

29



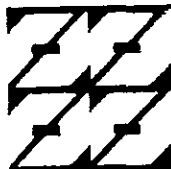
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICO PARA LA BIOREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS.

TRABAJO PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO EN: INGENIERIA QUIMICA PRESENTA: MARINA CABALLERO DIAZ

UNAM FES ZARAGOZA



LO HUMANO ES DE NUESTRA REFLEXION

ASESOR: ING. ANDRES AQUINO C.

DICIEMBRE 1998.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

268167



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/0027/98

ASUNTO: Asignación de Jurado

C. MARINA CABALLERO DIAZ
Presente

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

Presidente: I.Q. Eduardo Loyo Arnaud
Vocal: I.Q. Carlos Armas Valverde
Secretario: I.Q. Andrés Aquino Canchola
Suplente: I.Q. Balbina Patricia García Aguilar
Suplente: I.Q. Jorge Arriaga Pérez

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., 11 de Agosto de 1998

EL JEFE DE LA CARRERA

I.Q. MAGIN ENRIQUE JUAREZ VILLAR

Irm

A MIS PADRES

Un agradecimiento con todo mi cariño a las dos únicas personas que siempre están conmigo cuando los necesito, apoyándome con una palabra, con un consejo o con su presencia.

A las dos personas a quién les debo todo lo que soy "a mis padres".

A esas dos extraordinarias personas, a esa gran mujer que hacía mis tareas cuando yo era niña, dándome su amor y ternura en todo momento, a ese gran hombre que me enseñó a valorar la educación que me daba y a ser una mujer responsable.

*A mis padres Bety y Amador
Muchas gracias ☼*

A mis hermanos

Que si Dios me hubiera permitido escojerlos los hubiera escogido a ellos.

Gracias a los tres por su paciencia y cariño.

*César, Imelda y Bilma
gracias ☼.*

Gracias a todos mis maestros y compañeros por sus enseñanzas que tal vez en algún momento no supe valorar.

Gracias a mi asesor Ing. Andrés Aquino y a todo el jurado por sus consejos y por el tiempo que me dedicaron.

Un agradecimiento especial a una persona que me dio muy buenos consejos, que me animó cuando más lo necesitaba y que me ayudó siempre.

Ing. Carlos Armas Valverde.

Gracias

CONTENIDO

| | Pag. No |
|--|---------|
| RESUMEN | 1 |
| CAPÍTULO I INCIDENTES CRÍTICOS CAUSADOS POR RESIDUOS PELIGROSOS. | 2 |
| CAPÍTULO II DEFINICIONES PRINCIPALES EN RESIDUOS PELIGROSOS. | 27 |
| CAPÍTULO III TIPOS DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS FÍSICOS TÉRMICOS BIOLÓGICOS | 46 |
| CAPÍTULO IV PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE SUELOS. | 85 |
| CAPÍTULO V MÉTODOS PARA LA BIOREMEDIACIÓN DE SUELOS Y SUS COSTOS. | 100 |
| SISTEMAS IN SITU | 125 |
| SISTEMAS EX SITU | 126 |
| CONCLUSIONES | 130 |
| FUENTES BIBLIOGRÁFICAS | 132 |
| SIGLAS | 135 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS | 135 |
| APÉNDICE A LEGISLACIÓN AMBIENTAL NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE RESIDUOS PELIGROSOS. | 186 |
| APÉNDICE B LISTA FEDERAL DE SUSTANCIAS QUÍMICAS. | |

RESUMEN

Este trabajo contiene los incidentes causados por residuos peligrosos a nivel mundial y sus respectivas consecuencias de las cuales se tiene una información limitada ya que no se cuenta con un banco de datos dedicado a la recopilación específica de estos sucesos y la información que existe se dispersa.

En México se cuenta con una legislación adecuada pero que aún esta en proceso, que abarca tratamiento, transporte, disposición, etc. la cual difiere en algunos conceptos con respecto a la legislación de Estados Unidos, Canadá o Europa.

Durante mucho tiempo, no hubo restricciones gubernamentales para el manejo y disposición de residuos peligrosos, y la práctica común era simplemente deshacerse de ellos al menor costo.

Hay diferentes tratamientos (físicos, químicos, térmicos, biológicos) aplicados a residuos peligrosos los cuales disminuyen su peligrosidad.

Es necesario tener un buen control sobre los residuos peligrosos "desde la cuna hasta la tumba", es decir desde el proceso de materias primas hasta la disposición de sus respectivos residuos.

El objetivo de este trabajo es encontrar un método (tecnología) viable para remediar los suelos contaminados por hidrocarburos, es por eso, que se incluyó un pequeño análisis de las características y propiedades de los suelos y así poder determinar que método se aplica mejor a determinado tipo de suelo.

Hay que tener en cuenta que la elección de la mejor manera de tratar determinado residuo peligroso depende de varios factores, incluyendo la disponibilidad y lo adecuado de las instalaciones con que se cuente para su tratamiento. Depende también de los estándares de seguridad, las características del medio ambiente y las consideraciones de costos. Ninguna tecnología ofrece seguridad absoluta y a cualquier tratamiento está asociado un nivel de riesgo. En general, mientras más rigurosas sean las medidas de seguridad de determinada tecnología, menos serán los riesgos y mayores los costos.

Por último se trató de analizar una tecnología reciente llamada Biotecnología la cual se define, desde el punto de vista industrial, como el conjunto de tecnologías nuevas y tradicionales que involucran la aplicación de procesos biológicos y de organismos vivos o sus partes.

Se estudiaron todos y cada uno de los tratamientos biológicos tratando de escoger el mejor método tanto técnico como económico.

CAPITULO I

INCIDENTES CRÍTICOS CAUSADOS POR RESIDUOS PELIGROSOS

INTRODUCCIÓN

Las evidencias de que en México se han presentado incidentes en los que la población humana y el medio ambiente se han visto afectados por el manejo inadecuado de Residuos Peligrosos se encuentran dispersas. Al existir en México una legislación que se encuentra en proceso, que regule su adecuado registro, manejo y disposición, el seguimiento de las poblaciones afectadas es difícil, ya que en ocasiones los expedientes de estos pacientes se hacen con base en los efectos (envenenamiento, irritación ocular, dermatosis, etc.) y no en el agente que los provocó.

No obstante, se considera que la presentación de casos específicos tiene importancia en tanto que documentan situaciones críticas y alertan sobre lo que puede llegar a suceder por el manejo inadecuado de Residuos Peligrosos.

Los casos que a continuación se describen no son, representativos de la totalidad de la problemática, sino que son situaciones extremas a las que se ha llegado y que por lo mismo han merecido la atención pública.

Es interesante considerar, al referirse a los riesgos de los residuos peligrosos, no sólo sus efectos en la salud y el medio ambiente, sino también, entre otros, los siguientes aspectos; actitud de quienes generan los residuos peligrosos; actitud de la población involucrada; fuentes de información del evento; seguimiento de las secuelas del evento; acciones legales; posibilidad de previsión de incidentes futuros; pagos por responsabilidad civil; tendencias.

Algunos aspectos comunes de estos eventos fueron:

- La ignorancia del peligro al que las poblaciones estuvieron expuestas.
- Prolongados lapsos de tiempo transcurridos entre las primeras manifestaciones, un diagnóstico sólido y las acciones correctivas.
- Intervención vigorosa de la prensa a nivel local, nacional y mundial.

Envenenamiento por mercurio en Minamata

La enfermedad conocida como de Minamata fue la primera que se conoció por la contaminación de un desecho industrial : el mercurio.

Minamata es el nombre de una bahía localizada en el suroeste japonés, en donde la empresa Chisso instaló una fábrica que vertió sus desechos que contenían mercurio desde 1907. Las primeras manifestaciones se observaron en 1950, cuando se encontraron peces muertos flotando en el área. Años después empezaron a morir perros, gatos y cerdos, sin embargo; la pesca se seguía practicando en la bahía y la población seguía consumiendo las especies ahí capturadas.

En abril de 1956, una niña de casi 6 años entró al hospital de la corporación Chisso con síntomas de daño cerebral. Cinco semanas después, ingresaban su hermana menor y cuatro personas más con los mismos síntomas. Se inició entonces una investigación y se encontraron 30 casos, muchos de los cuales presentaban síntomas desde 1953. Se llevaron a cabo diversos análisis y experimentos, que permitieron determinar en 1960 como causa de la enfermedad al metilmercurio contenido en los pescados que la población consumía. La enfermedad se presentó en bebés cuyas madres consumieron pescado contaminado durante el embarazo, o lo consumían en el periodo de lactancia. Por medio de experimentos posteriores en animales de laboratorios, se confirmó el paso del mercurio a través de la placenta y el daño en el sistema nervioso del embrión.

En 1962 se tenían confirmados oficialmente 121 casos de la enfermedad, y 46 pacientes murieron. Ya para 1974 estas cifras habían ascendido a 798 casos de enfermedad y 107 muertos. Se tenían registros que permitían calcular un 29% de niños afectados con deficiencias mentales y que habían nacido entre 1955 y 1959.

Hasta 1968 se logró que la empresa dejara de arrojar sus desechos a la bahía y en 1975 la Corporación Chisso tuvo que pagar 80 millones de dólares de indemnizaciones. La enfermedad producida por ingestión de metilmercurio y nombrada actualmente como "Enfermedad de Minamata", es la primera conocida como resultado de la contaminación de un desecho industrial.

El caso de Minamata llevó a los ciudadanos a concluir que "La moral que hace a la contaminación criminal sólo después de un proceso legal, es la moral que causa la contaminación".

Fuente: Hara, M. Minamata Disease. A Medical Report. en: Smith, W. E., Smith, A. Minamata. An Alskog-Sensonum Book. Hart, Reinhardt and Weston (Eds). New York, 1975.

El caso de Love Canal, Nueva York

La historia de Love Canal comenzó en 1892, con la iniciativa de William T. Love para construir un canal navegable que conectara las partes alta y baja del Río Niágara, en el norte del estado de Nueva York, Estados Unidos. Los trabajos se iniciaron con la excavación, una sección de 3000 pies de largo, 6 pies de ancho y 10 pies de profundidad; pero, por razones económicas, estas tareas fueron interrumpidas. El terreno se utilizó como depósito de desechos municipales hasta que fue adquirido por la Compañía Hooker durante la Segunda Guerra Mundial, quien a partir de 1942, lo utilizó como sitio de depósito de desechos químicos, en especial de sustancias organo cloradas. Después de rellenar el canal con arcilla, en 1953 el terreno pasó a ser propiedad (mediante simbólico pago de 1 dólar) de la Comisión de Educación, y sólo dos años después iniciaba sus labores una nueva escuela en ese lugar, que abrió sus puertas a 400 estudiantes. Pronto aparecieron numerosas viviendas en las cercanías del antiguo canal. Si bien la Comisión de Educación fue advertida de la presencia de sustancias tóxicas desechadas y depositadas en el subsuelo, a los dueños de las viviendas no se les notificó esta situación.

La primera señal del problema tuvo lugar en 1958, cuando dos niños se vieron afectados por quemaduras químicas mientras jugaban cerca de un camino en construcción. 18 años después de este incidente, haciendo caso a las continuas quejas de los residentes del área, el condado contrató a una empresa especializada para investigar la situación. El descubrimiento de las sustancias químicas enterradas en el sitio y presentes en el ambiente obligó al Departamento de Estado a involucrarse en las investigaciones y determinó en 1978 la evacuación de mujeres encinta y de niños menores de 2 años; así mismo, ordenó la clausura de la escuela. Entre los síntomas que afectaron a la población formada por 239 familias, se reportaron: alta incidencia en abortos, muerte súbita infantil, malformaciones congénitas, bajo peso al nacer; y en adultos, incidencia en enfermedades urinarias y colapsos nerviosos diversos.

