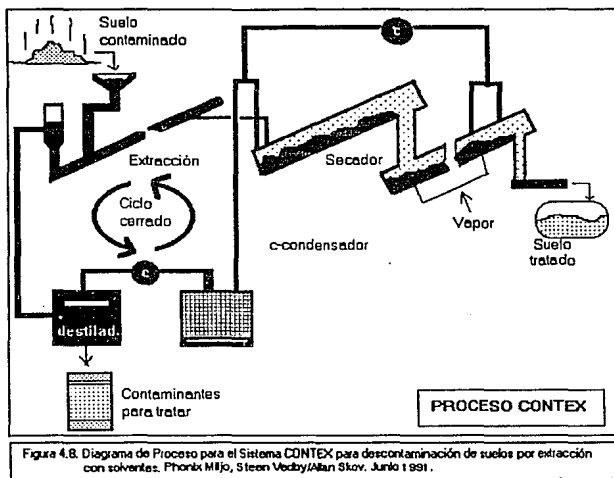


Figura 4.8. Diagrama de Proceso para el Sistema CONTEX para descontaminación de suelos por extracción con solventes. Phonix MIJO, Steen Vedby/Alan Skov. Junio 1991.

1.- El suelo contaminado se tamiza (tamaño de 5 a 8 cm) y se transporta por bandas a lo alto de la unidad de extracción.

2.- En la unidad de extracción se incorpora al suelo contaminado el solvente de extracción (diclorometano), el cual fluye a través de éste, disolviendo y separando los contaminantes en un proceso de extracción común.

El proceso de extracción se adapta para cada caso específico, de manera que el contaminante sea totalmente removido, esto se logra por ajustes en la relación de alimentación de suelo y de solvente.

3.- El líquido de extracción se drena por gravitación, separándolo del suelo lavado.

4.- Terminando la operación se elimina completamente el líquido de extracción del suelo por calentamiento con una corriente de vapor inyectada a través del suelo, a una temperatura aproximada de 212°F/100°C. El vapor se genera en una unidad vaporizadora independiente.

5.- El líquido de extracción contaminado entra a una unidad de destilación, donde se separa del resto de la corriente. Se condensa y almacena para poderse reutilizar.

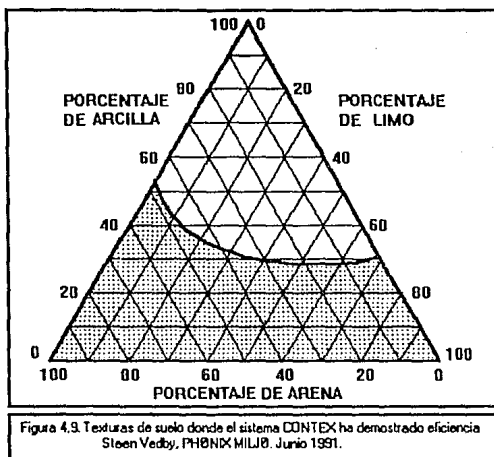
6.- Los contaminantes se separan en la destilación, en forma de emulsión, la cual se dispone para tratarse en plantas autorizadas, para su recuperación o destrucción.

El proceso CONTEX fué diseñado en un principio para tratar suelos arenosos o con arcillas pesadas. Sin embargo el uso de transportadores de tornillo, hace posible tratar material no-homogéneo, así como suelos que contengan grava y piedras, suelos orgánicos, todos, etc.

Algunas pruebas han demostrado el éxito del sistema para tipos distintos de suelo. La figura 4.9. muestra en un diagrama triangular diferentes texturas de suelo en donde el sistema CONTEX se ha aplicado con buenos resultados

Los fragmentos de suelo mayores a 10 cm se tratan en un contenedor separado, en un sistema no continuo, con el mismo principio de extracción.

El diclorometano tiene un punto de ebullición de 40°C y una densidad a 20°C de 1.336. Este compuesto es efectivo contra la mayoría de los contaminantes orgánicos como aceites, gasolinas, solventes, breas, fenóles, pesticidas, bifenilos policlorados (PCBs), etc.



La tabla 4.6 muestra los resultados que se han obtenido al aplicar el sistema CONTEX a varios suelos contaminados. Se indican los contenidos máximos de contaminantes antes y después de la descontaminación para algunos compuestos.

Todos estos resultados se obtuvieron por laboratorios independientes, utilizando cromatografía de gases.

La capacidad del sistema para tratar suelo contaminado, puede variar de 10 a 20 toneladas por hora, dependiendo de la textura del suelo, el contenido de agua, el tipo de contaminante o contaminantes, las concentraciones de estos en un inicio y al final de la operación, etc.

En general, la capacidad del sistema es mayor cuando se tratan suelos secos y arenosos, con componentes volátiles; y aumenta cuando se presentan suelos mojados, pesados y con contaminantes no volátiles.

La única corriente de desecho del sistema la forman los contaminantes emulsificados con algo de agua, los cuales se disponen a plantas de tratamiento especializado para su recuperación o destrucción. En caso de que esta corriente tenga un alto contenido de agua, se separa la fase acuosa y se destina a una planta de tratamiento de agua.

El suelo tratado por lo general no se ve afectado por este tratamiento de descontaminación, así pues se puede utilizar como relleno de zonas excavadas.

| RESULTADOS DEL SISTEMA CONTEX | | |
|---|---------------------|-----------------------|
| VALORES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES DETERMINADOS EN SUELOS CONTAMINADOS | | |
| | ANTES ppm | DESPUES ppm |
| BREA | 270000 | <30 |
| COMBUSTIBLES | | |
| -GASOLINA | 15000 | <10 |
| -DIESEL | 22000 | <10 |
| -ACEITES | 30000 | <30 |
| SOLVENTE CLORADO | 3600 | <1 |
| COMPUESTOS BTX | 5000 | <1.5 |
| NAFTALENO | 5300 | <1.5 |
| FENANTRENO | 23000 | <1 |

Tabla 4.6. Valores máximos para algunos contaminantes presentes en suelos contaminados, antes y después del tratamiento.

El costo de operación del sistema es competitivo con el de otras tecnologías pero varía dependiendo del tipo de suelo y de los contaminantes que albergue. El precio por tonelada tratada de suelo contaminado varía de 100 a 1000 dólares.

Este sistema ha dado muy buenos resultados en países como Dinamarca, Alemania y Noruega, cubriendo los requerimientos que operan en ellos.

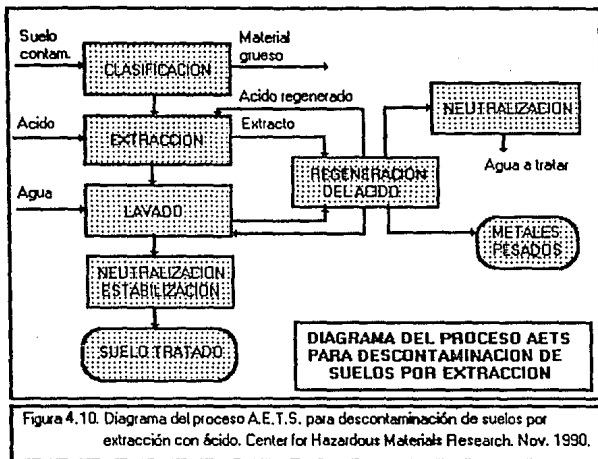
4.2.3. OTROS PROCESOS DE EXTRACCION.

Otros sistemas de extracción interesantes son:

El proceso de extracción con solvente de baja energía, LEEP (Low Energy Solvent Extraction Process), que utiliza un solvente semejante a la trietilamina del proceso BEST, que presenta características de miscibilidad e inmiscibilidad con el agua. (SITE Technology Profile, 1990-III).

El proceso de tratamiento por extracción ácida (Acid Extraction Treatment System, A.E.T.S.), utiliza ácido clorhídrico concentrado como medio de extracción de contaminantes del suelo. El sistema opera a un pH de 2, mezclado con agua y con partículas menores a 4 mm. Principalmente se usa para remover metales pesados. La figura 4.10 muestra esquemáticamente los pasos de este sistema. (SITE Technology Profile, 1990-IV).

El proceso Extraksol es otra tecnología de extracción móvil, que utiliza solventes orgánicos no clorados como líquido de extracción. Este sistema puede remover policloruros de bifenilo (PCBs), pentaclorofenol (PCP), hidrocarburos aromáticos policíclicos (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH), plaguicidas, aceites e hidrocarburos. Los sólidos tratados se secan con gas inerte caliente. El sistema se muestra en la figura 4.11. (SITE Technology Profile, 1990-V).



Otros sistemas utilizan solventes gaseosos licuados como medio de extracción de sustancias orgánicas, aceites y grasas en suelos y agua. Se utiliza propano y/o butano para el caso de suelos contaminados, éste se introduce a presión a un extractor donde se localiza el suelo y una vez realizada la extracción se desplaza el fluido con los contaminantes a través de una válvula. Posteriormente se regenera el gas y se reutiliza. Generalmente para tratar suelos se requieren varias etapas de este proceso. Una unidad de proceso se representa en la figura 4.12. (SITE Technology Profile, 1990-VI).

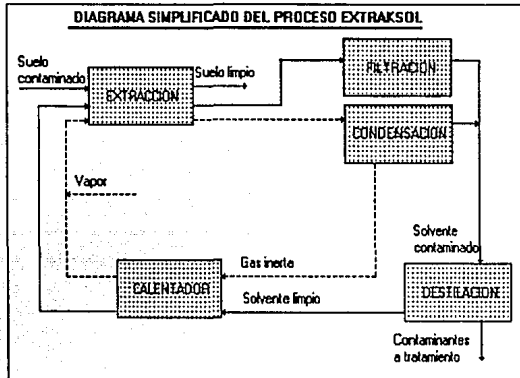


Figura 4.11. Diagrama simplificado del proceso EXTRAQSOL. Sarivan Group, noviembre 1990.

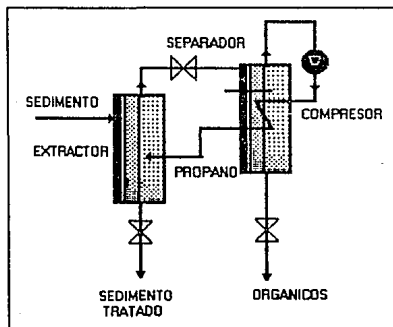


Figura 4.12. Diagrama de proceso de extracción unitaria por solvente gaseoso licuado. CF Systems Corporation, Noviembre 1990.

4.2.4. SISTEMA EXCALIBUR.

El siguiente método de descontaminación de suelos, (Sistema Excalibur) puede clasificarse dentro de los métodos de extracción, aunque utiliza una serie de recursos que anteriormente no se habían considerado.