La enorme presión pública provocada por la comunidad constituida desde 1978 en una organización denominada "Love Canal Homeowners Association", y que en poco tiempo llegó a contar con la membresía de 500 familias, logro finalmente que el Presidente J. Carter ordenara la evacuación total del área en 1980.

Como resultado de esta misma presión pública, el gobierno se vio obligado a invertir 36 millones de dólares (hasta 1981) en la limpieza y rehabilitación del área, así como en la reubicación de los damnificados cuyas viviendas se demolieron. Los desechos fueron confinados en el mismo sitio, y se tienen sistemas de monitoreo permanentes en el área.

Fuente: Love Canal: A chronology of events that shaped a movement. Compiled by the Love Canal Homeowners Association, Citizens Clearinghouse for Hazardous Waste, Inc. A Grassroots Environmental Crisis Center. Arlington, Va. 22216. 1984.

El caso de Lekkerkerk en Holanda

En Lekkerkerk, una villa de casi 7000 habitantes cerca de Rotterdam, la mayoría de los cuales trabajaba en Gouda o Delft, se desarrolló entre 1976 y 1978 un suburbio para personas de clase media alta. A partir de 1978 los residentes de ese lugar empezaron a notar olores desagradables en los sótanos de sus residencias, por lo que se hicieron investigaciones por parte del Departamento de Higiene y se pudo comprobar que el agua estaba contaminada.

En 1980 los habitantes del suburbio presentaron su queja al Departamento de Higiene respecto a los olores "del tipo de solventes usados en pinturas". Esta queja fue la que desencadenó las acciones, y se pudo comprobar la presencia de tolueno y xileno en el suelo. Se ordenó la evacuación de 250 familias que sumaban un total de 870 personas, las cuales tuvieron que ser alojadas en casas móviles o en apartamentos cercanos mientras se realizaban las tareas de limpieza.

El lugar se había usado desde 1970 para el entierro de barriles que contenían sustancias tóxicas. Se pudieron detectar cerca de 5000 barriles y las investigaciones posteriores permitieron identificar a la empresa Wijnstecker B. V., dedicada al manejo de desechos industriales, como la responsable del entierro.

La población se vio afectada mayormente por el impacto psicosocial del incidente y, aun cuando varios de ellos presentaron síntomas de mareos, dolores de cabeza, se reportaron algunos casos de abortos espontáneos y se detectó la presencia de hidrocarburos aromáticos en sangre de algunas de las personas expuestas, en ninguno de los casos pudo establecerse una definitiva relación causa-efecto.

Lekkerkerk se convirtió en el Love Canal de Holanda: los análisis de agua y suelo revelaron la presencia de etil benceno, tolueno, xileno, ciclohexano, benzo(a) pireno, derivados halogenados de hidrocarburos aromáticos y alifáticos, alquilbencenos (C1-C10), perileno, metales pesados, cianuros, haluros inorgánicos y fenoles. Las acciones que tuvo que tomar el gobierno fueron: la demolición de las viviendas y la construcción de viviendas temporales. Esta acción tuvo un costo de 1250 millones de florines; el desarrollo de nuevas tecnologías; implementación de normas legislativas sobre estos aspectos; el establecimiento de normas, laboratorios y propuestas al gobierno para el diseño de confinamientos para la disposición final de sustancias químicas peligrosas; sistemas de monitoreo y vigilancia y el cuidado de las empresas a quienes se diera la licencia de operar los confinamientos con la capacidad financiera y técnica para ser responsables del lugar aun 20 años después de su cierre.

Pero Lekkerkerk fue sólo la punta del iceberg. Después de su descubrimiento, el Ministerio de Salud Pública encontró cerca de 3,000 entierros de sustancias químicas, de los cuales determinó que 350 representaban un riesgo inmediato para la salud pública y la calidad del agua potable. Otros 1000 se consideraron sospechosos.

El costo estimado para la limpieza de estos sitios prioritarios ascendían en 1982 a 410 millones de dólares, de tal modo que el gobierno holandés tuvo que pedir ayuda urgente a los EUA.

Se sumaron los esfuerzos de la EPA (Agencia de Protección Ambiental por sus siglas en inglés) y el gobierno de Holanda, para el desarrollo de tecnología anticontaminante y mejorar el "Know how" para la disposición y reciclaje de sustancias químicas tóxicas. Se pudo identificar como indispensable el establecimiento de 3 grandes plantas para el tratamiento de los desechos encontrados en los tiraderos ilegales, para lo cual no existían fondos.

Por otra parte; varias de las empresas dedicadas al manejo de desechos industriales, fueron a la bancarota como el caso de la empresa Uniser, a la que se encontró responsable de haber descargado a cuerpos de agua superficiales por lo menos entre 73000 y 150000 toneladas de sustancias químicas.

Otro hallazgo importante, que vale la pena mencionar, fue el de Gouderak, cerca de Lekkerkerk, que reveló la presencia de 14.6 toneladas de plaguicidas, 13.2 toneladas de PCB (Bifenilos Policlorados) y 135 toneladas de hidrocarburos aromáticos. El costo de la limpieza y demolición de 96 viviendas se estimó ascendería a decenas de millones de dólares, de los cuales los ciudadanos reclamaron al gobierno el 10%.

Fuentes: Chemical Engineering, 87(11):26, 1980.
Chemical Business (Supl. Chemical Marketing Reported) Jan. 11:25-30, 1982.
European Chemical News, 39(1058):22, 1982.
Chemical Age (London), 23:3, 1980.
New York Times, Jun 8, 1980.
Tweede Kamer zitting 1979-1980, 16 187, nrs 1-2.

Daños a la salud provocada por metales pesados (Japón)

Japón, 1960. La población se vio afectada por ingestión de alimentos contaminados cultivados en campos irrigados con aguas residuales que contenían zinc, cadmio y plomo. Los daños a la población fueron: musculoesqueléticos, fracturas múltiples, nefropatías. Se determino como agente causal al cadmio, aunque no se descartó la posibilidad de interacciones con los otros metales.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Daños a la salud provocada por PCB

Michigan, EUA, 1973. Un derrame de PCB sobre alimentos para ganado durante el transporte. Contaminación de leche y carne. 4545 personas se vieron afectadas. Los daños a la salud no fueron esclarecidos aunque se encontraron niveles de PCB en las personas expuestas.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Contaminación causada por PCB

Indiana, EUA, 1977. Se usaron lodos activados con alto contenido de PCB como fertilizantes; los cultivos se contaminaron y 148 personas ingirieron alimentos ahí cultivados. Se encontraron niveles de PCB en sangre pero la única posible relación encontrada fue una alteración en el metabolismo de lípidos causada por los PCB.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Daños a la salud causada por Ácido Sulfúrico

Yorkshire County, Gran Bretaña. El condado tuvo que pagar 250,000 libras esterlinas para evacuar a los residentes de Ravenfield, excavar un entierro cerrado y, neutralizar el ácido sulfúrico aún presente 6 años después de que una empresa dedicada a recuperar aceite dejara de depositar sus residuos ahí. Los habitantes hicieron la denuncia después de que varios de sus niños sufrieron serias quemaduras al estar jugando en el sitio.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Contaminación de corrientes de agua provocada por fenoles

Derbyshire County, Gran Bretaña, 1978. En este condado operó, sin cubrir los requisitos previstos para el manejo de desechos peligrosos, una antigua mina de hulla. Sin previo aviso a las autoridades locales, recibieron sustancias desconocidas y otras con riesgos falsificados, recibieron líquidos, semisólidos, que al ser depositados sin ninguna medida de seguridad, contaminaron las corrientes de agua. Una vez que las autoridades hicieron los análisis del agua, respondiendo a las demandas de los habitantes, encontraron grandes cantidades de fenoles y la demanda biológica de oxígeno (DOB) no era satisfactoria. Los habitantes del lugar, reportaron que la compañía dejó de trabajar en días hábiles, pero que seguía depositando residuos los fines de semana.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Se derramó gasolina de un tanque de almacenamiento subterráneo.

Massachusetts 1982. El problema de contaminación ocurrió cuando una cantidad indeterminada de gasolina se derramó de un tanque de almacenamiento subterráneo. El área de la pérdida fue de 6 a 7 ft. entre la capa roja y café del suelo. La profundidad del agua subterránea es de 20 a 25 ft.

El impacto de la pérdida incluye una fase disuelta que se extiende aproximadamente 250 ft. en dirección norte-sur y 350 ft. en dirección este-oeste con rangos de concentraciones de 10mg/L a 15 mg/L de gasolina. La fase libre de hidrocarburo estuvo ausente.

El sistema de remediación diseñado e implementado a este sitio incluye la manipulación vía bombeo de la tabla de agua y la pluma contaminada, el burbujeo de aire acelera la bioremediación in situ de las fases adsorbida y disuelta por la adición física de oxígeno y nutrientes. El sistema de burbujeo de aire, consiste en compresores de aire mecánico, líneas de aire y pozos con difusores.

El sistema de burbujeo de aire es parcialmente efectivo en la entrega del oxígeno necesario en el área perimetral. Las mayores limitaciones se enfocan en la cantidad de oxígeno que pudo ser inducido para el crecimiento de microorganismos.

Los primeros 11 meses de operaciones mostraron una reducción del 50 al 85% de contaminantes orgánicos. Cuando la reducción llegó al 85%, el tratamiento se estabilizó indicando que el burbujeo de aire fue un sistema limitado. La contaminación residual quedó en la fase adsorbida atrapada en las fracturas de las rocas del suelo.

Un programa para acelerar la velocidad de transferencia de oxígeno fue subsecuentemente incorporada a el sitio como un esfuerzo para completar el proyecto de restauración. El programa envolvió la distribución de un incremento en las cantidades de oxígeno a el agua subterránea vía alimentación por goteo de cantidades diluidas de peróxido de hidrógeno (100 mg/L). Este caso demuestra que el burbujeo de aire es inefectivo en tratamiento de la fase adsorbida, y también indica que el mantenimiento del sistema de burbujeo de aire es significativo y por lo tanto no es recomendable su aplicación en programas de periodos largos.

Fuente: Kobayashi, H. and Rittmann, B.E., "Microbial Removal of Hazardous Organic Compounds" Environ. Sci. Tech. 16, pp. 170a-183a, 1982

Se derramó petróleo de tanques subterráneos, líneas y bombas de una estación de servicio.

Canadá, abril 20 1987. El área en la cuál ocurrió la pérdida fue un complejo geológico con una distribución de hidrocarburos alcanzando la tabla de agua, el flujo de agua subterránea contaminada llegó hasta una zona de establecimientos comerciales. Tres áreas de interés fueron adicionadas a el programa de bioremediación: Área A fue el área de alta contaminación con hidrocarburos; Área B fue el área donde se localizaban los tanques de almacenamiento subterráneo; y Área C fue la zona de establecimientos comerciales los cuales fueron impactados por la fase separada de hidrocarburos.

El programa de remediación general diseñado para este sitio envuelve la bioremediación in situ de el agua subterránea impactada y los sedimentos a través de la adición de agua aerada suministrada con nutrientes y peróxido de hidrógeno. Una reducción al 95% fue obtenida en los niveles de hidrocarburos disueltos en 5 meses de operación en el área A. La respuesta en el área B fue la menos dramática y más variable, con la reducción de niveles disueltos (40 a 50 %) lograda en pocos meses representando el tratamiento en la fase adsorbida más permeable. El área C logró un 85% de reducción en la contaminación por hidrocarburos en aproximadamente 6 meses.

Fuente: Kobayaski, H. and Rittmann, B.E. "Microbial Removal of Hazardous Organic Compounds" *Environ. Sci. Tech.* 16, pp.170a-183a, 1982

Se registraron 16 explosiones ocasionadas por acumulación de gas hexano en las alcantarillas, Guadalajara.

23 de abril de 1992, el siniestro que tuvo lugar en la ciudad de Guadalajara, que destruyó una extensa área comprendida por 20 manzanas, dejando decenas de muertos y miles de heridos y damnificados.

La tragedia es calificada como un desastre industrial. Presumiblemente la explosión se produjo porque una fábrica de aceite comestible (La Central), ubicada en la zona, dejó escapar gas (hexano) por una fuga que lo condujo hasta el sistema de alcantarillado, y éste explotó.

De acuerdo a la versión oficial, los tóxicos o los solventes fueron regados en el colector y drenaje que cubren gran parte del Sector Reforma. Eran las 10 de la mañana del martes 21 cuando los vecinos se percataron de un penetrante olor a gas y gasolina. Se pidió el auxilio de los bomberos, quienes más tarde hicieron acto de presencia. Iniciaron sus labores, y seguía el olor. De acuerdo con las versiones de testigos de los hechos y de los sobrevivientes de esta tragedia, los bomberos descubrieron a eso de las 6 de la tarde que en un colector de agua de nueve metros de profundidad habían gasolina, gases y aceites.

Una vez descubierto el problema, los bomberos procedieron a destapar colectores y dijeron a los vecinos que no había ningún peligro y recomendaron abrir las llaves de agua para diluir el o los tóxicos o solventes. Pero insistieron en que podían dormir tranquilos.

Fuente: Juan Nieto Martínez, Tomás Rojas Madrid, "Prensa", Jueves 23 de abril de 1992.

Contaminación por desechos que contenían arsénico, Coahuila.

Una compañía metalúrgica establecida en 1901 en Torreón, Coahuila, y dedicada al beneficio de minerales, contaba en 1962 con 720 trabajadores y beneficiaba alrededor de 350 000 toneladas de mineral al año, dedicados a producir plomo argentífero y trióxido de arsénico como principales productos. Como resultado de sus procesos de beneficio, habían acumulado cerca de 6 millones de toneladas de escoria (grasa de horno) con un contenido de 24.43 mg de arsénico por cada 100 gramos de escoria. La tenían dentro de los patios de la empresa en montones y ocupando una superficie de 169,000 m². Se emitían al aire 600 Kg. de contaminantes que contenían: anhídrido sulfuroso, además de plomo, cadmio, arsénico, bismuto y antimonio. Como subproductos se recuperaban diariamente 150 toneladas de ácido sulfúrico.

Se presentó un padecimiento desconocido con características de epidemia (40 casos) en la colonia Miguel Alemán, se reportó una defunción y se tuvo conocimiento de brotes anteriores similares.

El brote epidémico desconocido reportado en 1962 en la colonia Miguel Alemán, llevó a la SSA a través de los Servicios Coordinados del Estado y la Dirección de Epidemiología y Campañas Sanitarias, lo mismo que a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, a llevar a cabo un estudio de la población posiblemente afectada por ingerir agua contaminada con arsénico.

Se hicieron muestreos del suelo alrededor de la empresa a 20 cm de profundidad y de agua de un pozo cercano a 12 metros de profundidad con un espejo de agua de aproximadamente 33.5 cm. Se realizaron análisis de los vegetales, en los que se encontraron concentraciones de arsénico de 0.54 mg/100 gramos y en plumas y pelo de animales domésticos, en los que se llegaron a encontrar concentraciones de 4.12mg/100 gramos.

En una encuesta hecha por el personal del centro de salud local, se encontraron 184 personas sanas y 290 enfermos (61.18%), de los cuales 146 eran hombres y 144 mujeres. Análisis de arsénico en el pelo de algunos casos expuestos revelaron que la impregnación del arsénico en uñas, pelo y orina de los enfermos dieron valores altos.

Cabe mencionar que la región de la Laguna, con un clima muy seco y templado e inviernos benignos, ha padecido en diferentes zonas hidroarsenicismo crónico endémico. Se han realizado diferentes estudios epidemiológicos en distintas comunidades de la zona, por lo que ha podido comprobarse la ingestión crónica de arsénico, manifestada con padecimientos cutáneos y otros signos y síntomas atribuibles al arsénico.

Fuente: Vega, G.S. Evaluación Epidemiológica de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales. 6. Toxicología. III. Aspectos específicos de la toxicología de algunos contaminantes. Centro Panamericano de Ecología Humana, OPS/OMS, Metepec, 35-39, 1985.

Contaminación por desechos que contenían cromo en Tultitlán, Estado de México.

En 1958 se estableció en San Francisco Chilpan, municipio de Tultitlán, Edo. de México, una empresa *procesadora de cromita* para obtener cromatos de sodio y potasio y sulfato de sodio. Entonces sólo existían en ese sitio algunas empresas y no se le consideraba, por tanto, como zona habitacional. Cerca de ella se encontraban: una planta termoeléctrica, una fábrica de productos químicos plásticos, una productora de llantas y una elaboradora de bebidas alcohólicas.

Durante los primeros 15 años de trabajo de la empresa de cromita, hasta 1973, la *planta trabajó con tecnología atrasada* y con negligencia notoria en el manejo de los residuos industriales: el proceso se llevaba a cabo a cielo abierto, no se tenía control de emisiones de polvos ni de aguas residuales y los desechos sólidos se acumulaban en los patios de la empresa. Hasta 1973 las autoridades federales de salubridad y del trabajo recomendaron mejoras en el proceso de elaboración de los cromatos.

Los desechos sólidos que corresponden a residuos del llamado rostizado fueron empleados durante varios años por la autoridades municipales para el relleno de las calles de Lechería y San Francisco Chilpan. Por lo que puede deducirse que nadie consideró su uso como un riesgo ni habían notado ningún supuesto daño debido a la presencia de la fábrica. La alarma se inició en 1974.

A partir de 1974, los habitantes de las comunidades de Lechería y San Francisco Chilpan empezaron a utilizar los medios de comunicación masiva para manifestar su inconformidad por la presencia de la empresa procesadora de cromita y a informar sobre supuestos "daños a la salud". Esto llevó a diversos grupos a hacer afirmaciones sobre los posibles efectos en la salud de la población.

La SSA (Secretaría de Salubridad y Asistencia, ahora Secretaría de Salud) consideró que era necesario realizar una investigación rigurosa y sistemática de la población abierta y de los trabajadores de la empresa.

La investigación se inició en el segundo semestre de 1977, atendiendo a las demandas de la población posiblemente afectada por la presencia de la planta procesadora de cromita, de la cual se había comprobado un manejo inadecuado de sus desperdicios industriales, descargas de aguas residuales y deficiencias en el proceso.

A) Estudios realizados a la población laboral.

Se decidió investigar a la población abierta y a la población laboral.

Respecto a la población cerrada se planteó la hipótesis de que los obreros y empleados padecían daños en su salud atribuibles al manejo inadecuado de los compuestos de cromo durante el proceso industrial. Para probar la hipótesis, se buscaron tasas variables de ataque clínico y subclínico por cromo en los obreros y empleados de la planta. Se consideró como caso de intoxicación por cromo aquél que reuniera los requisitos siguientes:

1.- Cuadro clínico consistente en la presencia de la primera o de dos de las otras manifestaciones.

- a) Destrucción completa o perforación del tabique nasal.
- b) Hipertrofia de cornetes o tumoraciones intranasales.
- c) Hiperemia de la mucosa nasal.
- d) Conjuntivitis crónica.
- e) Ulceraciones cutáneas crónicas o procesos de cicatrización lenta.

2.- Cuadro subclínico expresado exclusivamente por concentraciones anormales de cromo y plomo en orina.

Del personal de la planta se obtuvieron los siguientes resultados de manifestaciones clínicas.

| Manifestaciones clínicas en los trabajadores de la planta de cromatos | | |
|--|----------------|------------------|
| Signos | Obreros | Empleados |
| Séptum nasal perforado | 65 | 3 |
| Hipertrofia de cornetes | 49 | 6 |
| Mucosa nasal hiperémica | 100 | 15 |
| Irritación conjuntival | 32 | 4 |
| Dermatosis | 3 | 0 |

Fuente: Neri, R. et. al. Daños a la salud de los trabajadores de una fábrica de cromatos. *Salud Pública de México*, 22(2): 135-141, 1980.

Para la determinación de la línea base de cromo en sangre y pelo, se seleccionó a una población de la colonia Portales, (situada en el Distrito Federal, cerca del centro de la ciudad y varios kilómetros distante del poblado de Lechería), consistente de 520 personas de ambos sexos y todas edades.

Con base en los resultados de análisis obtenidos en esta muestra se decidió establecer como valores promedio para este estudio a los siguientes: sangre 26.4 ng/ml (nanogramos de cromo por mililitro de sangre); pelo 15 ppm de cromo.

Los valores encontrados en los obreros de la empresa fueron de 40.1 ng/ml en promedio con un rango de 29.8-54.3 ng/ml y en los empleados el promedio fue de 34.1 ng/ml con un rango de 28.3-37.6 ng/ml.

En la población testigo el promedio fue de 26.4 ng/ml con un rango de 16.0-36.0 ng/ml. Los análisis de cromo en sangre se hicieron en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y los de pelo en la Agencia Internacional de Energía Atómica en Viena, Austria, y en el Laboratorio de Análisis por Reacciones Nucleares de Namur, Bélgica.

Los estudios mostraron que las concentraciones de cromo en sangre y pelo fueron mayores en los obreros y empleados de la empresa que en la población no expuesta laboralmente.

El estudio de las defunciones del personal de la empresa desde su fundación. No mostraron un sólo caso de cáncer pulmonar o leucemia. Los daños del tabique nasal en el 46.4% de los obreros y el 15.8% de los empleados, la deficiente seguridad con la que los empleados trabajaban y lo obsoleto de los procesos industriales, demostraron que los obreros estaban expuestos al máximo de contaminación posible.

B) Estudios realizados a habitantes de las poblaciones de Lechería-San Francisco Chilpan.

La población de Lechería-San Francisco Chilpan contaba con 7900 habitantes a finales de 1977 cuando se realizó el estudio. Para la elección de la muestra de la población abierta se procedió a numerar todas las viviendas y a elaborar un croquis y dividirlo en 5 zonas de acuerdo con su densidad de población. Se seleccionaron al azar 166 viviendas donde vivían 948 personas, partiendo de la suposición de que el padecimiento tenía una frecuencia aproximada de 12%, de acuerdo a la población total de 7,900 y por una encuesta efectuada en 1976 a 1,409 individuos. Se seleccionó una población testigo similar a la comunidad de Lechería-San Francisco Chilpan, en cuanto a la misma densidad industrial, tamaño y acceso a servicios médicos, pero que no tuviera en su cercanía una empresa que procesara cromo.