El sistema Excalibur es una tecnología desarrollada para tratar suelos contaminados con contaminantes orgánicos e inorgánicos. El proceso presenta dos etapas: la primera extrae los contaminantes depositados en el suelo, y la segunda los oxida. La extracción se efectúa con agua ultrapura y ultrasonido. La oxidación involucra ozono, luz ultravioleta y ultrasonido. Los productos finales de este proceso son suelo descontaminado y sales inertes. (SITE Technology Profile, 1990-VII).

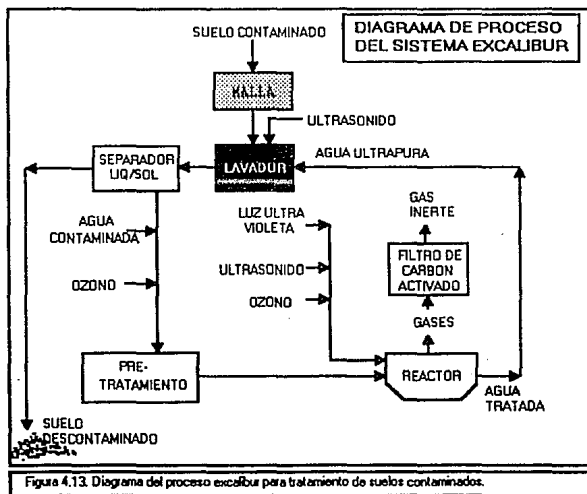


Figura 4.13. Diagrama del proceso excalibur para tratamiento de suelos contaminados.

Se muestra un diagrama esquemático del proceso en la figura 4.13. Después de la excavación, el suelo contaminado se pasa por una malla de 1 pulgada de abertura. El resto del material se divide en partículas menores y se une al anterior. Se pasa el suelo a el lavador, donde el agua ultrapura extrae los contaminantes presentes. El ultrasonido actúa como un catalizador para agilizar el lavado. Comúnmente el agua se agrega en una relación de 10 a 1 con respecto al suelo. Se separa la fase acuosa de la sólida por medio de un ciclón, quedando el suelo libre de impurezas y capaz de regresarse a su lugar de origen.

La corriente líquida contaminada generalmente está formada por dos fases, una orgánica y otra acuosa, se separan ambas por decantación. La fase acuosa se somete a contacto con ozono en un reactor y pasa por filtros para remover partículas finas, posteriormente entra a otros filtros de carbón activado y se desioniza.

En el reactor donde se lleva a cabo la oxidación de los contaminantes se adiciona el ozono gaseoso acompañado de rayos ultravioleta y de ultrasonido como catalizadores para acelerar el proceso. El agua tratada queda lista para poder reutilizarse en otro lote de suelo contaminado.

El sistema también está equipado con trampas de carbón activado para prevenir emisiones a la atmósfera de gases contaminantes.

El proceso Excalibur tiene un rango de capacidad de un pie cúbico por hora de suelo contaminado, con un flujo de agua de un galón por minuto a 27 yardas cúbicas por hora de suelo contaminado, con un flujo de agua de 50 galones por minuto.

Esta tecnología puede ser aplicada a suelos contaminados con orgánicos como policloruros de bifenilo (PCB), pentaclorofenol (PCP), plaguicidas y herbicidas, dioxinas e inorgánicos. También cubre ámbitos de concentración de contaminantes de 1 ppm a 20,000 ppm.

4.2.5. SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO

La contaminación de suelo por plomo es de alto riesgo para la salud de los seres humanos, principalmente en zonas urbanas. Muchos estudios han relacionado la cantidad de plomo en el suelo, con los niveles de plomo en la sangre (Fairey y Gray, 1970; Neri et al., 1978; y Rabinowitz con Bellinger, 1988).

En zonas urbanas, la contaminación de plomo proviene de varias fuentes, entre las que se incluyen la pintura con plomo, baterías de plomo y componentes de automóviles. Olson y Skogerbee (1975), determinaron los principales compuestos de plomo que se encuentran en los suelos, la mayoría de ellos provienen de automóviles; sulfato de plomo, óxido de plomo, dióxido de plomo y plomo metálico.

Los compuestos de plomo derivados de las baterías son el sulfato de plomo, plomo metálico y dióxido de plomo. De las pinturas de plomo se generan sulfato de plomo, tetraóxido de plomo y plomo blanco. De entre todos estos el más común es el sulfato de plomo.

Actualmente el Laboratorio de Ingeniería de Reducción de Riesgos, de Edison, New Jersey, desarrolla una serie de técnicas que permitan solubilizar las especies de plomo localizadas en suelos por agentes apropiados, y posteriormente precipitarlos como sulfato de plomo. (UC,EPA, 1992-III)

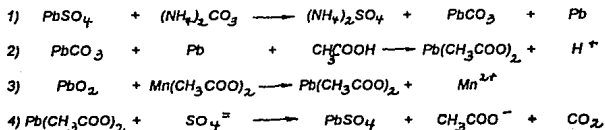
Inicialmente se utilizó ácido nítrico para disolver el plomo metálico, pero de acuerdo con razones ambientales se utiliza ácido acético en presencia de oxígeno. La justificación teórica para esta decisión, es el favorable potencial REDOX que tiene la reacción entre el plomo metálico, ácido acético y oxígeno gaseoso.

En una primera etapa una mezcla de agua con suelo contaminado con plomo se somete con carbonato de amonio, con el propósito de convertir el sulfato de plomo a carbonato. Después de una filtración, el suelo contaminado actúa con gas oxígeno en un medio de ácido acético. En esta etapa el plomo metálico y el carbonato de plomo se solubilizan como acetato de plomo. El suelo se vuelve a filtrar y reacciona con acetato de manganeso, con el propósito de convertir el dióxido de plomo en acetato de plomo soluble, dejando subproductos insolubles de manganeso. Las corrientes de filtrado se combinan para precipitar sulfato de plomo.

Los resultados obtenidos con esta técnica, en un suelo contaminado con 5000 mg de plomo/kg, muestran que aproximadamente el 82% del plomo contaminante de los suelos se recupera. En la primera etapa, la de carbonatación, solamente el 0.7% del plomo se solubiliza. En el paso de oxidación se recupera el 67.3%. La etapa final donde se agrega el acetato de manganeso remueve un 14.2% del plomo total.

Todavía se trata de optimizar esta técnica para recuperar la mayor cantidad de plomo posible.

REACCIONES INVOLUCRADAS EN LA TÉCNICA DESCRITA PARA LIMPIEZA DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO



4.3. METODOS BIOLOGICOS

"Los microorganismos son muy inferiores en energía individual a los leones y elefantes, pero en su unión son mucho más importantes que todos los demás animales". (Ehrenburg, 1862)

Otro de los métodos utilizados en la descontaminación de suelos emplea microorganismos como purificadores y recicladores naturales. Existen algunas técnicas que se han desarrollado para la utilización y aceleración del proceso de degradación biológica natural. En la mayoría de los casos se modifica el ambiente en donde actúa el microorganismo, propiciando un habitat adecuado para la mejor adaptabilidad y función de éste. También se han analizado posibilidades de cambiar al organismo, alterándolo para descomponer y eliminar algún contaminante específico.

Algunos tipos de microorganismos se utilizan para eliminar contaminantes orgánicos depositados en la superficie de los suelos (aproximadamente profundidades no mayores a 1 metro). La mayoría de los contaminantes orgánicos son biodegradables, sin embargo se presentan algunas dificultades que se requieren solucionar para poder utilizar este método. La principal de estas dificultades se debe a la escasez de oxígeno en los suelos, principalmente en suelos finos y con baja permeabilidad, este elemento es esencial para el buen desempeño microbiológico. (UC, EPA, 1992)

Para resolver este problema se han implementado algunas técnicas, como es perforar la zona con cavidades por las cuales se circula oxígeno o peróxido de hidrógeno, esto requiere que el gas se mueva varios metros para poder llegar a toda la zona contaminada, por lo que se considera un proceso lento e ineficiente.

Debido a esto se han desarrollado otras alternativas, como la de crear capas permeables en el suelo afectado, a las que se les ha denominado fracturas hidráulicas (Hydraulic fracturing, HF), ver figura 4.14. Estas fracturas pueden llenarse con arena para producir canales que lleven oxígeno y nutrientes a las zonas contaminadas. De esta forma el oxígeno y los posibles nutrientes que se requieran, solo deben moverse unos cuantos centímetros y no varios metros como en el caso del otro método. (UC, EPA, 1992-II)

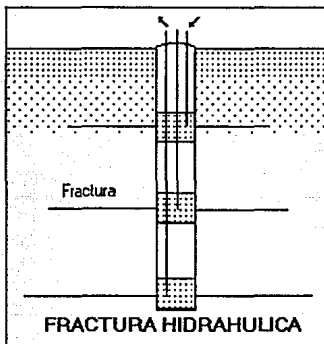


Figura 4.14. Esquema de una Fractura para introducir o recuperar sustancias al suelo
USEPA. Center Hill Rd., Cincinnati.

Antes de determinar la localización de las fracturas es necesario conocer perfectamente el sitio donde se encuentran los contaminantes, luego entonces se procede a diseñar la distribución, ángulo y profundidad necesarias de las capas permeables.

Este método se aplicó en un sitio contaminado con hidrocarburos en Dayton, Ohio; después de estudiar la zona, se determinó que se requerían cuatro fracturas hidráulicas. El arreglo utilizado se muestra en la figura 4.15.

Otros factores importantes para el mejor desempeño microbiológico son la temperatura y el pH, actualmente se hacen pruebas para determinar un ámbito específico en el cual la degradación alcance su máximo desarrollo.

CORTE TRANSVERSAL DE FRACTURAS HIDRAHULICAS

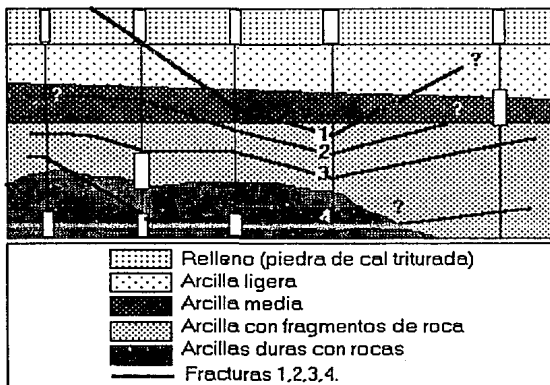


Figura 4.15. Fracturas hidráulicas diseñadas para un sitio contaminado en Dayton, Ohio. Stephen Vesper, Dept. Civil Eng. 1992.