Los estudios se efectuaron en los mismos laboratorios empleados en el estudio de la población laboral y se consideraron como normales los valores obtenidos por el estudio hecho a vecinos de la colonia Portales, D.F.

De las 948 personas seleccionadas se pudieron investigar clínicamente a 863 (91%). De ellas, ninguna tuvo destrucción completa o perforación del tabique nasal. En 197 de ellas se encontraron manifestaciones que podían atribuirse al cromo.

| Manifestaciones clínicas en la población de San Francisco Chilpan | | |
|--|---------------|---------------|
| Manifestaciones | Número | % |
| Hipertrofia de los cornetes | 41 | 20.8 |
| Hiperemia de la mucosa nasal | 109 | 55.3 |
| Irritación conjuntival | 37 | 18.8 |
| Dermatosis diversas | 10 | 5.1 |
| total | 197 | 100.00 |

Fuente: Neri, R.; et al. Posibles daños a la salud de una comunidad abierta por sales de cromo en el ambiente: IV. Investigación en la población de Lechería-San Francisco Chilpan. Salud Pública de México, 24(1): 27-31, 1982.

En cuanto al cuadro subclínico, expresado por concentraciones anormales de cromo en orina y cabello de las 863 personas de ambos sexos y de todos los grupos de edad, se encontró una mediana de cromo en la orina de 21.8 ng/ml, y en pelo una mediana de 13 ppm.

Este estudio, realizado por personal de la SSA en 1977 y publicado en 1981, a pesar de los hallazgos mencionados, tuvo como conclusión que "los habitantes de Lechería-San Francisco Chilpan nunca estuvieron expuestos a un ambiente contaminado por cromo. Si no hubo exposición no es sensato continuar diciendo que en los próximos años aparecerán en la población efectos a largo plazo del cromismo".

Fuentes:

- (1) Nerf, R.; González Cortés, A.; Gossel, G.; Quiñones, A.; Posibles Daños a la Salud de una comunidad Abierta por sales de Cromo en el Ambiente. I. Programa de Investigación Epidemiológica comprensiva. Salud Pública de México, 22(1):81-84, 1980.
- (2) González Cortés, A.; Nerf, R.; Quiñones, A.; Mendoza, J.; Posibles daños a la salud de una Comunidad Abierta por Sales de Cromo en el Ambiente. II. Fisiología y patología del cromo. Salud Pública de México, 22(1):85-89, 1980.
- (3) Nerf, R.; González Cortés, A.; Quiñones, A.; Daños a la Salud de los Trabajadores de una Fábrica de Cromatos. Salud Pública de México, 22(2):135-141, 1980.
- (4) Nerf, R.; González Cortés, A.; Quiñones, A.; Posibles daños a la salud de una Comunidad Abierta por Sales de Cromo en el Ambiente. IV. Investigación en la población de Lechería-San Francisco Chilpan. Salud Pública de México, 24(1):25-32, 1982.

Entierro clandestino de compuestos de arsénico, Santa Catarina, N.L.

En 1985 se reportó la muerte de 300 cabras que habían pastado en Santa Catarina, N.L. Las autoridades de salud encontraron arsénico en el suelo y después de una inspección encontraron 30 toneladas de arsénico clandestinamente enterrado. No se encontraron evidencias de contaminación de aguas subterráneas. Las autoridades sanitarias consideraron que de no haberse presentado el envenenamiento de cabras, con el tiempo, por la movilización del arsénico, se hubiera originado un desastre ecológico de consecuencias graves.

Fuente: Vega G.S. Evaluación Epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. 10. Toxicología IV. Carcinógenesis química. Centro Panamericano de Ecología Humana. OPS/OMS, 21:31, 1985.

Sitio peligroso por la acumulación de calor, Tlanepantla, Estado de México

Este incidente, conocido como "Chocolatazo", se originó al tirar en un terreno baldío contiguo a un campo de fútbol en la colonia El Caracol, del municipio de Tlanepantla, Estado de México, residuos al parecer de materiales filtrantes conteniendo grasas, que al encontrarse mezclados, dieron lugar a un fenómeno endotérmico, con lo que se produjo un sitio peligroso por la presencia de un agente físico, en este caso: calor. Hubo alrededor de 16 personas afectadas, entre niños y adultos que en su camino rumbo a la escuela, al pasar por este terreno baldío, pisaron los montículos formados con el material filtrante y el calor ahí acumulado les produjo quemaduras graves. Este suceso se presentó por primera vez en marzo de 1984 y, aunque fue reportado y mereció la atención pública, inexplicablemente se repitió en junio del mismo año. Las acciones de remedio, se concretaron a tapar con tierra los montículos de DIP (Desechos Industriales Peligrosos). El origen de estos residuos no fue aclarada, aunque se señalaron diversas empresas aceiteras como las responsables.

Fuentes:

- (1) Excelsior, junio 4, 1984.
- (2) Excelsior, septiembre 4, 1984.

Desechos Industriales Peligrosos arrojados al drenaje

Los vecinos a una fábrica de teñidos de textiles ubicada en la Delegación de Coyoacán, D.F., presentaron su queja ante las autoridades, por la presencia de olores extraños (amoníaco) que emanan del drenaje y el color de las aguas residuales provenientes de la empresa localizada en las calles de Belisario Domínguez y Aguayo.

La empresa dedicada al teñido de textiles utiliza colorantes dispersos, básicos y directos. Consume alrededor de 100-150 kg./mes de colorantes, además de otras sustancias químicas para los baños de tinción como por ejemplo: ácido acético, sulfato de sodio, nitrito de sodio, acetato de sodio e hidrosulfito de sodio.

Fuente: Uno más uno, marzo 8, 1985.

Daños a la salud causada por vapores de Ácido Sulfúrico

1981. En Ciudad Netzahualcóyotl, Estado de México, el 3 de septiembre de 1981, se presentó una intoxicación masiva, causada por desechos sólidos que al ponerse en contacto con agua produjeron vapores de ácido sulfúrico. La población expuesta fue de 200 personas. Algunos síntomas fueron: irritación de ojos y de vías respiratorias superiores.

Fuente: Ortiz Ferrandó M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Desechos conteniendo asbestos

La única compañía dedicada a procesar asbestos en la zona noroeste del estado de Sonora arroja sus desechos peligrosos en el tiradero municipal, que se encuentra a 6 km. de la ciudad de Hermosillo. Los desechos son enterrados bajo la basura doméstica.

La cantidad de fibra reportada en el aire es de 3 fibras m^3 de acuerdo con los datos proporcionados por la misma empresa. No se tiene registro de incidentes. Conviene recordar que una sola fibra de asbestos del tipo amianto azul (crocidolita) es suficiente para causar mesotelioma pleural a una persona expuesta y que el cáncer pulmonar o pleural atribuibles al asbestos tardan alrededor de 20 años en manifestarse, por lo que sería recomendable establecer sistemas de vigilancia epidemiológica al mismo tiempo que implantar las medidas de contención adecuadas para proteger la salud de los trabajadores expuestos a estos residuos y de la población en general.

Fuentes:

- (1) Vega G.S. Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. ID. Toxicología IV. Carcinogénesis química. Centro Panamericano de Ecología Humana. OPS/OMS, 27-31, 1985.
- (2) Algram. United States Embassy in México, February, 1985. EO11652. Toxic Waste Problems in Mexico: Update Report (Post Reporting Program) February 1, 1985.

Contaminación y azolvamiento del Río Blanco.

El río Blanco, en Veracruz, se ha visto afectado por las descargas de cerca de 20 industrias localizadas a lo largo de su ribera, las cuales descargan sus aguas residuales contaminadas con sustancias químicas directamente en él. Las industrias ahí ubicadas, son de las siguientes ramas: cafetalera, cervecera, papelera, de productos farmacéuticos, de productos químicos, de tenería, de textiles y azucarera.

Las descargas industriales y las domésticas provenientes de las poblaciones de: Cd. Mendoza, Nogales, Río Blanco, Orizaba, Ixtaczoquitlán y Córdoba, llevaron a la Secretaría de Recursos Hidráulicos a declarar el problema de contaminación del Río Blanco como prioritario en 1975. En los siguientes años se han intentado y llevado a cabo diversas acciones, por parte de los municipios y las industrias ahí localizadas pero, precisamente, esta diversidad de intereses ahí reunidos no ha permitido llegar a una solución integral, y el daño al equilibrio dinámico natural ya es evidente.

Estudios realizados por el Instituto Nacional de Recursos Bióticos (INIREB) han detectado cantidades considerables de zinc y plomo en los sedimentos del río, cuyos efectos adversos para la flora acuática y algunas especies animales ha sido demostrada.

Fuentes:

(1) Weisser, T. Contaminación del Río Blanco y azolvamientos en plantas hidroeléctricas por los desechos sólidos. *Uno más uno*, abril 30, 1984.

(2) Albert, L.; Bacillo, G.F. Determinación de plomo y zinc en sedimentos del Río Blanco, Veracruz. *Revista Sociedad Química de México*, 29(4):200, 1985.

Recuperación inadecuada de solventes y residuos de pinturas

Vecinos de la delegación Tlahuac, D.F., en agosto de 1984 presentaron su queja ante las autoridades correspondientes, por segunda ocasión (la primera queja la presentaron en 1983), contra una empresa dedicada a la recuperación de solventes de pinturas. Las personas afectadas reportaron malestares, náuseas, vómitos y dolores de cabeza los días en que dicha empresa realizaba los procesos de destilación.

Durante la visita realizada a la empresa pudieron observarse grandes cantidades de barriles que contenían DIP en espera de ser procesados en el patio, cerca de la barda que la separa de las casas habitación vecinas.

Las deficiencias en sus equipos de control de emisiones al ambiente, provocaban el escape de vapores de solventes, y las descargas al drenaje de aguas residuales eran considerables.

Fuente: Reporte de la atención a la queja presentada por los vecinos de la Delegación de Tlahuac en relación a una fábrica dedicada a la recuperación de solventes.
Comisión de Ecología, DDF, 1985.

Importación ilegal de residuos peligrosos.

1981. Las autoridades mexicanas arrestaron el 7 de marzo de 1981 al propietario de una mina de mercurio en Mazapil, bajo acusación de importar ilegalmente 42 tambores de residuos, conteniendo altas cantidades de PCB.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Intoxicación causada por disposición inadecuada de plomo

1983. Por la disposición inadecuada de desechos peligrosos, se produjo un caso de intoxicación con plomo en La Clavia, Baja California, a 10 km. de la ciudad de Tijuana.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Almacenamiento inadecuado, Nuevo León.

1984. En el Cañón de Huajusco, en Nuevo León, la empresa Quisisan fue clausurada por almacenar inadecuadamente sustancias químicas y residuos. Las autoridades determinaron que estas prácticas podrían contaminar la Presa de La Boca.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Contaminación del Río Coatzacoalcos por Desechos Industriales Peligrosos arrojados por el complejo petroquímico Pájaritos.

Durante más de 10 años se ha estudiado la contaminación del Río Coatzacoalcos provocada por los desechos industriales del complejo petroquímico Pájaritos. Los desechos arrojados al río han hecho disminuir e incluso desaparecer especies de interés comercial para los habitantes de la zona. La disminución de especies como el Robalo (*Centropomus undecimalis*), Bagre (*Arius melanopus*), Mojarra (*Ciclasoma guttulatum*) y otras es alarmante. Los valores de plomo acumulado en estas especies y determinados por estudios realizados por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas de IPN, han reportado valores de este metal en riñón de 0.1 ug/g-10 ug/g.

Los resultados epidemiológicos realizados en los habitantes de la zona han dado cifras alarmantes. De una muestra de 474 individuos, la media global de plomo en sangre fue de 71.34 ug/100 ml (el criterio de EPA considera como límites máximos permisibles 30-40 ug/100 ml).

Pero el plomo es sólo uno de los contaminantes a los que se ven expuestos el medio ambiente y los habitantes de esta zona. El problema es tan diverso como el complejo industrial mismo.

Día a día son arrojados al río residuos conteniendo diversas sustancias: hidrocarburos, carbonatos e hidróxidos de calcio y magnesio, sales de cromo, cianuros y sulfocianuros, plomo, bismuto, mercurio, derivados halogenados de hidrocarburos aromáticos y alifáticos, fenoles, etc.

Los daños causados a la flora y la fauna ya han sido reportados. El impacto en la agricultura y ganadería de la zona son denunciados por los campesinos a los diversos medios de información y los estudios que se realizan a la población afectada están en curso, pero el costo social y ambiental quizás no sea nunca evaluado.

Fuentes:

- (1) Ochoa Solano, A.; Halfter, G.; Ibarra, R. Estudios de la Contaminación en el bajo Río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. Primer seminario sobre evaluación de la contaminación ambiental. Centro de Capacitación de Personal de la CFE Atlhuetzia, Tlax., 21-24 de octubre de 1971. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D.F. 1972. 115+pp.
- (2) Weisser, T. Severos daños a ríos del país pese a que la industria aún no se desarrolla. Uno más uno, mayo 7, 1984.
- (3) Pérez Zapata, A. J. La contaminación por plomo en Coatzacoalcos. Ciencia y Desarrollo, 9(52):80-86, 1983.

Daños a la vida marina por incineración de químicos tóxicos.

1984. El día 3 de agosto, los diarios La Opinión y El Bravo de Matamoros, Tamaulipas, publicaron que la incineración de químicos tóxicos en el Golfo de México a bordo del Barco Vulcanus, estaba causando daños a la vida marina de las costas orientales de México.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Mañey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Contaminación por plomo proveniente de una fábrica de acumuladores

Los vecinos de la colonia Agrícola Oriental en la Delegación de Iztacalco del Distrito Federal presentaron una queja ante las autoridades correspondientes, en contra de una empresa dedicada a la recuperación de plomo de baterías gastadas. Algunas personas habían manifestado signos y síntomas que podrían atribuirse a envenenamiento por plomo. Se habían sometido a análisis de sangre para determinar el contenido de plomo en niños y mujeres y con tales datos presentaron su queja. Se verificaron los valores obtenidos por un laboratorio privado y los resultados mostraron rangos en los niños de 13.5-30.8ug/100 ml de sangre y para adultos de 8.2 a 18.8ug/100 ml de sangre. Cabe hacer notar que estos últimos análisis fueron realizados en el laboratorio de la SSA reconocido por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para las determinaciones de plomo en México. Aun cuando los valores obtenidos muestran que las personas están expuestas a plomo, dichos valores no están fuera de los límites permisibles internacionales.

Los datos de monitoreo del suelo y aire dieron valores altos de plomo y la emisión de vapores al ambiente es evidente.

Los resultados de monitoreo de este estudio dieron valores entre 1.4-5.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma de EPA 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media aritmética sobre 3 meses). No se puede, sin embargo, excluir que parte de las cantidades de plomo encontradas tanto en aire y suelo, como en sangre de las personas afectadas, puede también provenir en gran medida de las emisiones diarias de los automóviles. Cabe recordar que esta zona de la colonia Agrícola Oriental se caracteriza por su alto flujo vehicular.

Fuente: Páramo Figueroa, V.H. Contaminación por plomo en la vecindad de una fundidora de baterías. Trabajo presentado en el coloquio sobre evaluación de riesgos derivados de la exposición a plomo. UNAM Inst. de Investigaciones Biomédicas, México, marzo 27-30, 1985.

Daños a la agricultura y ganadería.

1984. La contaminación de la Huasteca Potosina, debida a las descargas que las industrias papeleras, de bebidas alcohólicas e ingenios, realizan a los ríos Tampan, Gallinas, Valles, Mejillas y Moctezuma, ha ocasionado daños a la ganadería y la agricultura.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Contaminación provocada por PCB

1985. Como consecuencia del sismo del 19 de septiembre, se derramaron cantidades desconocidas de PCB en la Ciudad de México, provenientes de transformadores eléctricos dañados.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Incendio provocado por aceites lubricantes gastados.

1985. El mes de febrero de 1985, los pobladores de Santa Teresa de Cuauhtepic, Barrio Bajo, reportaron a la vigésima agencia del Ministerio Público del D.F. un incendio que afectó a 20 viviendas del lugar, ocasionado por aceites lubricantes gastados de camiones de la Ruta 100, que irresponsablemente arrojaron dichos aceites a una zanja junto a las viviendas.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

Residuos peligrosos depositados inadecuadamente.

1987. En las afueras de Tecamac, Edo. de México, fueron encontrados Desechos peligrosos al lado de un camino vecinal.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

La presencia de un sitio de disposición de residuos peligrosos puede ser nociva para la población aledaña, cuando ésta es capaz de notar olores extraños, ver la acumulación de envases y productos químicos dispersos o bien por los efectos que la población está presentando; como pueden ser: irritación de ojos o de piel, irritación de la garganta, malestares como: náusea, vómito, quemadura, etc.

Cuando ocurre, generalmente presentarán una queja ante las autoridades correspondientes por el peligro real o potencial que el lugar represente para ellos. Si esto sucede, la identificación de las sustancias presentes, el responsable del lugar y los posibles efectos adversos en la salud causados por los residuos peligrosos es factible. Procedería entonces a hacer una inspección del lugar, hacer un diagnóstico clínico de las personas posiblemente afectadas, consultar los diagnósticos de salud del lugar y decidir si procede o no el realizar estudios epidemiológicos detallados y una evaluación más precisa del sitio. Para ello tienen que tomarse en cuenta otros aspectos como:

Historia del lugar, para identificar casos de intoxicaciones anteriores, antiguos basureros, tiraderos industriales, empresas establecidas en el sitio en el pasado, sistemas de suministro de agua potable, condiciones meteorológicas que propicien el transporte de sustancias, redes de drenaje, datos geológicos para determinar posibles rutas de contaminación del suelo o acuíferos por escurrimiento y las zonas agropecuarias vecinas.

Cuando todo esto se ha hecho, no se habrá dado más que el primer paso. Harán falta mayores estudios para fundamentar las acciones preventivas y de limpieza del lugar, llevarlas a cabo con el costo social y económico que representen y, después, diseñar sistemas de monitoreo tanto ambiental como de la población para verificar que las medidas tomadas fueron las correctas.

Para los casos de residuos peligrosos explosivos, detonantes o inflamables, que pueden o no dar señales de su presencia, el peligro está más que latente y cualquier agente externo o imponderable puede ocasionar grandes desastres. Más aún: para sitios de los cuales la población no se percata sino cuando los efectos en salud se hacen presentes a mediano o largo plazo, puede ser que el sitio peligroso haya desaparecido, que las personas se hayan mudado o que no se encuentre al responsable del lugar. En este caso las asociaciones causa-efecto son imposibles.

En Estados Unidos, por ejemplo, ha crecido en forma sorprendente el número de sitios que han sido descubiertos en los que se tiraron o aún se tiran desechos potencialmente peligrosos. Es así que se han reportado la identificación entre 15,000 y 18,000 sitios de depósito de residuos peligrosos.

Fuente: Zegel, W.C. Hazardous Waste Management: An Overview of Hazardous Waste Issues. Journal of the Air Pollution Control Association, 35(1):51-54, 1985.

Posibles efectos de los Residuos Industriales Peligrosos en la salud.

Las evidencias que señalan que los Residuos Industriales Peligrosos pueden constituir un riesgo para la salud humana provienen principalmente del estudio de:

- Los individuos que se han expuesto durante el proceso de disposición final de los mismos.
- Personas que accidentalmente han tenido contacto con ellos en los tiraderos de desechos industriales.
- Habitantes de sitios que fueron empleados previamente como depósitos de residuos peligrosos.
- Trabajadores expuestos laboralmente a algunas de las sustancias que la industria desecha ulteriormente y
- Organismos de prueba expuestos experimentalmente a este tipo de agentes.

La información proveniente de esos estudios es extremadamente limitada si se toman en consideración la diversidad de agentes que constituyen los residuos industriales peligrosos y la multiplicidad de efectos que éstos pueden producir en variadas condiciones.

A continuación, se describirán algunos aspectos relevantes relacionados con la evaluación de los efectos en la salud de sustancias generadas y desechadas por la industria. Cabe mencionar, sin embargo, que para quienes pretenden salvaguardar la salud de la población, basta con el conocimiento de los efectos dañinos de tales sustancias en animales de experimentación para considerarlas inseguras, aun en ausencia de datos directos y confiables de sus efectos en humanos. Lo anterior se entiende si se toma en cuenta que los estudios epidemiológicos en humanos son difíciles, costosos y tardados y cuando ponen en evidencia una alteración a nivel de la población el daño en ésta ya se ha producido, con un alto costo social y económico.

Efectos crónicos y agudos de las sustancias tóxicas.

Dos aspectos influyen de manera importante en la dificultad para reconocer y diagnosticar un padecimiento ocasionado por la exposición a contaminantes ambientales en general y a los desechos industriales peligrosos en particular. El primero es que los síntomas pueden aparecer gradualmente y ser ignorados por la persona afectada. El segundo, el que dichos síntomas son con frecuencia comunes y pueden ser producidos por otras causas.

La manifestación lenta de los síntomas es característica de los padecimientos crónicos en oposición a las reacciones agudas. En algunos casos la enfermedad crónica puede tardar de 20 a 30 años en manifestarse, como es el caso del cáncer ocasionado por la exposición al asbesto, benceno o radiaciones. Los efectos de los agentes mencionados pueden ser además sutiles e insidiosos y provocar una sintomatología leve que no hace pensar en que se está crónicamente enfermo.

La exposición repetida a bajas dosis de sustancias irritantes genera la aparición de padecimientos crónicos. Tal es el caso del cloro, que a cada nueva exposición causa una irritación severa de las vías aéreas de los pulmones que se traduce en bronquitis crónica.

Sin embargo, estas alteraciones se confunden con las provocadas por la exposición continua a otros agentes como: óxidos de nitrógeno, humo de cigarro y polvo de algodón.

Las reacciones agudas constituyen, por su parte, afecciones que ocurren inmediatamente tras la exposición a los agentes contenidos en los desechos industriales peligrosos o a los contaminantes ambientales vertidos repentinamente en grandes cantidades. Por lo general, los efectos agudos son severos y en aquéllos considerados como fulminantes los cambios se presentan tan rápidamente que es prácticamente imposible proporcionar atención médica oportuna y la muerte sobreviene o se producen lesiones permanentes.

Cuando los individuos expuestos están agudamente enfermos y dicha exposición les impide ver o respirar, es fácil identificarlos comparativamente con los afectados por la exposición repetida a esos agentes. Entre los efectos producidos por la exposición continua a los agentes tóxicos, se encuentran el desarrollo de padecimientos crónico degenerativos, entre los que sobresale el cáncer.