También se han hecho estudios con microorganismos capaces de desactivar metales pesados como el plomo, el cual es un problema de los más graves de contaminación sobre todo en suelos urbanos. Se han detectado niveles altos de este elemento en la sangre de los niños, y se asocia a una mayor factibilidad de problemas de deficiencia mental.

Otro uso importante que se da a las bacterias es en la formación de compostas, para reducir el volumen de desechos sólidos municipales, que necesitan enterrarse.

4.4. ESTABILIZACION DE SUELO CONTAMINADO POR SILICATOS

A continuación se describe un método que aunque no libra al suelo de los contaminantes presentes, los inactiva en una masa no reactiva, no peligrosa, que puede manejarse sin ningún riesgo.

La tecnología de inmovilización (solidificación/estabilización) de sustancias peligrosas se reconoce actualmente como un buen método para inactivar contaminantes metálicos y otros inorgánicos de sitios contaminados. Sin embargo este método no es tan efectivo con desechos de sustancias orgánicas, ya que no reducen la toxicidad (movilidad) de este tipo de componentes. En Estados Unidos la Agencia de Protección Ambiental (EPA) determina que para poder llevar a cabo un método de estabilización debe demostrar que significará una reducción de toxicidad considerable (de un 90 a 99%) esta práctica deberá estabilizar químicamente el desecho, lo que debe limitar su solubilidad o movilidad.

Durante los últimos 10 años, se han desarrollado varios tipos innovadores de tecnologías de estabilización. El propósito principal de todas ellas es reducir significativamente la concentración de componentes orgánicos e inorgánicos contaminantes, incluyendo los más difíciles de inactivar como arsénico, cromo hexavalente, hidrocianuros, etc. Estas tecnologías han utilizado agentes modificadores de superficie, surfactantes y otros agentes (como silicatos), para estabilizar contaminantes, en conjunción con solidificación.

Una técnica de inmovilización desarrollada por la Corporación Tecnológica de Silicatos (Silicate Technology Corporation, STC) se mostró recientemente en la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en el programa de Evaluación de Tecnología Innovadora (SITE) en un lugar contaminado en Selma California. Este sitio estaba contaminado con compuestos inorgánicos y orgánicos procedentes de sustancias para tratar madera.

Esta técnica de inmovilización utiliza principalmente compuestos de amino-silicatos para estabilizar contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos en suelos. De acuerdo con el STC, los compuestos orgánicos se estabilizan a través de una reacción de partición con la superficie orgánica modificada de los amino-silicatos. Los inorgánicos se estabilizan por incorporación a la estructura cristalina de los amino-silicatos.

El sitio localizado en Selma California, contiene aproximadamente 18,000 yardas cúbicas de suelo que se contaminaron durante operaciones de tratamiento de madera que se llevaron a cabo hace algunos años. Las soluciones de desecho de preservativos de madera que contienen pentaclorofenol (PCP) o cromato-cobre-arseniato (CCA) se disponían en líneas de drenaje que contaminaban la zona. El suelo contaminado contiene altas concentraciones de PCP (alrededor de 10,000 ppm) y arsénico (2,700 ppm), también en menor grado cromo (2,200 ppm) y cobre (1,300 ppm), al igual que aceites y grasa (alrededor de 20,000 ppm). Debido a las altas cantidades de PCP y arsénico el sitio de Selma fué escogido para probar el método de inmovilización de la STC.

Durante la demostración se trataron aproximadamente 16 ton de suelo contaminado, se agregaron los compuestos de amino-silicato, inmovilizando metales pesados y semivolátiles orgánicos. También se adicionaron agentes solidificantes de silicio que microencapsularon los contaminantes absorbidos, produciendo una barrera física adicional.

Los resultados indicaron lo siguiente. La movilidad del PCP, se redujo de un 89 a un 99 %, para el arsénico de un 71 a un 92%, lo que confirma la eficiencia de esta técnica.

4.5. RESUMEN DE OPCIONES PARA DESCONTAMINACION DE SUELOS

La tabla 4.7., presenta en forma condensada las diversas opciones que se tienen actualmente para eliminar o estabilizar los contaminantes presentes en los suelos. (Testa/Winegardner, 1991).

Los procesos considerados se han respaldado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, dentro de sus diferentes programas en los últimos años.

En la tabla 4.7. se puede observar que el proceso más costoso es el de la excavación y transportación de materiales peligrosos hacia un confinamiento contratado (\$300 dls/yd³), además de contar con el inconveniente de tener que localizar el sitio adecuado.

La inyección de vapor y vaporización, resulta un proceso menos costoso que el anterior (\$100-200 dls/yd³), pero su aplicación se reduce a suelos porosos que contengan contaminantes volátiles. Existe en esta opción la ventaja de recuperar los gases. La instalación del sistema de inyección representa una dificultad en algunos terrenos.

La incorporación de asfaltos es una opción para suelos que contienen hidrocarburos no volátiles. Este proceso resulta caro (\$270 dls/yd³), requiere de la excavación y la transportación del asfalto.

La biodegradación o degradación biológica, que se aplica a suelos porosos requiere de frecuente monitoreo del suelo. El costo de este proceso es medio (\$75 dls/yd³), pero va a necesitar de un complejo sistema para inyección de nutrientes, de microorganismos y agua.

El material poco peligroso o no peligroso, que se haya colocado sobre el suelo, se puede disponer en áreas pequeñas de sitios localizados adecuadamente, es decir, que no representan un riesgo para el ambiente y la salud humana. El área en donde se realiza la excavación una vez depositado el material se debe rellenar con suelo limpio. El costo de esta operación es cinco veces más bajo que cuando se trata de un material peligroso (\$60 dis/yard³).

La opción de excavar y aerear, requiere también adicionar nutrientes y agua. La compactación del suelo es necesaria dentro de este proceso. Debido a que pueden existir emisiones a la atmósfera, se debe contar con un equipo de captación de gases en el exterior. El costo de estas operaciones resulta en comparación a los demás relativamente bajo (\$50 dis/yard³).

La extracción por vacío se aplica a suelos porosos y contaminantes volátiles, en este caso se requiere de la instalación de un sistema de venteo. El costo es el más bajo de los que se presentan en la tabla 4.7.

El "lavado de los suelos" mediante una extracción, seguida de una separación y un tratamiento del material extraído, resultará con un costo alto, ya que estará en función del solvente que se utilice para la operación, así como de las sustancias químicas que se empleen para la estabilización del extracto.

La última alternativa que se presenta en la tabla 4.7., es la de excavar, aerar y disponer el material peligroso en un lugar seguro cuidando las emisiones a la atmósfera. No se presentan costos ni a que tipo de suelo y contaminantes se aplica.

OPCIONES PARA DESCONTAMINACION DE SUELOS

| OPCION | PROCESO | COSTO | OBSERVACION |
|---|--|---------------|--|
| Excavación y disposición como material peligroso | Excavar y transportar a un confinamiento controlado para material peligroso. | \$300/yd3 | Alto costo Localizar sitio adecuado |
| Excavación y disposición como material no peligroso | Excavar y disponer en sitio para mat. poco peligroso. Rellenar con suelo limpio. | \$ 60/yd3 | Localizar sitio adecuado. Solo para pequeñas áreas. |
| Excavación, aireación y disposición. | Excavar, extender y aerear el suelo Disponerlo en lugar seguro | | Cuidar emisiones a la atmósfera |
| Excavación, aireación adicional nutrientes. | Excavar, extender, aerear y agregar nutrientes y agua; compactar. | \$ 50/yd3 | Cuidar emisiones a la atmósfera |
| Extracción por vacío | Estudio del suelo y contaminantes, instalar sistema de ventéo. | \$20-50/yd3 | Para suelos porosos y contaminantes volátiles. |
| Biodegradación o degradación biológica | Estudio del suelo y contaminantes, instalar sistema de inyección de nutrientes, microorganismos, agua... | \$ 75/yd3 | Suelos porosos. Constante monitoreo del suelo. |
| Inyección de vapor y evaporación | Estudio del suelo y contaminantes, instalar sistema de inyección de vapor y de recuperación de gases. | \$100-200/yd3 | Suelos porosos y contaminantes volátiles. Alto costo |
| Incorporar asfaltos | Excavar y transportar | \$125/ton | Opción para hidrocarburos no volátiles. |
| Lavado de suelos (Extracción) | Excavar, mezclar con fluido de extracción, separar y tratar el extracto obtenido. | | Obtener el fluido adecuado para el contaminante principal. Alto costo |

Tabla 4.7 Opciones para tratar suelos contaminados. Restoration of petroleum contaminated aquifers, Stephen M. Testa. Duane L. Winegardner. Michigan 1991.

5. SITUACION EN MEXICO

5.1. POSIBLES AREAS DE SUELO CONTAMINADO

En la República Mexicana, hasta nuestros días no se ha estudiado ninguna de estas posibilidades para el tratamiento de áreas de suelo contaminado con diferentes productos. Desgraciadamente hasta hace algunos años no se había considerado de primordial importancia el restablecer zonas afectadas por contaminantes y en particular las tierras contaminadas.

Los programas de rehabilitación de los ecosistemas con problemas de contaminación se dirigen principalmente a ríos, lagunas, costas, pantanos y atmósfera, que si bien es cierto que son los más dañados o los más fácilmente identificables, los esfuerzos que se hagan serán insuficientes si no se crean programas para la limpieza y tratamiento de los suelos contaminados. Como ya se había mencionado en este trabajo, los suelos afectados pueden filtrar los contaminantes que poseen hacia ríos subterráneos y estos depositarlos en grandes extensiones a su paso, aumentando la dificultad de resolver el problema, inclusive contaminando zonas que ya se habían restablecido.

Las variaciones que ocurren en un ecosistema determinado se resienten en otros ecosistemas por muy lejanos o ajenos que parecieran entre sí. Esto confirma lo que se había descrito en los renglones anteriores.

Inclusive es tan insignificante el problema de los suelos contaminados en México, que no se han identificado dichos lugares con precisión. Por lo que se mencionaran sitios en que es muy probable que se encuentren grandes problemas de contaminación debido al tipo de industria o proceso que se lleve a cabo en la región. El petróleo y sus derivados constituyen uno de los principales focos de atención.

México cuenta con grandes depósitos de hidrocarburos del petróleo, localizados en zonas bien identificadas. En la mayoría de estas regiones se han instalado diferentes tipos de industria para la explotación y refinación del petróleo. Es por de más describir todos los estragos ambientales y destrucción de ecosistemas que han provocado dichas industrias.

El ambiente nunca constituyó un elemento de tomarse en cuenta para la planeación del desarrollo petrolero. Cuando en alguna región se localizan reservas importantes de hidrocarburos o se encuentran condiciones apropiadas para la instalación de plantas petroquímicas y refinerías, se priorizan estas acciones sobre cualquier otra (Jaime Ros, 1987).