Un tipo de efectos particularmente importante es aquel que no sólo afecta a los individuos expuestos a los agentes peligrosos, sino que también a su descendencia. Es así que se han identificado por medio de bioensayos animales, una variedad de agentes capaces de producir cáncer en la descendencia, y existen evidencias de que lo mismo puede ocurrir en humanos. En este caso, el efecto puede producirse directamente por la exposición in-útero de los productos de gestación, o bien puede deberse a mutaciones genéticas ocasionadas a las células reproductoras.

También se sabe que los agentes tóxicos pueden ocasionar la muerte de la progenie en diferentes etapas de su desarrollo, así como causar malformaciones congénitas y probablemente enfermedades de tipo hereditario.

De ahí que en la evaluación de los riesgos de exposición a los residuos peligrosos se incluya la determinación de su impacto en la reproducción.

Una de las mayores fuentes de información con las que se cuenta sobre los riesgos potenciales de la exposición a agentes tóxicos, deriva de los estudios realizados en el ambiente ocupacional, ya que la exposición continua por largos periodos a agentes químicos, que pueden encontrarse a elevadas concentraciones, han hecho posible la identificación de padecimientos que afectan al trabajador expuesto.

Ejemplos de los efectos ocasionados por diversos agentes químicos en los diferentes tejidos y órganos.

Afecciones del aparato respiratorio: Los pulmones pueden sufrir quemaduras si se inhalan altas concentraciones de sustancias como ácidos o bases, agentes corrosivos o altamente reactivos. Tal es el caso de la inhalación de amoníaco, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y cloro, dando lugar a quemaduras que se conocen como edema pulmonar. En este caso se trata de afecciones agudas que pueden ocasionar daño permanente en los pulmones.

Por el contrario, la exposición continua a bajas concentraciones de estas sustancias, produce una irritación continua de las vías aéreas, generando moco y favoreciendo la aparición de infecciones respiratorias.

Esta cadena de eventos y otros factores, conduce al desarrollo de enfisema (un padecimiento severo, resultante de la destrucción de las paredes de los delicados sacos aéreos). La exposición repetida a sustancias irritantes como el dióxido de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y el humo de tabaco, pueden conducir tanto al enfisema como a la bronquitis.

Las personas expuestas a fibras como el asbesto y otros productos industriales pueden desarrollar procesos de cicatrización pulmonar y una fibrosis crónica pulmonar como consecuencia.

Afecciones sanguíneas: Muchos agentes químicos generados por procesos industriales pueden interferir con la habilidad de la hemoglobina de fijar y liberar oxígeno, entre ellos el monóxido de carbono que se fija a la hemoglobina e interfiere con el transporte de oxígeno, privando a los tejidos de este elemento. Lo mismo ocurre con la anilina y sustancias similares que, al igual que la acetanilida, tolueno, trinitrotolueno, benceno, cloruro de vinilo, cloruro de metilo, arsina y plomo dañan además la membrana de los glóbulos rojos. Esto ocasiona su ruptura y libera hemoglobina, lo que ocasiona daño renal. Provocan, además, anemia aguda o crónica, dependiendo de la velocidad con la que ocurran los daños. La médula ósea puede también verse afectada por la exposición a diversos agentes químicos como el benceno que puede ocasionar leucemia.

Afecciones del sistema cardiovascular: Se cree que ciertas sustancias pueden provocar depósitos de colesterol en los vasos sanguíneos pequeños. Por ejemplo: el disulfuro de carbono y plomo, formando placas que estrechan los vasos, dificultan la circulación sanguínea y favorecen ataques cardíacos.

Afecciones hepáticas: La inflamación del hígado o hepatitis, puede ser ocasionada por la exposición a agentes químicos como el tetracloruro de carbono, tetracloroetano y otros derivados halogenados; metales como antimonio, berilio, cadmio, manganeso, y selenio; dioxano, fenol, naftaleno, dimetil sulfato, hidracina o nitrobenceno pueden ser causa de hepatitis o de fibrosis hepática, conocida como cirrosis.

Afecciones renales: Es conocido que diversos agentes químicos industriales pueden provocar afecciones renales agudas por el bloqueo de la circulación o el transporte de oxígeno. Otros agentes como el disulfuro de carbono y el plomo también producen el mismo efecto. El daño a las células de los tubos renales puede ser causado por mercurio, cromo, arsénico, ácido oxálico, etilenglicol, entre muchos otros compuestos.

Afecciones del sistema nervioso: Entre los agentes químicos que pueden ocasionar alteraciones que afectan al sistema nervioso se encuentran: acetatos, alcoholes, éteres, cetonas, bromoderivados; el daño causado por privación de oxígeno al cerebro lo producen los gases asfixiantes y el monóxido de carbono; los desórdenes de la función nerviosa pueden ser causados por plaguicidas, plastificantes, mercurio, plomo, manganeso y arsénico.

Afecciones de la piel: Un gran número de sustancias puede dañar directamente la piel de quien entre en contacto con ellas, por lo que son consideradas como irritantes primarios. Los ácidos y bases fuertes, algunas sales metálicas o metales simples y muchos compuestos orgánicos pueden penetrar las barreras externas de la piel, lo que ocasiona lesiones en las capas internas de la misma. Otras, como ácidos y bases débiles o solventes, son menos irritantes; sin embargo, pueden causar reacciones alérgicas que generan lo que se conoce como dermatitis de contacto. Entre ellas se pueden mencionar a los dicromatos, resinas epóxicas, aceleradores de caucho, hexaclorofeno, biotinol, salicilaminas y formalina. Las áreas de la piel de trabajadores que se exponen a compuestos químicos pueden desarrollar cáncer; algunos de estos agentes son los derivados de combustibles fósiles y aceites vegetales.

Afecciones que inciden en la reproducción: Los problemas que afectan de manera importante la reproducción y que ocurren por la exposición a sustancias tóxicas generadas y desechadas por la industria, comprenden: impotencia, esterilidad, pérdida fetal, muerte perinatal, defectos congénitos y muerte infantil. Todos ellos pueden estar interrelacionados y ser ocasionados por múltiples factores, lo que dificulta discernir cuáles son los agentes causales principales.

La frecuencia con la que ocurren varía a nivel individual; de ahí que no todos tengan un igual valor como indicadores de riesgo derivado de la exposición a agentes químicos peligrosos.

Entre los compuestos que causan daño al sistema reproductor se pueden mencionar los siguientes: cloruro de vinilo (mutación de células germinales); DDT, PCB, cloropreno y epiclorhidrina (infertilidad en el varón); benceno, plomo (infertilidad en la mujer); aldrín, benceno, PCB, malatión, cloruro de vinilo (teratogénesis).

Desarrollo del cáncer: Se ha señalado que la causa de muchos de los cánceres observados en la actualidad tienen un origen ambiental y, en gran parte, están vinculados con la exposición a agentes químicos, muchos de ellos asociados a lo que ha dado en llamarse el "estilo de vida" y otros más identificados como agentes producidos por la industria.

Los estudios epidemiológicos realizados en humanos han detectado alrededor de treinta agentes capaces de inducir cáncer, de los cuales veinte han sido dentro del ambiente ocupacional.

Los estudios realizados en animales de experimentación han permitido identificar como carcinógenos potenciales a cerca de 700 compuestos químicos. Esto aunado al hecho de que el cáncer constituye una de las principales causas de muerte en los países desarrollados, ha despertado el interés en determinar y controlar la contaminación del ambiente por este tipo de agentes inductores de cáncer.

Efectos genotóxicos: El material genético puede a su vez sufrir daños como consecuencia de la exposición a factores ambientales físicos, químicos y biológicos.

Tales daños pueden traducirse en mutaciones capaces de provocar cambios que favorecen el desarrollo de cáncer, padecimientos hereditarios y probablemente un envejecimiento prematuro. Por la estrecha relación entre mutaciones y ese tipo de problemas, es una práctica común en la actualidad emplear métodos que permitan detectar daño genético en poblaciones humanas en riesgo, así como evaluar la mutagenicidad de los agentes que contaminan el ambiente y, en particular, de las sustancias químicas potencialmente tóxicas.

Fuentes:

(1) Buffer, P. A.; Crane, H.; Key, M.M. "Possibilities of detecting health effects by studies of populations exposed to chemicals from waste disposal sites". *Environmental Health Perspectives*, 62:423-456, 1985.

(2) Stellman, J. M.; Daum, S. M. "The human body and occupational diseases". *Work in dangerous for your health*. Vintage Books, New York:17-75, 1973.

(3) Cortinas de Nava, C. *Cáncer, Herencia y Ambiente*. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. (en prensa).

(4) Doll, R. And Peto, R. "The causes of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today". *Journal of the National Cancer Institute*, 66:1194-1308, 1981.

CAPÍTULO II

DEFINICIONES

IMPORTANTES EN

RESIDUOS

PELIGROSOS

INTRODUCCIÓN

En los últimos veinte años, tanto a nivel mundial como a nivel nacional, los riesgos que los residuos peligrosos le han conferido a las poblaciones y al ambiente, lo han convertido en un asunto prioritario para la sociedad.

La llegada de la revolución industrial aceleró el progreso en muchos frentes y, especialmente después de la Segunda Guerra Mundial, se han realizado desarrollos tecnológicos que han cambiado substancialmente el estilo de vida de buena parte de los habitantes del globo terráqueo. Los patrones de consumo personal se han incrementado significativamente dando lugar a expansiones en la planta industrial, aumentando la extracción de recursos y requiriendo una mayor cantidad de productos agrícolas. En general, estos diversos tipos de productos han venido acompañados de sustancias tóxicas y/o peligrosas. Algunos de ellos se convirtieron en desechos peligrosos en el proceso productivo, otros son productos peligrosos en sí, que al final de su vida útil se convierten también en residuos peligrosos.

La enorme población en los centros urbanos y el crecimiento acelerado de la actividad industrial, trae como consecuencia el desarrollo de nuevos procesos y sustancias químicas que contribuyen a la generación de residuos, siendo muchos de ellos peligrosos.

Es difícil conocer con precisión la magnitud del problema ante la carencia de inventarios o registros de los tipos y volúmenes de residuos peligrosos generados por la industria nacional, así como de su destino final.

Durante mucho tiempo, no hubo restricciones gubernamentales para su manejo y disposición, y la práctica común era simplemente deshacerse de ellos al menor costo. Todos conocemos algún residuo peligroso que en el pasado era dispuesto indiscriminadamente, algunos de ellos reusados sin las mínimas precauciones. Sin embargo la capacidad de recibir desechos del medio ambiente es limitada.

DEFINICIONES IMPORTANTES

De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), se considera como:

"Residuo peligroso a aquel residuo (sólidos, lodos líquidos y gases en recipientes), excluyendo los residuos radiactivos, los que por alguna razón de su actividad química o toxicidad, explosividad, corrosividad, u otra característica, representa peligro o es posible que represente peligro a la salud o al medio ambiente, ya sea sola o cuando entre en contacto con otro residuo".

En la normatividad mexicana, la capacidad infecciosa es otra característica que hace que se convierta un residuo en peligrosos.

Según una propuesta formulada para la legislación mexicana:

"Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico que por sus características corrosivas, radioactivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológico- infecciosas, irritantes o alérgicas, representan un peligro para la población, el ambiente o la ecología."

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Márquez María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1997.

Fuente: Proyecto de reglamento, 1993

En otros países se le añaden términos como: especiales, químicos difíciles, venenosos o tóxicos. En los Estados Unidos y en Alemania, es para distinguir residuos que no pueden ser depositados junto a residuos sólidos municipales, específicamente para mantener a los residuos peligrosos fuera de los rellenos municipales. En Dinamarca, la definición es para asegurar que reciban el tratamiento adecuado.

Algunas normas especiales requieren comentarios adicionales. Bajo la regla de mezcla, en los Estados Unidos; un residuo peligroso no puede convertirse en no peligroso al mezclarse con otro. La mezcla de residuos peligrosos se prohíbe también en Holanda, mientras que en Francia necesita un permiso especial. Si el tratamiento de residuos peligrosos produce un residuo, este residuo es por definición considerado peligroso en los Estados Unidos, a menos que esté específicamente listado en sentido contrario. Esta misma consideración prevalece en la normatividad de Francia y Dinamarca.

En Estados Unidos se define como desecho peligroso:

"Un desecho sólido o combinación de desechos sólidos que, debido a su cantidad, concentración, o características físicas, químicas o infecciosas, puede:

- a) Causar o contribuir significativamente a un incremento en la mortalidad o a un incremento de enfermedades serias irreversibles o reversibles incapacitantes
- b) Plantear un peligro sustancial presente o potencial a la salud humana o al ambiente, cuando son tratados, almacenados, transportados o eliminados de una manera incorrecta."

Fuente: Solid Waste Disposal Act, 1964.

Fuente: Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.

En Gran Bretaña, las políticas actuales promueven la disposición de residuos peligrosos selectos en rellenos municipales, de tal forma que la definición americana es simplemente inapropiada. En Gran Bretaña, la preocupación es identificar residuos que exhiban peligro durante su transporte. La definición japonesa separa aquellos residuos difíciles de incinerar o tratar químicamente, y pone el énfasis en los residuos que deben aislarse del ambiente.

Los desechos peligrosos en la Gran Bretaña se definen:

En un estudio del Comité para la Ciencia y la Tecnología del parlamento Británico, se hace una distinción entre los desechos peligrosos por:

a) Su peligrosidad aguda como: toxicidad por ingestión, inhalación, absorción por la piel, otras afecciones de la piel, por contacto con los ojos, sus características de flamabilidad, corrosividad o explosión.

b) Peligrosidad ambiental: a largo plazo, incluyendo toxicidad crónica por exposiciones repetidas, carcinogenicidad (que puede ser por exposición aguda, pero con largos periodos de latencia), resistencia a la destoxificación por procesos de biodegradación, el riesgo potencial de contaminar aguas subterráneas o superficiales o por propiedades estéticas objetables como olores ofensivos.

Fuente: Hazardous Waste Disposal, House of Lords select Committee on Science and Technology, July, 1981; en: Barnaby, W. Great Britain. Relying on luck to avert disaster. Ambio, 11(1):53-56, 1982.

Definición de residuos peligrosos en Canadá:

"residuos peligrosos son aquellos que debido a su naturaleza y cantidad son potencialmente peligrosos a la salud humana y/o al medio ambiente y que requieren técnicas especiales de disposición para eliminar o reducir el peligro"

Fuente: "Manejo y disposición de Residuos Peligrosos en la Industria Química: PROFEPA"

Definición de residuo peligrosos en Filipinas

"Los materiales que son inherentemente peligrosos al cuerpo humano o a animales, incluyendo, pero no limitados a materiales que son tóxicos o venenosos, corrosivos, irritantes, sensibilizadores fuertes, inflamables o explosivos".

Fuente: "Manejo y disposición de Residuos Peligrosos en la Industria Química" PROFEPA.

Esta falta de estandarización en la terminología hace que la reglamentación y control de residuos peligrosos a nivel internacional sea más difícil. No hay alguna tendencia para una definición internacional o de menos algún listado cruzado de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD de sus siglas en inglés), para asegurar la compatibilidad de la terminología en diferentes países.

Aunque no existe una definición internacional de residuos peligrosos existen similitudes entre las definiciones de los diferentes países.

Es importante mencionar que no existe por ahora una delimitación precisa entre los contaminantes emitidos al ambiente por la industria y los desechos peligrosos de la misma, como tampoco hay una demarcación clara entre lo que es un producto peligroso y un desecho peligroso. A pesar de ello; ha sido preciso proponer definiciones y criterios para distinguir unos de otros, con el objeto de hacer operativos los inventarios para establecer la magnitud de cada uno de esos problemas y desarrollar medidas particulares para su control y solución.

Es así que se ha definido como desecho a todo aquello cuyo propietario no considera utilizable y que, en ocasiones, almacena esperando obtener de él un beneficio económico futuro, o bien que desecha o intenta desecha de una manera eficiente.

Por otro lado, los residuos industriales peligrosos comprenden los residuos aislados, mezclados o en solución, sólidos, líquidos o en forma de lodos que son generados como subproductos de un proceso, así como los desechos resultantes de operaciones unitarias, o de la limpieza de maquinarias e instalaciones, y que por sus características fisicoquímicas y toxicológicas representan un peligro para la vida humana, la salud y los ecosistemas.

En algunos casos podrían también convertirse en residuos peligrosos las materias primas que caducan o se deterioran durante su almacenamiento, y las que dejan de usarse, así como los productos rechazados por los consumidores, o que se deterioran durante su transporte o almacenamiento.

Lo anterior permite hacer notar que no sólo se generan desechos peligrosos dentro de la industria, sino que también surgen de las actividades de extracción y producción de materias primas, de comercialización y transporte, o bien derivan de la actividad que se lleva a cabo en las iniciativas pública y privada, o dentro del hogar.

Por el momento no se ha llegado a un acuerdo internacional para uniformar la definición de residuos peligrosos por lo que el inventario de los mismos enfrenta numerosos problemas.

Elementos que conforman el ecosistema y pueden ser afectados por los Residuos industriales peligrosos

En la naturaleza, la comunidad viva y los elementos no vivientes del ambiente funcionan juntos en una unidad denominada ECOSISTEMA, en el que se da una estrecha interrelación entre unos y otros. Todos ellos son elementos esenciales que contribuyen para el mantenimiento adecuado de la vida en la tierra.

Componentes abióticos: Son la fracción no viviente del sistema, como el aire, agua y suelo.

Productores: Están constituidos básicamente por las plantas verdes capaces de fijar la energía solar y fabricar alimento a partir de sustancias inorgánicas simples.

Consumidores: Entre ellos se encuentran principalmente los animales que utilizan los materiales fabricados por los productores, o bien se alimentan de otros animales.

Descomponedores: Están representados fundamentalmente por hongos y bacterias que desintegran la materia orgánica muerta, liberando sustancias simples al medio, que pueden ser de nuevo utilizadas por los productores.

Fuente: Odum, E. P. *Fundamentals of Ecology*, Saunders, Philadelphia, 1971

Para determinar el potencial toxicológico de las sustancias a la salud pública es conveniente examinar sus propiedades físicas y químicas ya que éstas pueden determinar las rutas de transporte en el ambiente y dentro del cuerpo, así como sus transformaciones, almacenamiento y eliminación.

Para que un agente químico cause daño a la salud humana no es suficiente que éste entre en contacto con el individuo, sino que tenga acceso al (los) órgano(s) susceptibles de daño. La cantidad del compuesto que entra en contacto con el cuerpo humano se denomina *dosis aplicada*, y la cantidad que llega al órgano en cuestión se llama *dosis efectiva*. De aquí la importancia de la penetración, denominada absorción de los compuestos, que a su vez está afectada por las propiedades físicas y químicas.

Clasificación de residuos peligrosos.

Por sus propiedades químicas

Las propiedades químicas de los residuos son producto de las transformaciones o reacciones químicas de las sustancias presentes en un residuo. Estas reacciones son el resultado de la descomposición o degradación química del residuo o de la reacción de este con otros materiales.

Las propiedades químicas son las reacciones y actividades del residuo que desarrolla en sí mismo y con otros materiales, modificando su composición química. Éstas a su vez, le pueden conferir a un residuo el carácter de peligroso.

Algunas de ellas se definen a continuación:

Ionización y Disociación.- Las sustancias que se disocian al solubilizarse se denominan iónicas y pueden tener cargas eléctricas positivas (catiónicas) o negativas (aniónicas) y las que no se disocian y no poseen carga eléctrica se llaman no-iónicas. Las sustancias aniónicas y las no-iónicas son móviles en el suelo, mientras que las catiónicas se absorben fuertemente a las partículas, con lo que se inmovilizan en el suelo.

Degradabilidad.- A través del fenómeno de degradación, la actividad de las sustancias puede disminuir con el tiempo. Dicha degradabilidad puede ser de tipo químico: quimiodegradabilidad (por ej: ácidos y bases), favorecida por la luz: fotodegradabilidad (por ej: piretrinas, toxafen) o ser promovida por la acción de microorganismos biodegradabilidad (por ej: celulosa, peróxidos, algunos hidrocarburos).

Descomposición térmica (pirólisis).- Descomposición química térmica en ausencia de oxígeno. Se obtienen moléculas más sencillas y un residuo orgánico a veces polimerizado.

Hidrólisis.- Cualquier reacción de transferencia de protones en la cual el agua es un reactivo. Cuando la sal de acetato de sodio, se disuelve en agua, la solución es ligeramente básica; tal interacción entre sal y agua se llama hidrólisis.

Residuo corrosivo.- Con este nombre se designan las degradaciones que efectúa el residuo sobre el material que lo contiene debido a las propiedades ácido-base de sus componentes. La definición de la legislación es que un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando:

- a) En solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2, o mayor a 12.5.
- b) En estado líquido es capaz de corroer el acero al carbón a una velocidad de 6.35 milímetros por año, y una temperatura de 55°C.

Residuo reactivo.- Un residuo reactivo es aquel capaz de experimentar una reacción peligrosa, bajo ciertas condiciones específicas.

Los residuos pirofóricos (fósforo, fosfuro ferroso) son aquellos que reaccionan espontáneamente con el aire y la humedad, causando su oxidación y/o hidrólisis encendiéndose rápidamente.

Los residuos peroxidables (peróxidos) son los que reaccionan con el aire pero más lentamente que los pirofóricos.

Los residuos higroscópicos (hidróxido de sodio) son aquellos que reaccionan con agua, algunas veces liberan gases inflamables y/o tóxicos que pueden arder o explotar instantáneamente.

Un residuo se considera peligroso por su reactividad cuando:

- a) Bajo condiciones de golpe, presión, temperatura o espontáneamente se descompone, combina o polimeriza vigorosamente.
- b) Es normalmente inestable y se transforma violentamente sin detonación.
- c) 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.
- d) Es capaz de producir radicales libres.

La identificación de componentes reactivos debe ser determinada por análisis químico para establecer su compatibilidad, algunos métodos son: análisis de compatibilidad, análisis de mezcla, análisis de residuos desconocidos.