Las reservas de hidrocarburos en el país se encuentran principalmente en la cuenca de Chicontepec, ubicada en el llamado Paleocañon, en la parte norte del estado de Veracruz; en el área mesozoica de las entidades de Tabasco y Chiapas (19% del total del país); en la plataforma marítima de la sonda de Campeche (48%); y en la cuenca de Sabunas, entre los estados de Coahuila y Nuevo Leon. Mientras que los yacimientos de la zona de Campeche son muy amplios (solo comparables a los del golfo Pérsico), los de Chicontepec aunque menores, son más accesibles, por lo que los pozos no tienen que ser tan profundos.

Por lo que toca a otras áreas con potencial de hidrocarburos, la actividad exploratoria se ha concentrado en las siguientes zonas: la cuenca de Jalisco, la cuenca de Papaloapan, la plataforma de Valles en San Luis Potosí, la costa occidental de Baja California, el golfo de Tehuantepec, la zona marítima de Sinaloa, la zona sur del estado de Chiapas, la península de Yucatan, el golfo de México, y el norte del mar Caribe. El resto del territorio tiene pocas o nulas posibilidades de contener reservas, particularmente la planicie costera del océano Pacífico.

Las zonas productoras de hidrocarburos mas activas del país han sido divididas en tres áreas, siguiendo criterios geológicos: Salina del Istmo-Macuspana; Chiapas-Tabasco, y sonda de Campeche, con 28 yacimientos en total, de los cuales a 16 se les denomina gigantes y a 12 supergigantes, por la producción de barriles de crudo o gas. (Tabla 5.1.).

Las tablas 5.2. y 5.3. muestran las refinerías y petroquímicas más importantes de la República, algunas de las cuales han dejado de operar como tales, pero durante su período de operación contribuyeron con la contaminación de sus alrededores.

Se pueden considerar los alrededores de estas zonas de explotación y refinamiento del petróleo como muy factibles de estar contaminadas. La figura 5.1. muestra en el territorio nacional los principales centros petroquímicos y de refinación.

Esta consideración no es infundada si se observan todos los accidentes o actitudes de negligencia que se han presentado durante el tiempo de operación de estos centros. Algunos de estos desastres se mencionan a continuación:

Exploración de pozos en la laguna de Tamiahua (el Katan, el Atlamaya y el Tauro) que contaminaron gran parte de la laguna, ocasionando mortalidad de peces y moluscos.

Varios derrames del oleoducto Salina Cruz-Minatitlán que cruza la Laguna Superior en el litoral del Istmo de Tehuantepec, al realizar algunas maniobras de desalojo en el ducto.

| AREAS PRODUCTORAS DE HIDROCARBUROS | | |
|---|--|---|
| AREA | MAGNITUD | |
| | GIGANTE | SUPERGIGANTE |
| Salina del istmo y Macuspana | Cuichapa Ogarrio Tonalá El Burro El Plan Cinco presidentes Magallanes | José Colomo Chilapilla Hormiguero |
| Chiapas Tabasco | Sitio Grande Río Nuevo El Golpe Cárdenas Agave Giraldas | Cactus Antonio J. Bermúdez Paredón |
| Sonda de Campeche | Pol Bacab Kutz | Cantarell Abkatún Kanaab Maloob-Zap Ku Ek Chuc |

Tabla 5.1. Areas productoras de hidrocarburos en México
"El auge petrolero: de la euforia al desencanto"
Jaime Ros, UNAM 1987

Desecho de productos residuales a las aguas del río Huazuntlán, provenientes de las industrias Azufrera Panamericana, Molino Maseca, Guanos y Fertilizantes, y las Petroquímicas que contaminan al río Coatzacoalcos. Esto no solo afecta a estos afluentes sino hasta su destino final que son la laguna del Ostion y al mar directamente, lo que se ha transformado en una baja muy considerable de la pesca.

Contaminación de los cinco ríos más caudalosos del país (Usumacinta, Grijalva, Papaloapan, Coatzacoalcos, Pánuco), por la presencia de las industrias petroleras. Alrededor del Usumacinta y Grijalva, se encuentran ciudad PEMEX, Cactus y la Venta; por el Coatzacoalcos se ubican , la Cangregera, Pajaritos, Minatitlán, y Cosoleacaque; el Papaloapan aloja en las proximidades de sus afluentes a Matapioche, y ciudad Madero está en la región del Pánuco.

Los desechos de las petroquímicas son los más peligrosos. Las sustancias tóxicas que llevan las aguas de descarga que se depositan en los ríos, como las sales de cloruro, sulfito de sodio, benceno, etilbenceno, xileno, carbonato de potasio, glicoles, fenoles, aceites, metales pesados, etcétera, no son en su mayoría biodegradables, constituyendo un peligro para las especies animales y vegetales, y para el hombre.

Contaminación del pantano Santa Alejandrina, contiguo a la refinería Lázaro Cárdenas. Los contaminantes entre los que se encuentran principalmente grasas, aceites, fenoles y aguas enchapopotadas, formaron una nata que alcanzó 40 cm de espesor sobre las aguas.

La perforación del Ixtoc 1 en la bahía de Campeche, que salió de control derramando aproximadamente 3 millones 100 mil barriles que fluyeron durante el período comprendido entre el 3 de junio de 1979 y el 9 de marzo de 1980, y después de descontar los hidrocarburos quemados, los evaporados y los recolectados, se estima que quedaron a la deriva un millón 23 mil barriles.

REFINERIAS EN LA REPUBLICA MEXICANA

| REFINERIA | SUBICACION | OBSERVACION |
|--------------------------------------|--------------------------|--|
| 1 "18 de marzo" Azcapotzalco | D.F. | Proveía al Valle de México casi todos los derivados |
| 2 Cadereyta | Ruevo León | Reparto de combustibles zona norte. |
| 3 Madero | Cd. Madero Tamaulipas | Exportación de productos petrolíferos |
| 4 "Gral. Lazaro Cardenas del Río" | Veracruz | Puerto de exportación de refinados del país. |
| 5 Poza Rica | Al norte de Veracruz | Cabecera de la zona centro |
| 6 Reynosa | Tamaulipas | |
| 7 "Ing. Antonio M. Amor" | Salamanca | Centro industrial abastecedor de la parte centro |
| 8 "Ing. Antonio Dovall Jaime" | Oaxaca | Puerto de exportación petrolera en la costa del Pacífico |
| 9 "Miguel Hidalgo" Tula | Hidalgo | Satisface la creciente demanda del antiplano |

Tabla 5.2. Refinerías en el territorio nacional. "El auge Petrolero: de la euforia al desencanto" Jaime Ros. URAM 1987

PETROQUÍMICAS QUE HAN OPERADO EN MÉXICO

| | PETROQUÍMICA | UBICACIÓN | PRODUCTOS PRINCIPALES | FINCJO |
|----|---------------|-------------------------------------|---|--------|
| 1 | Azcapotzalco | D.F. | Azufre Dodecibenceno Tetramero de propileno | 1958 |
| 2 | Cactus | Chiapas a 45 kms de Villahermosa | Azufre Gas licuado Gas residual Etano | 1974 |
| 3 | Camargo | Chihuahua | Amoniaco Anhídrico Carbónico | 1967 |
| 4 | La cangrejera | Veracruz a 8 kms de Coatzacoalcos | Etileno, Nitrógeno Benceno, Plásticos Acetaldehído, Tintas Oxígeno, Tolueno. | 1980 |
| 5 | Cosoleacaque | Veracruz | Amoniaco | 1962 |
| 6 | Cd. Madero | Tamaulipas | Etilbenceno, Azufre Butadieno, Estireno Etileno, Propileno. | 1961 |
| 7 | Ciudad PEMEX | Tabasco, al margen del río Grijalba | Azufre Gas | 1981 |
| 8 | La Venta | Tabasco | Gas, Etano | 1967 |
| 9 | Mataplonche | Veracruz | Azufre | 1981 |
| 10 | Minatitlán | Veracruz | Etilbenceno, Ciclohexano Heptano, Hexano Tolueno, Meta y para xileno | 1964 |
| 11 | Ruevo PEMEX | Tabasco, a 5 kms de Reforma | Gas natural, Propano Butano, Azufre | 1984 |

| | | | | |
|----|---|---|--|------|
| 12 | Pajaritos | Veracruz, a 4200 m de la desembocadura del río Coatzacoalcos al margen de laguna de pajaritos | Acetaldehído Cloruro de vinilo Ac. clorhídrico Ac. Muriático Etano | 1967 |
| 13 | Poza Rica 11300 m ² Cuenca de Chicontepec | Veracruz, en Tampico-Mixanilla | Azufre, Etano Etileno, Polietileno | 1951 |
| 14 | Reynosa | Tamaulipas | Etano, Etileno Polietileno | 1966 |
| 15 | Salamanca | Guanajuato | Alcohol Isopropílico Amoniaco Anhídrido Carbónico | 1962 |
| 16 | Salina Cruz | Oaxaca | Azufre | 1983 |
| 17 | San Martín Texmelucan | Puebla | Alcohol metílico Deseparafinantes Desemulsionantes Supresores de humo | 1969 |
| 18 | Totonaca | Tamaulipas | Azufre | 1981 |
| 19 | Tula | Hidalgo, 93 kms de Cd. de México | Acetonitrilo, Azufre Acido cianhídrico Acetonitrilo | 1978 |

Tabla 5.3. Petroquímicas que han operado en México.
El auge Petrolero: de la euforia al desencanto
Jaime Ros. IIRAM 1987. Fac. Economía

La explosión de varios tanques de gran volumen en la planta de San Juan Ixhuatepec, en Tlalnepantla, Estado de México. Esta tragedia cobró muchas vidas humanas y daños materiales por localizarse en una zona urbanizada.

Estos son sólo algunos de los accidentes ocurridos en plantas de procesamiento y explotación de hidrocarburos, y aunque no se mencionan en ellos nada con respecto a la contaminación de suelos, es lógico pensar que en sus alrededores se encuentren grandes extensiones de tierras afectadas.

La exploración, perforación de pozos e instalación de petroquímicas y refinerías han afectado tierras de cultivo; han provocado derrames de crudo; han contaminado las aguas de los ríos, lagunas, mares y la atmósfera de las áreas circundantes a la industria, ocasionando un impacto nocivo sobre agricultura, ganadería, fruticultura y pesca, y en general sobre las condiciones de vida de la población.

Además de considerar las actividades de exploración, perforación de pozos e instalación de petroquímicas y refinerías, se debe tener en cuenta, los patios de algunas industrias en donde por muchos años se han venido depositando a cielo abierto subproductos de los mismos procesos.

Otro problema también de gran magnitud son los depósitos de desechos domésticos, mezclados con residuos industriales; principalmente los localizados en las grandes zonas urbanas, constituyendo un foco potencial de infecciones.

También hay que considerar las zonas forestales donde se trata la madera para su preservación, debido a que en los procesos empleados, es factible que haya derrames hacia el suelo.

Las inspecciones por parte de las autoridades han revelado que en las zonas industriales existen suelos contaminados por sustancias orgánicas e inorgánicas que resultan perjudiciales a la salud humana y al ambiente. Los mantos acuíferos están actualmente en riesgo de contaminarse por la presencia de estos residuos industriales dispuestos sin ningún tratamiento de estabilización.

Debido a esta gran presión que se está ejerciendo es que se están tomando medidas para restablecer estos suelos. El costo de tratamiento es muy alto y es escaso el número de especialistas nacionales que dominan estas tecnologías. Las compañías terminan contratando los servicios de técnicos extranjeros.

Finalmente es necesario de considerar este problema que hasta ahora se ha pasado de frente, crear una nueva conciencia y darle al tratamiento de suelos contaminados la importancia que debe tener.

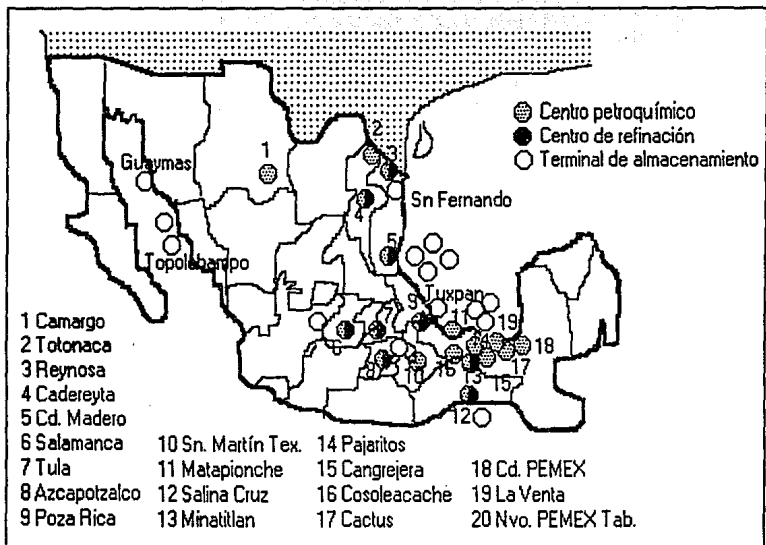


Figura ... Centros Petroquímicos y de Refinación en la República Mexicana. El auge Petrolero: de la euforia al desencanto. Jaime Ros UNAM 1987, fac. de Economía.

5.2. LEGISLACION MEXICANA

Para actividades de control de residuos industriales peligrosos, entra en vigor el 1. de marzo de 1988, la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente. Esta ley constituye una nueva política ecológica, en la que se establecen las bases para la restauración y preservación del equilibrio ecológico. También distribuye la competencia de los aspectos ambientales entre los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) y prevé la expedición de Reglamentos y Normas Técnicas Ecológicas para la conducción de la política ecológica.

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE (actualmente Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL), publicó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en la Gaceta Ecológica (Vol. I, No. 1, junio de 1989). A continuación se presenta un esquema general de lo que constituye la Legislación Ambiental Mexicana, indicando cuáles son los artículos de mayor interés en materia de residuos peligrosos.

En los próximos párrafos se explican brevemente el contenido de los principales artículos.

Título primero. Disposiciones Generales

Artículo 1. Esta ley establece disposiciones que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Entre los objetivos de esta ley está el establecer las bases para la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.

Artículo 4. y 5. *La federación, las entidades federativas y los municipios ejercerán conjuntamente las disposiciones establecidas por esta Ley cuando se trate de asuntos de alcance general a la nación, como son: la formulación de los criterios ecológicos que deben observarse para la prevención y control de la contaminación; los originados en otros países que perjudiquen de alguna manera el territorio nacional o viceversa; la regulación de actividades relacionadas con materiales o residuos peligrosos.*

Artículo 8. *Corresponde a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (actual SEDESOL), entre otros:*

- Expedir reglamentos y normas técnicas ecológicas que serán observadas en todo el territorio nacional y vigilar su observancia.*
- Coordinar sus actividades con las demás dependencias de la Administración Pública Federal.*
- Formular los criterios ecológicos que deben observarse en la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo.*
- Realizar la evaluación del impacto ambiental para obras o actividades públicas o privadas que puedan causar algún desequilibrio ecológico, particularmente, entre otros, en materia de residuos peligrosos, así como residuos radioactivos. Y brindar asesoría técnica a los gobiernos estatales y municipales que así lo soliciten, para la evaluación de la manifestación de impacto ambiental o del estudio de riesgo en su caso (Cap. 5, art. 35)*
- Proponer las disposiciones que regulen las actividades relacionadas con materiales o residuos peligrosos, en coordinación con la Secretaría de Salud.*

**ESQUEMA DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO
ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE**

| Capítulo | Nombre | Artículos |
|--|--|---------------------------|
| Título primero. Disposiciones Generales | | |
| I | Normas preliminares | 1 |
| II | Concurrencia entre la Federación, las entidades federativas y los municipios | 4, 5 |
| III | Atribuciones de la Secretaría y coordinación entre las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal | 8, 12 |
| IV | Política Ecológica | 15 |
| V | Instrumentos de la Política Ecológica | 18, 36, 43 |
| Título segundo. Áreas Naturales Protegidas | | |
| Título tercero. Aprovechamiento Racional de los Elementos Naturales | | |
| Título cuarto. Protección al Ambiente | | |
| I | Prevención y control de la Contaminación de la Atmósfera | 113 |
| II | Prevención y control de la Contaminación del agua | 123 |
| III | Prevención y control de la Contaminación del Suelo | 134, 135 136, 138, 139 |
| V | Materiales y Residuos Peligrosos | 150, 151 152, 153 |
| Título quinto. Participación Social | | |
| Título sexto. Medidas de Control y de Seguridad y Sanciones | | |
| II | Inspección y Vigilancia | 162, 167 168, 169 |
| III | Medidas de seguridad | 170 |
| IV | Sanciones Administrativas | 171 |

Tabla 5.4. Fuente: Gaceta Ecológica, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDE), Vol.I, No. 1., Junio 1989

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Artículo 12. *La Comisión Nacional de Ecología es un órgano permanente de coordinación intersecretarial, que promoverá la concertación entre la sociedad y el estado. Su función es analizar problemas y proponer programas y acciones ecológicas. En ella podrán participar las dependencias y entidades federativas de la Administración Pública Federal cuyas actividades estén relacionadas con la materia y también lo podrán hacer otros sectores de la sociedad. La Comisión presentará bianualmente al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría, un informe detallado de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente en el país.*

Artículo 15. *Uno de los principios de la política ecológica en México establece: "... el control y la prevención de la contaminación ambiental, es un elemento fundamental para elevar la calidad de vida de la población".*

Artículo 18. *Se promoverá la participación de los distintos grupos sociales en la elaboración de programas que tengan por objeto la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.*

Artículo 36. *Se entiende por Norma Técnica Ecológica, al conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría, que establezcan los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente, y, además, que uniformen principios, criterios, políticas y estrategias en la materia.*

Artículo 43. *La Secretaría editará una gaceta en la que se publicarán las Normas Técnicas Ecológicas que ella expida, así como todos aquellos comunicados emitidos por la misma (acuerdos, órdenes, resoluciones, avisos, etc.) y cualquier otra información que determine la propia dependencia, independientemente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.*

Título cuarto. Protección al ambiente

Artículo 113. No podrán emitirse contaminantes a la atmósfera que contengan materiales o residuos peligrosos, sin la previa autorización de la Secretaría.

Artículo 123. Todas las descargas, derrames o infiltraciones de aguas residuales que contengan materiales peligrosos, deberán contar con la previa autorización de la Secretaría.

Artículo 134. Algunos criterios para la prevención y control de la contaminación del suelo son: racionalizar la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; e incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje.

Artículo 135. Los criterios del artículo anterior se aplicarán entre otros en: los sistemas de limpieza y disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios; las autorizaciones para la instalación y operación de confinamientos de residuos.

Artículo 136. Los residuos que se acumulen, depositen o infiltren en los suelos, deben reunir las condiciones necesarias para prevenir la contaminación del suelo; las alteraciones nocivas de su proceso biológico, de su aprovechamiento, uso o explotación; y los riesgos y problemas a la salud.

Artículo 138. La Secretaría asesorará y trabajará junto con los gobiernos estatales y municipales, en la implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales, así como en la identificación de alternativas de reutilización y disposición final de los mismos.

Artículo 139. Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos, deberá hacerse conforme a las disposiciones establecidas por esta Ley.

Capítulo V. Materiales y residuos peligrosos

Los artículos del 150 al 153 del capítulo V, incluidos en esta ley, contienen lo relacionado a la instalación y operación de sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración, y disposición final de los residuos peligrosos, con la supervisión de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Específicamente el artículo 153 habla sobre la importación o exportación de materiales peligrosos.

Artículo 150. La Secretaría con la previa opinión de las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, Minas e Industria Paraestatal, de Agricultura y recursos Hidráulicos y la Secretaría de Gobernación, determinará y publicará en el Diario Oficial de la Federación los listados de materiales y residuos peligrosos para efectos de esta Ley.

Artículo 151. Se requerirá la previa autorización de la Secretaría para la instalación y operación de sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos.

Artículo 152. Los materiales y residuos que se definan como peligrosos se deben manejar de acuerdo a las disposiciones establecidas por la Secretaría,, con la participación de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, Minas e Industria Paraestatal, y de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Artículo 153. La Secretaría establecerá las disposiciones a las que se sujetará la importación o exportación de materiales o residuos peligrosos y además se encargará del control y vigilancia ecológica de los mismos.

Sólo se puede autorizar la importación de este tipo de residuos o materiales, cuando el propósito sea su tratamiento, reciclaje o reúso conforme a las leyes, reglamentos y disposiciones vigentes. Siempre que se garantice la reparación de los daños y perjuicios que pudieran causarse tanto en el territorio nacional como en el extranjero. No será así cuando el propósito sea la disposición final o simple depósito, almacenamiento o confinamiento dentro del territorio nacional o en las zonas donde la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

No podrá autorizarse el tránsito por el territorio nacional de materiales peligrosos que no satisfagan las especificaciones de uso o consumo conforme a los que fueron elaborados, o cuya elaboración, uso o consumo se encuentre prohibido o restringido en el país al que estuvieren destinados; ni podrá autorizarse dicho tránsito de residuos peligrosos, cuando tales materiales y residuos provengan del extranjero para ser destinados a un tercer país.

El otorgamiento de autorizaciones para la exportación de materiales o residuos peligrosos cuyo único objeto sea su disposición final en el extranjero, quedará sujeto a que exista consentimiento expreso del país receptor.

Los materiales y residuos peligrosos generados en los procesos de producción, transformación, elaboración o reparación en los que se haya utilizado materia prima introducida al país bajo el régimen de importación temporal, deberán ser retornados al país de procedencia dentro del plazo que para tal efecto determine la Secretaría.

Se podrán revocar las autorizaciones que se hayan otorgado para la importación o exportación de materiales o residuos peligrosos, sin la imposición de la(s) sanción(es) correspondiente(s) cuando:

a) Se compruebe que los materiales o residuos peligrosos autorizados constituyen mayor riesgo para el equilibrio ecológico que el que se consideró en el momento de otorgar dicha autorización.

b) No se cumplan los requisitos establecidos en la guía ecológica que expida la Secretaría.

c) Los residuos o materiales peligrosos no posean los atributos o características conforme a los cuales fueron autorizados.

d) Cuando se determine que la solicitud correspondiente contenga datos falsos o presentados de manera que se oculte información necesaria para la correcta apreciación de la solicitud.

Título sexto. Medidas de Control y de Seguridad y Sanciones

Artículo 162. Las autoridades competentes podrán realizar visitas de inspección, por conducto de personal debidamente autorizado, para verificar el cumplimiento de este ordenamiento.

Artículo 167. Recibida el acta de inspección por la autoridad correspondiente se solicitará al interesado que adopte de inmediato las medidas correctivas de urgente aplicación y se le da un plazo de diez días hábiles, para que manifieste por escrito cualquier inconformidad en relación con el acta de inspección.

Artículo 168. Una vez recibida la defensa del interesado (o en caso de que no se haya hecho uso de este derecho), se procederá a dictar la resolución administrativa que corresponda en un plazo de 30 días hábiles, la cual se notificará al interesado.

Artículo 169. La resolución administrativa indicará: las medidas que deberán llevarse a cabo para corregir las deficiencias o irregularidades observadas; el plazo otorgado al infractor para satisfacerlas y las sanciones a las que se hubiere hecho acreedor conforme a las disposiciones aplicables.

Artículo 170. Cuando exista riesgo inminente de desequilibrio ecológico o casos de contaminación con repercusiones peligrosas para el medio ambiente o la salud pública, la Secretaría podrá ordenar el decomiso de materiales o sustancias peligrosas; la clausura temporal, parcial o total, de las fuentes contaminantes correspondientes y promover la ejecución ante la autoridad competente, de las medidas de seguridad que la Ley establece.

Artículo 171. Las violaciones que se realicen a los reglamentos y disposiciones de esta Ley, serán sancionadas administrativamente por la Secretaría, en asuntos de competencia de la Federación y en los demás casos por las autoridades de las entidades federativas y de los municipios. Entre las sanciones que se aplican se encuentran:

- Multa por el equivalente de veinte a veinte mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento de imponer la sanción.*
- Clausura temporal o definitiva, parcial o total.*
- Arresto administrativo hasta por 36 horas.*

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, el 25 de noviembre de 1988, publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos.

En este reglamento se establece que es competencia de la Secretaría publicar en el Diario Oficial de la Federación, los listados de residuos peligrosos y sus actualizaciones; expedir normas técnicas ecológicas y procedimientos para el control y manejo de los residuos peligrosos que se generan en operaciones y procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo y de servicios. También se señalan los requisitos y condiciones que deben cumplir los generadores de residuos peligrosos desde su generación, y manejo que incluye almacenamiento, recolección, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final.

Se han creado algunas normal ecológicas por parte de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), las cuales establecen los lmites máximos permisibles de concentración de contaminantes presentes en residuos. Estas normas se mencionan en el Anexo 1.

La Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) en su ámbito de competencia ha emitido 21 normas. Las Normas Oficiales Mexicanas referentes a la contaminación del suelo, se describen en el Anexo 2.

ANEXO 1

NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS

- NTE-CRP-001/88** Establece los criterios para la determinación de residuos peligrosos y el listado de los mismos. (6 de Junio, 1988. D.O.F.)
- NTE-CRP-002/88** Establece los procedimientos para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. (14 de diciembre, 1988 D.O.F.)
- NTE-CRP-003/88** Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o mas de los residuos considerados como peligrosos por la NTE-CRP-001/88 (14 de diciembre, 1988 D.O.F.)
- NTE-CRP-008/88** Establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos los radioactivos. (6 de Junio, 1988 D.O.F.)
- NTE-CRP-009/89** Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de ser confinamiento controlado para residuos peligrosos. (8 de Septiembre, 1989 D.O.F.)

NTE-CRP-010/88 *Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de confinamiento controlado para residuos peligrosos determinados por la NTE-CRP- 001/88. (14 de Diciembre, 1988.)*

NTE-CRP-011/89 *Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos. (13 de Diciembre, 1989)*

Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 5o. Fracción X y 146 de la L.G.E.E.P.A.; 27 Fracción XXXIII y 37 Fracciones XVI y XVII de la Ley Orgánica de la APF, expiden el primer listado de actividades altamente riesgosas. (28 de Marzo, 1990)

Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto en los artículos XVI y XVII de la L.O.A.P.F., expiden el segundo listado de actividades altamente riesgosas. (4 de Mayo, 1992)

ANEXO 2

NORMAS OFICIALES MEXICANAS

- (NOM-AA-15-1985)** *Residuos Sólidos Municipales-Muestreo. Método de cuarteo*
- (NOM-AA-16-1984)** *Residuos Sólidos Municipales. Determinación de humedad.*
- (NOM-AA-18-1984)** *Residuos Sólidos Municipales. Determinación de Cenizas.*
- (NOM-AA-19-1985)** *Residuos Sólidos Municipales. Peso Volumétrico "INSITU"*
- (NOM-AA-21-1985)** *Residuos Sólidos Municipales. Determinación de materia Orgánica*
- (NOM-AA-22-1985)** *Residuos Sólidos Municipales. Selección y cuantificación de Sub-productos.*
- (NOM-AA-24-1984)** *Residuos Sólidos Municipales. Determinación de Nitrógeno Total*
- (NOM-AA-25-1984)** *Residuos Sólidos Municipales. Determinación de pH Método Potenciométrico.*
- (NOM-AA-31-1976)** *Determinación de azufre en desechos sólidos*

-
- (NOM-AA-32-1976) *Determinación de Fósforo Total en desechos sólidos.*
- (NOM-AA-33-1985) *Residuos Sólidos Municipales. Determinación de poder calorífico Superior.*
- (NOM-AA-52-1985) *Residuos Sólidos Municipales. Preparación de muestras para su análisis.*
- (NOM-AA-61-1985) *Residuos Sólidos Municipales. Determinación de la generación.*
- (NOM-AA-67-1985) *Residuos Sólidos Municipales. Determinación Carbono-Nitrógeno.*
- (NOM-AA-68-1985) *Residuos Sólidos Municipales. Determinación de Hidrógeno a partir de materia orgánica.*
- (NOM-AA-80-1986) *Residuos Sólidos Municipales. Determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica.*
- (NOM-AA-91-1985) *Residuos Sólidos. Terminología.*
- (NOM-AA-92-1984) *Residuos Sólidos Municipales. Determinación de Azufre.*
- (NOM-AA-94-1984) *Protección al ambiente/Contaminación del suelo Residuos Sólidos Municipales. Determinación del Fosforo Total.*

ANEXO 3

RESIDUOS PELIGROSOS CONSIDERADOS EN LA NORMA ECOLOGICA NTE-CRP-001/88.

De acuerdo con el artículo quinto de la Norma Técnica Ecológica NTE-CRP-001/88, se enuncian a continuación los residuos considerados como peligrosos:

Aguas

- De biodegradación de lodos, conteniendo carga orgánica o metales pesados contaminantes*
- Fuertes del vidrio*
- De tormenta sin lodo que salen de las refinerías*
- Residuales de raspado y lavado en la producción de forato*

Breas

- Del fondo de la destilación de la producción de fenol-acetona a partir de cumeno.*

Bases

- Fijas de dimetil sulfato*

Cabezas

- De destilación de la producción combinada de tricloro etileno y percloro etileno*
- De destilación de la producción de acetaldehído a partir de etileno*
- De la destilación de la producción de anhídrido ftálico a partir de naftaleno*

Carbón activado

- Conteniendo sustancias peligrosas absorbidas, según los criterios de artículo cuarto de esta misma norma.*

Catalizador

- Gastado del reactor hidroclorador en la producción de 1.1.1-tricloroetano
- Gastado de antimonio en la producción de fluorometano
- Gastado de cloruro de mercurio.

Colas

- De la producción combinada de tricloroetileno y percloroetileno
- De la producción de acetaldehído a partir de etileno
- De la fracción en la producción de cloruro de etileno
- De destilación de cloruro de vinilo en la producción de monómeros de cloruro de vinilo
- De destilación de dicloruro de etileno durante la producción de dicloruro de etileno
- De destilación de la producción de tetracloruro de carbono
- De la destilación de tetraclorobenceno en la producción de 2,4,5-T
- De la columna de purificación en la producción de epíclorohidrina
- De raspado en la producción de metiletilpiridina

Disolventes

- De limpieza en partes mecánicas
- De laminación mecánica en circuitos electrónicos
- Gastados halogenados en otras operaciones que no sea el desengrasado: tetracloroetileno, cloruro de metileno, tricloroetileno, 1.1.1.-tricloroetano, trifluoro-etano, o-diclorobenceno, triclorofluorometano
- Gastados no halogenados: cresoles, ácido cresílico, nitrobenzono, metanol, tolueno, metil-etil-cetona, metilisobutilcetona, disulfuro de carbono, isobutanol, piridina, xileno, acetona, acetato de etilo, etil benzono, éter etílico, alcohol n-butílico, ciclohexanona.
- Gastados halogenados usados en el desengrasado: tetracloroetileno, tricloroetileno, cloruro de metileno, 1.1.1.-tricloroetano, trifluoroetano, tetracloruro de carbono, fluoruros de carbono clorados.

Envases

- Envases vacíos que hubieran contenido cualquier tipo de plaguicidas**
- Envases y tambos vacíos usados para el manejo de residuos químicos peligrosos ambientales**

Jales

- De los procesos de concentración de metales pesados**

Lodos

- De baño de aceite en el templado y tratamiento de calor de metales**
- Del ánodo electrolítico en la producción primaria de zinc**
- De equipos de control de emisión de gases, humos y polvos**
- De lavadores de efluentes gaseosos de hornos de carbón y altos hornos**
- De operaciones de coquizado**
- De operaciones primarias en la producción de cobre**
- De oxidación de tratamiento biológico que contenga cualquier sustancia tóxica sujeta a control sanitario o ecológico**
- De tratamiento de aguas de residuos del templado en las operaciones de tratamiento de calor de metales.**
- De tratamiento de aguas en la producción de cresota**
- De tratamiento de aguas en la fabricación y prosesamiento de explosivos**
- De tratamiento de aguas en la producción de disulfotón**
- De tratamiento de aguas en la producción de forato**
- De tratamiento de aguas en la producción de toxafeno**
- De tratamiento de aguas y lavadoras en la cloración del ciclopentadieno en la producción de clordano**
- De tratamiento de aguas en operaciones de galvanoplastia**
- De tratamiento de aguas en la producción de pigmentos amarillos y naranjas wde cromo**
- De tratamiento de aguas en la producción de pigmento amarillo de zinc**

-
- De tratamiento de aguas de la producción de pigmentos azules de hierro
 - De tratamiento de aguas de la producción de pigmento naranja de molibdato
 - De tratamiento de aguas de la producción de pigmentos verdes de cromo, óxidos de cromo (anhídros e hidratados)
 - De tratamiento de aguas del proceso electrolítico en la producción de cloro
 - De sedimento de tratamiento de aguas de los procesos de preservación de madera que utilizan creosota, clorofenol, pentaclorofenol y arsenicales
 - De las soluciones de las operaciones de galvanoplastia

Residuos

- Residuales conteniendo glicéridos
- Acuoso de catalizador gastado de antimonio en la producción de fluorometano
- De la corriente del separador del producto en la producción de 1.1.1. tricloroetano
- De cribado del drenaje en proceso de curtiduría en las siguientes subcategorías: pulpado de pelo retenido, acabado húmedo y preparación de pieles para teñido deslanado
- Del centrifugado en la producción de diisocianato de tolueno
- Del horno en la producción de pigmentos verdes de óxido de cromo
- De filtración del ácido dietilfosfórico en la producción de forato
- De los procesos de flotación selectiva en las operaciones de recuperación de metales a partir de minerales
- De 2, 6-diclorofenol en la producción de 2, 4-diclorofenol
- De lixiviado de cadmio en la producción primaria de zinc
- Sedimento de los residuos de laguna de tratamiento de aguas de cianidación en las operaciones de recuperación de metales a partir de minerales
- De la fabricación de computadoras

-
- De la limpieza de circuitos de inmersión
 - En la fabricación de fibra de vidrio moldeado
 - En la fabricación de cinescopios para televisión
 - En la fabricación de tubos electrónicos
 - De molienda química en equipos miniatura
 - De la fabricación de contestadores electrónicos
 - En la fabricación de semiconductores
 - Disolventes en la producción de capacitores de cerámica
 - En la fabricación de cintas magnéticas
 - En el proceso de laminación de cabezas magnéticas para grabadoras
 - En la protección del aluminio de las aeronaves
 - De la polarización, de los procesos de calcinación y de los procesos de la molienda de cerámica piezoeléctrica
 - De la fabricación de pulpa química
 - De la impresión de periódicos y limpieza de los equipos
 - De fotoacabado
 - De la fabricación de latex
 - Del proceso de fluorización de aluminio
 - En el plateado de perchas
 - De rotograbados e impresión por placa
 - De protección de componentes electrónicos
 - De disolventes usados para la extracción de café y caféina
 - Del procesamiento de lana
 - De aceite gastado en la fabricación de acero
 - De pectina cítrica
 - De pintura remivida de muebles
 - En la fabricación de anhídrido maleico
 - De bifenilos policlorados o de cualquier otro material que los contenga

-
- Hexaclorados de la producción de percloroetileno
 - Todos los clorados de procesos de cloración
 - Conteniendo mercurio de procesos electrolíticos
 - Ácidos en el recubrimiento de partes de las aeronaves
 - Los fondos de los tanques de distribución de gasolinas conteniendo tetraetilo de plomo
 - De anodización de partes de aeronaves
 - De sello caliente y de aluminio
 - En la fabricación de microfilmes
 - De laboratorios de circuitos impresos en madera
 - Ácidos en el procesamiento de películas
 - Alcalinos de la limpieza de embarcaciones
 - De asbesto en todas sus formas, asbesto residual
 - Todo material que contenga metales pesados

Sales

- Generadas en la producción de misma y ácido cacodílico

Sedimentos

- De la corriente del separador de agua residual en la producción de acrilonitrilo
- De la columna de purificación de acetonitrilo y de la corriente de la columna de acetonitrilo en la producción de acrilonitrilo
- De la destilación de cloruro de bencilo
- De la destilación de la producción de anhídrido ftálico a partir de naftaleno
- De la destilación de la producción de nitrobenceno por nitración de benceno
- De la destilación de la producción de acetaldehído a partir de etileno
- De la destilación para la recuperación de tolueno en la producción de disulfotón

-
- De la purificación final de acrilonitrilo en la producción de acrilonitrilo
 - De los residuos de la laguna de tratamiento de aguas de cianidación en las operaciones de recuperación de metales a partir de minerales
 - De la destilación de tetraclorobenceno en la producción de 2, 4, 5-T

Sólidos

- De la purificación de hexaclorociclopentadieno en la producción de clordano
- Provenientes de embalses de fundidoras de plomo

Soluciones

- Gastadas de baños de cianuro en las operaciones de recuperación de metales a partir de minerales
- Gastadas de baños de cianuro en operaciones y tratamiento de superficies de metales pesados
- Gastadas en las operaciones de galvanoplastia y de enjuague en las operaciones de las mismas
- Gastadas de los baños de sal en el limpiado de recipientes en las operaciones de tratamiento de calor de metales
- De grabado de silicio
- Alcalinas en la limpieza de aeronaves
- De la extrucción de aluminio
- Acidas de la limpieza química
- Fotofijadoras

Tierras

- De blanqueo de aceite o grasas
- Con catalizadoras de níquel

Otros

- Líquor de tratamiento de acero inoxidable
- Mezclas de residuos de plaguicidas
- Plaguicidas caducos
- Subproductos de la fabricación de plásticos
- Grasas y aceites usados
- Lodos aceitosos de los procesos de refinación de petróleo crudo
- Usadas como filtros y que contengan residuos peligrosos según los criterios del artículo 4o. de esta misma norma
- Bifenilos policlorados residuales
- Materiales que contengan bifenilos policlorados en concentración mayor a 50 ppm
- Materiales que contengan residuos de dibenzodioxinas o dibenzofuranos
- Asbesto residual
- Lodos de perforaciones de exploración

ANEXO 4

LEGISLACION AMBIENTAL EN ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA

En orden de aparición se enuncian a continuación los principales documentos que constituyen las leyes y normas para el control ambiental en los Estados Unidos.

En 1965 se decretó el Acta de Disposición de Residuos Sólidos (The Solid Waste Disposal Act.), cuyos principales propósitos fueron (Davis, Cornwell, 1991):

- 1. Promover la construcción y aplicación de los sistemas de manejo de residuos sólidos y de recuperación de recursos, que preserven y ponderen la calidad del aire, agua y suelo.*
- 2. Proporcionar asistencia técnica y financiera a los gobiernos local y estatal, así como a las agencias interestatales sobre la planeación y desarrollo de los programas de recuperación de recursos y disposición de residuos sólidos.*
- 3. Fomentar un programa nacional de investigación y desarrollo para mejorar las técnicas de manejo, arreglos organizacionales más efectivos, nuevos y mejores métodos de recolección, separación, recuperación y reciclaje de residuos sólidos, y la disposición ambientalmente segura de los residuos no recuperables.*
- 4. Proveer la promulgación de patrones para los sistemas de recolección, transporte, separación, recuperación y disposición de residuos sólidos.*
- 5. Proporcionar entrenamiento al personal que realice alguna actividad que involucre el diseño, operación y manejo de sistemas de disposición de residuos sólidos.*

Esta Acta de Disposición de Residuos Sólidos, se transformó en 1970 en el Acta de Recuperación de los Residuos (The Resources Recovery Act), la cual establece que el programa nacional de manejo de residuos sólidos se aplique a partir de la disposición (como su principal objetivo), hasta el reciclaje y reutilización de los recursos recuperables en los residuos sólidos o hasta la conversión de éstos a energía.

En 1976 se promulgó el Acta de Control de Sustancias Tóxicas (The Toxic Substances Control Act, TSCA), gracias a la participación conjunta del Congreso, la Industria Química, la USEPA y el público en general. Su objetivo era reglamentar la introducción al mercado y el empleo de los productos químicos peligrosos, con el fin de identificar y controlar la presencia de estas sustancias en el ambiente.

Con esta reglamentación, se autorizó a la USEPA para recolectar y evaluar la información relacionada a estos puntos y en caso de que la agencia determine que un compuesto químico representa un riesgo incontrolable para la salud humana o el ambiente, tiene la facultad de restringir su distribución y uso, con controles que varían desde una etiqueta de advertencia hasta prohibir por completo su fabricación y empleo.

Bajo el TSCA se establecieron las siguientes disposiciones:

- 1. La industria debe de proporcionar información sobre la producción, uso y efectos a la salud de todas aquellas sustancias y mezclas químicas antes de que se elaboren para distribución comercial.*
- 2. Se regula la fabricación, procesamiento, uso y disposición de los productos químicos existentes, al requerir el análisis de los efectos tóxicos que producen todas aquellas sustancias químicas que son potencialmente nocivas.*

La USEPA solicita este examen siempre que no exista información suficiente para formar un avalúo razonable del riesgo; cuando una sustancia química presenta un posible riesgo a la salud humana o al ambiente; cuando el producto se fabrica en cantidades suficientemente grandes para provocar una liberación al ambiente significativa.

3. Se prohibió la fabricación, procesamiento, distribución y uso de productos químicos que contengan bifenilos policlorados (PCBs), excepto para aquellas aplicaciones en áreas que son totalmente cerradas. A su vez, el TSCA solicitó a la USEPA que promulgara las regulaciones que abarcaran el almacenamiento y disposición de los productos y residuos contaminados con PCBs.

La agencia requiere de una notificación con 90 días de anticipación para los siguientes casos:

1. Para cualquier intento de fabricación o importación de un nuevo producto químico.

2. Cuando una sustancia química existente, se va a destinar a un nuevo uso, lo cual puede originar un incremento al riesgo de exposición humana o al ambiente.

En respuesta a la necesidad de controlar con reglamentaciones adicionales al acta anterior, para asegurar que en el futuro los residuos sólidos se manejen correctamente, el Congreso de los Estados Unidos decretó en 1976, el Acta de Conservación y Recuperación de los Recursos (the Resource Conservation and Recovery Act, RCRA).

El objetivo de esta reglamentación es proteger el agua subterránea y superficial, el aire y el suelo, de la contaminación ocasionada por los residuos sólidos. De esta forma se estableció el primer programa de regulación federal, para controlar los residuos peligrosos y se proporcionaron los permisos y la asistencia técnica a los estados, para ayudarlos a mejorar sus técnicas de manejo de residuos. En general se promueve la conservación de los recursos naturales, el reciclado de residuos y el empleo de tecnologías alternativas para su manejo, siempre y cuando esto sea factible (Wentz, 1989).

Inicialmente los esfuerzos federales se enfocaron a establecer la estructura de la legislación, para el manejo de los residuos peligrosos. Las disposiciones más importantes son (Davis, Cornwell, 1991):

Clasificación federal de los residuos peligrosos.

El RCRA estableció su propia definición de residuo peligroso, posteriormente la USEPA, amplió e hizo más específica dicha definición. Además, ésta última elaboró algunas listas de residuos peligrosos e implantó los siguientes criterios para determinar que residuos se van a considerar peligrosos para efectos de esta reglamentación:

- 1. Si se encuentra incluido en las listas desarrolladas por la USEPA.*
- 2. Si los generadores declaran que el residuo exhibe algunas de las siguientes características: inflamabilidad, corrosividad, reactividad, toxicidad.*

Sistema manifiesto de la cuna a la tumba

Con objeto de rastrear y dirigir el sistema de manejo de residuos peligrosos de la cuna a la tumba (the Cradle-to-Grave Hazardous Waste Management System), se creó un manifiesto uniforme de residuos peligrosos (a uniform hazardous waste manifest). La forma combinada del manifiesto contiene información del generador del residuo, del transportista y de la instalación seleccionada para el tratamiento, almacenamiento y disposición, así como la caracterización del residuo peligroso que se transporta.

Este requerimiento no se aplica para generadores que tienen su propia instalación TSD dentro del lugar de generación ("on-site").

Patrones federales para salvaguardias que deben seguir los generadores, transportistas y/o instalaciones que tratan, almacenan o disponen residuos peligrosos.

Como norma los generadores, transportistas así como los que manejan instalaciones que tratan, almacenan o disponen residuos peligrosos (Treatment, Storage and Disposal facility, TSD), deben obtener números (individuales y únicos) de identificación de la USEPA, cumplir con la parte correspondiente del sistema manifiesto uniforme de residuos peligrosos si estos se transportan a una instalación externa para un manejo posterior. Se deben conservar registros manifiestos y completos de las actividades que se realicen al respecto.

Autorización de programas estatales que operen en lugar del programa federal.

El objetivo del programa federal es asegurar un manejo adecuado de los residuos peligrosos, de tal forma que se proteja a la salud humana y al ambiente. Razón por la cual el RCRA permite a la USEPA autorizar a los estados para que regulen el manejo de residuos peligrosos dentro de sus territorios. Es entonces cuando se dice que el programa autorizado de reglamentación estatal actúa en lugar del programa federal. Son cinco requerimientos los que debe cumplir el programa estatal (Lindgren, 1989):

- 1. Ser equivalente al programa federal**
- 2. Debe ser consistente con el programa federal y con otros programas estatales.**
- 3. No ser menos estricto que el programa federal.**
- 4. Dar disposiciones para una ejecución adecuada del programa.**
- 5. Encargarse de la participación del público dentro de un proceso autorizado.**

El acta comisiona a la USEPA para que promulge las reglamentaciones necesarias para poner en vigor el programa federal. El RCRA se convirtió en la legislación más importante para el manejo de residuos sólidos peligrosos. El Congreso reformó esta legislación para adicionar los cambios que necesitaba en 1980 y en 1984. Esta última fue particularmente importante porque dió lugar a una nueva acta.

Reformas a las leyes de Residuos Sólidos y Peligrosos (the Hazardous and Solid Waste Amendments, HSWA).

En noviembre de 1984 el Congreso aumentó significativamente el alcance del RCRA. El principal motivo de las reformas es la protección del agua subterránea a través de los siguientes requerimientos (Davis, Cornwell, 1991):

- 1. Se estableció la minimización del residuo como el método preferido para el manejo de residuos peligrosos.**

2. Se prohibió disponer residuos peligrosos no tratados en suelos, razón por la cual la USEPA se encargó de establecer patrones de tratamiento para tal disposición.

3. Se establecieron algunos cambios tecnológicos para aquellas instalaciones que se encargan de la disposición en suelo, como es el empleo del doble impermeabilizante, de sistemas de colección de lixiviados y de un extenso monitoreo de agua subterránea.

4. Se decretaron nuevos requerimientos para generadores de pequeñas cantidades de residuos peligrosos (generan de 100 a 1000 kg), entre los que se encuentran los talleres mecánicos y tintorerías.

5. Se encargó a la USEPA que estableciera patrones para los tanques de almacenamiento subterráneo (Underground Storage Tank, UST), que contienen petróleo líquido y productos químicos.

6. Se comisionó a la USEPA para evaluar el criterio de disposición de residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios y los requerimientos para su monitoreo.

Acta de amplia respuesta, compensación y responsabilidad ambiental (the Comprehensive, Environmental Response, Compensation, and Liability Act, CERCLA)

El RCRA y el HSWA se enfocaron a las prácticas de manejo de residuos peligrosos actuales y futuras, pero no tomaron en cuenta los serios problemas de contaminación histórica, que originaron los numerosos lugares de disposición de residuos peligrosos que actualmente están inactivos.

Por este motivo, el Congreso promulgó el Acta de Amplia Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental en 1980. Esta reglamentación da disposiciones de responsabilidad, compensación y limpieza para los lugares inactivos de disposición de residuos peligrosos. También proporciona respuesta a situaciones de emergencia en que se vea involucrada la liberación de sustancias peligrosas en el ambiente. CERCLA proporcionó autoridad y fondos a la USEPA para llevar a cabo estas actividades.

Las principales disposiciones de este estatuto son (Davis, Cornwell, 1991):

- 1. Crear un fondo (the superfund) para pagar la información y restauración de aquellos lugares donde no se puede encontrar a la parte responsable o cuando éstas no quieran pagar.*
- 2. Establecer una lista de prioridad para la limpieza de lugares de disposición de residuos peligrosos que se encuentren inactivos o abandonados, de acuerdo a su peligro potencial al ser humano o al ambiente aledaño. (Lista Nacional de Prioridades, (the National Priority List, NPL)).*
- 3. Determinar el mecanismo de acción que se va a efectuar en los lugares abandonados o inactivos (Plan Nacional de Contingencia, NCP)).*
- 4. Ejercer la autoridad para que los responsables del suceso, realicen la limpieza del lugar afectado.*
- 5. Requiere de notificaciones al Centro Nacional de Respuesta (National Response Center, NRC), cuando las emisiones o derrames de las sustancias consideradas como peligrosas, excedan las cantidades reportables (Reportable Quantities, RQs).*

El CERCLA se conoce también con el nombre de Acta del Superfondo (the Superfund Act), debido a la disposición de un Fondo de Fideicomiso en respuesta a los problemas de contaminación originado por las sustancias peligrosas (the Hazardous Substance Response Trust Fund), la industria proporciona 7/8 del dinero a través de impuestos al petróleo crudo y a 42 productos químicos básicos; el gobierno aporta 1/8 del monto total.

6. CONCLUSIONES

La contaminación de suelos es un problema al que se le debe brindar la debida atención. Es conveniente adoptar una postura que permita recuperar las zonas que se dañaron a lo largo de los años.

Las técnicas de descontaminación de suelos descritas en este trabajo son una opción que despues de estudiar a un área determinada y los contaminantes que aloja se puede aplicar para la renovación de la región.

La técnica de descontaminación adecuada será la que permita recuperar la mayor cantidad de contaminantes presentes en el suelo, con más facilidad y al costo más bajo; para posteriormente poder reutilizar el suelo recuperado en un uso adecuado.

Hay que considerar que estos métodos son correctivos, que sería mejor crear un control más estricto que permita prevenir que accidentes humanos o desempeño erroneo de actividades industriales dañen grandes extenciones de suelo. Tomar una acción "Preventiva", no "Correctiva".

7. REFERENCIAS

BUEVE Lucas (1990)

Excalibur Enterprises, Inc.

Demonstration Program

SITE Technology Profile-VII

New York

Nov. 1990. Pág. 44-45.

COLAK Peter Z.

Sanivan Group

Demonstration Program

SITE Technology Profile-V

Anjou, Quebec

Nov. 1990. Pág 78-80

HORNSBY Robert G. y Helgerson Ron

AWD Technologies, Inc.

Lockheed Aeronautical Systems Company

"Zero Air Emissions Ground water and Soil Remediation Using the AWD Integrated System".

SITE: Selected for the Superfund Innovative Technology Evaluation Program.

Junio 1991.

LA MORI Phillip N.
Toxic Treatments (USA) Inc.
Demonstration Program
SITE Technology Profile
Sn. Francisco California
Nov. 1990. Pág 96-97.

PAFF Stephen W.
Center for Hazardous Materials Research
Emerging Program
SITE Technology Profile-IV
Pittsburg, PA
Nov. 1990. Pág 125-126

PARR James F. y Marsh Paul B.
"Land Treatment of Hazardous Wastes"

SHALLICE Chris
CF Systems Corporation
Demonstration Program
SITE Technology Profile-VI
Waltham Massachusetts
Nov. 1990. Pág 30-31

SPEYHT James
Western Research Institute
Emerging Program
SITE Technology Profile-II
Laramie, Wyoming
Nov. 1990. Páq 169-170

STEINER Werner
Enviro Sciences, Inc.
Emerging Program
SITE technology Program-III
Randolph, New Jersey
Nov. 1990. Páq 139-140.

VEDBY Steen y Skov Allan
Pnonix Miljo
"Mobile Extraction Technology for on-site soil decontamination"
Vejen Denmark.
Junio 1991

VESPER Steve y Murdoch Lanny
USEPA Solid and Hazardous Waste Research Facility
5995 Center Hill Rd., Cincinnati, OH 45224

WEIMER Lanny D.

RESOURCES CONSERVATION COMPANY

Ellicot City

***Third Forum on Innovative Hazardous Waste Treatment Technologies:
Domestic and International***

Dallas, Tx. Junio 1991.

THE SAFE DISPOSAL OF HAZARDOUS WASTES

The Special need and problems of developing countries

Vol. II (1989)

World Bank Technical Paper. Number 93.

GACETA ECOLOGICA

Volumen II-1990

Pág. 403-408.

México D.F. 1990