Residuos peligrosos clasificados por grupo reactivo

| N° de Grupo | Grupo reactivo | Sustancia |
|-------------|---|---|
| 1 | Ácidos minerales no oxidantes | Ácido fosfórico |
| 2 | Ácidos minerales oxidantes | Ácido nítrico, Ácido sulfúrico |
| 21 | Metales alcalinos, alcalinotérreos, elementales o mezclas | Calcio Mezclas de sodio y potasio |
| 25 | Nitruros | Nitruro de boro Nitruro de cobre |
| 30 | Peróxidos e hidroperóxidos orgánicos | Peróxido de acetilo Percarbonato de isopropilo |
| 107 | Sustancias reactivas al agua | Anhidrido acético Óxido de calcio |

Matriz de incompatibilidad por grupo reactivo

| N° de gr. | | | | | | |
|-----------|----------|----------|------|-----------|------|--|
| 1 | 1 | | | | | |
| 2 | | 2 | | | | |
| 21 | gf, H, F | gf, H, F | 21 | | | |
| 25 | gf, H, F | H, F, E | E | 25 | | |
| 30 | H, G | H, E | H, E | H, gf, F. | 30 | |
| 107 | | | Nota | Nota | Nota | |

donde:

- H Genera calor por reacción química.
- F Produce fuego por reacciones exotérmicas violentas y por ignición de mezclas o de productos de la reacción.
- G Genera gases en grandes cantidades y puede producir presión y ruptura de los recipientes cerrados.
- gf Genera gases inflamables.
- E Produce explosión debido a reacciones extremadamente vigorosas o suficientemente exotérmicas para detonar compuestos inestables o productos de reacción.

Nota Extremadamente reactivo. No se mezcle con ningún residuo o material químico.

Residuos explosivos.- Un residuo explosivo produce una rápida transformación química generando grandes cantidades de energía: gases y calor, expandiéndose rápidamente a elevadas velocidades, originando ondas de choque y destrucción. Cuando se incrementa la cantidad de energía liberada y los componentes explosivos tienen uniones débiles, tales compuestos tienden a reaccionar incluso a temperaturas relativamente bajas y una vez que la reacción ha empezado, se liberan grandes cantidades de energía produciendo la explosión.

Las explosiones pueden ocurrir como un resultado de mezclar diferentes residuos químicos, por golpe, fricción o altas temperaturas, una gran explosión o detonación, produce una rápida transformación química; y la expansión de gas origina una onda de choque que puede ser seguida por combustión. La velocidad puede llegar a ser hasta de 6000m/seg.

Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando:

- a) Es más sensible a golpes o fricción que el dinitrobenceno.
- B) Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a una atmósfera de presión.

Residuos tóxicos.- Un residuo tóxico es aquel que puede causar daño a los seres vivos, como resultado directo o indirecto de su efecto contaminante.

La toxicidad de un residuo depende principalmente de la capacidad inherente de las sustancias que la contienen para producir efectos adversos en el organismo, en función de la cantidad que entre al organismo por inhalación, ingestión o adsorción por la piel, y del tiempo y grado de exposición (aguda o crónica).

Si un residuo contiene una sustancia tóxica, el residuo será tóxico por esta misma sustancia, pero su comportamiento general puede ser diferente que el de la sustancia pura.

Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente si presenta concentraciones iguales o mayores a los límites permisibles.

Residuos inflamables.- Se le llama inflamabilidad a la capacidad de un residuo líquido ó sólido para generar una concentración suficiente de vapores sobre su superficie, que en condiciones normales pueden producir fuego.

El punto de inflamación es la temperatura mínima que necesita un líquido o sólido para formar una mezcla inflamable.

El rango flamable es el porcentaje de concentraciones vapor-aire entre los límites inferiores y superiores, suficiente para que exista la inflamación.

Los residuos combustibles son aquellos con punto de inflamación igual o mayor de 60°C. Aunque ellos no se encienden tan fácilmente como los residuos líquidos inflamables, pueden ser encendidos bajo ciertas circunstancias.

Los residuos sólidos presentan riesgos de combustión espontánea, por el calor o fricción, así como aquellos que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.

Los residuos oxidantes pueden proporcionar condiciones para acelerar la inflamación de otros residuos, incluso en ausencia de aire. Algunos requieren calor para liberar oxígeno; otros emiten cantidades significantes de oxígeno a temperatura ambiente, pocos oxidantes son susceptibles a descomposición espontánea, es decir, formar un compuesto inestable para producir fuego o explosión.

Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando:

- En solución acuosa, contiene más de 24% de alcohol en volumen.
- 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.

Residuos industriales peligrosos clasificados por sus características de peligrosidad

| Inflamables | Reactivos | Explosivos | Corrosivos | tóxicos |
|--------------------------|--------------------|-------------------------|----------------|-----------------------|
| Hidrocarburos alifáticos | Nitratos | Peróxidos | Ácidos fuertes | Cianuros |
| Hidrocarburos aromáticos | Metales- alcalinos | Clorados | Bases fuertes | Arsénico y sus sales |
| Alcoholes | Fósforo | Perclorados | Fenol | Plomo y sus derivados |
| Éteres | Metil- isocianato | Ácido | Bromo | Polifenoles |
| Aldehidos | Magnesio | Pícnico | Hidracina | Berilio |
| Cetonas | Cloruro de acetilo | Trinitribenceno | | Fenol |
| Fósforo | Hidruros metálicos | Trinitrotolueno | | Anilina |
| Metilaminas | | Permanganato de potasio | | Nitrobenceno |
| | | Nitrato de celulosa | | Cloruro de vinilo. |

Fuente: Gordon, A. J. The Chemist Companion: A Handbook of Practical Data, Techniques and references. John and Sons, New York, 1972, 537 pp.

Persistencia - Degradabilidad.- La persistencia permite determinar la duración de un residuo en el medio ambiente. Algunos pueden ser degradados físico, química o biológicamente, pero otros no pueden ser transformados y permanecen o persisten en su forma original.

A través del fenómeno de degradación, la actividad de las sustancias químicas pueden disminuir con el tiempo.

Determinadas sustancias presentes en los residuos peligrosos, pueden permanecer indefinidamente en el suelo, tales como metales pesados (plomo, cadmio, etc).

Por sus propiedades físicas.

Una propiedad física se refiere a cambios en las propiedades del residuo sin que se afecte la composición química de éste. Entre las propiedades físicas más importantes se incluyen a las propiedades de adherencia, de transporte, de adsorción, cambios de fase, propiedades coligativas, etc.

En el manejo de residuos peligrosos las propiedades más importantes a considerar son, estado físico, viscosidad, solubilidad, punto de ebullición y de congelación, densidad y tensión superficial. Estas propiedades son incorporadas en el análisis de parámetros para el manejo de residuos peligrosos.

Solubilidad.- La movilidad en los suelos y otros elementos del ecosistema, se ve favorecida por la solubilidad acuosa de los agentes químicos; cuando ésta es mayor a 500 ppm alcanza gran movilidad y una mayor concentración en los ecosistemas acuáticos (por ej: aluminio, cadmio). Las sustancias que tienen una solubilidad acuosa mayor a 25 ppm no son persistentes en los organismos vivos, y las de una solubilidad menor pueden quedar inmovilizadas en los suelos y concentrarse en los organismos vivos (por ej: arsénico, plomo).

Coefficiente de partición lípido-agua.- Indica cuándo una sustancia se disuelve en agua y en lípidos, con lo cual se puede conocer en forma indirecta la solubilización y distribución de dicha sustancia en un organismo vivo. Cuando ese coeficiente es mayor a 1 se le puede considerar liposoluble, de fácil absorción a través de las membranas y capaz de acumularse en el tejido graso (por ej: plaguicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos)

Presión de vapor.- Este factor determina la volatilidad de las sustancias; aquellas con presión de vapor mayor a 10-3 mm de Hg a 25 °C son muy volátiles y se movilizan fácilmente dispersándose en la atmósfera (por ej: acetona, éter etílico, metil isocianato). Entre 10-4 y 10-6 mm de Hg. las sustancias son ligeramente volátiles y menos móviles, y las que pueden considerarse como no-volátiles tienen una presión de vapor menor a los 10-7 mm de Hg a 25°C (por ej: aceites minerales, alcoholes pesados).

Estado físico.- Un residuo puede mostrar propiedades totalmente diferentes dependiendo de su estado físico, así en una fase puede ser inerte, mientras que en otra puede ser altamente reactivo.

Volatilidad.- La volatilidad es una propiedad que esta determinada fundamentalmente por la temperatura, composición del residuo y presión atmosférica.

Los residuos químicos con una gran volatilidad, pueden evaporarse rápidamente y posteriormente ser depositados por la lluvia, o bien ser arrastrados o transportados por el aire.

Si uno de los componentes en el residuo es más volátil que el conjunto de la mezcla se evaporará este con mayor rapidez cambiando así la composición de la misma y alterando sus propiedades.

Si un residuo contiene un componente más volátil que otro y este componente es inflamable, sus vapores resultarán inflamables, aún en caso de que la mezcla líquida no lo sea.

Gravedad específica.- Es muy importante conocer si un residuo puede asentarse o flotar en el agua, principalmente cuando se consideren problemas ocasionados por fuga o derrame, en donde el residuo puede llegar a entrar en contacto con corrientes de agua.

Punto de ebullición.- Este es un punto importante, tiene que ver con las rutas de absorción al organismo, pues los líquidos con altos puntos de ebullición son absorbidos principalmente por vía cutánea; los de bajos puntos de ebullición tienen sus más comunes y serios efectos por inhalación.

Tensión superficial.- La cohesión de moléculas en el estado líquido da lugar a la propiedad de los líquidos llamada tensión superficial. Las superficies líquidas se comportan como si una membrana delgada de caucho estuviera estirada sobre ellas.

Densidad.- Se define como la masa de un volumen dado de una sustancia. Es la relación de masa dividido por volumen, para sólidos y líquidos, la densidad se expresa generalmente en gr/ml o gr/cm³, para gases las unidades acostumbradas son gr/ft, la densidad varía con la temperatura.

Evaluación de peligros y riesgos para la salud humana de los Residuos Peligrosos.

Se ha considerado como **peligro** a la capacidad de los agentes que constituyen los residuos peligrosos de provocar un daño a la salud de los individuos expuestos a ellos. Este daño puede ser físico, como consecuencia de incendios, explosiones o de la acción corrosiva de los residuos peligrosos, o puede ser biológico y traducirse en enfermedad o muerte.

La evaluación de **peligro** incluye la determinación de:

- a) la capacidad de causar efectos adversos, y
- b) la severidad de esos efectos.

Hay que tomar en consideración:

- los factores que determinan la magnitud de los efectos tóxicos tales como la concentración de los residuos peligrosos en el organismo y en particular en los órganos blandos, el tipo de compuestos contenidos en los residuos peligrosos, el periodo de exposición y entrada al organismo, así como las características de los individuos afectados (edad, sexo, estado nutricional y fisiológico, etc.),

- su transporte, y
- su destino final.

La evaluación de los **peligros** enfatiza las probables causas y efectos, a la vez que plantea las consecuencias que pueden traer a los seres humanos, plantas y animales, en el peor de los casos, sin que se determine en esta etapa la probabilidad de ocurrencia de esos efectos.

Por su parte el **riesgo** se define como la probabilidad de que un residuo peligroso dado cause daños a la población humana o a los ecosistemas en el caso de entrar en contacto con ellos.

La valoración del **riesgo** consiste en dos etapas:

- a) el cálculo del valor del riesgo, y
- b) la validación de dicho cálculo.

En el primer caso se calcula la probabilidad cuantitativa de la posibilidad de que un residuo peligroso particular ocasione un efecto específico; dicho cálculo se basa en los resultados de la evaluación de los peligros, así como en la identificación de las rutas de exposición, y sugiere cuáles son las poblaciones humanas y ecosistemas en riesgo.

Dada la dificultad para determinar la dosis de cada residuo peligroso capaz de producir un efecto particular, en la segunda etapa de validación del cálculo del riesgo, se parte del conocimiento de las incertidumbres y se intenta situar dicho cálculo en una perspectiva adecuada; para ello se usan procedimientos estadísticos que indican el grado de confianza que puede tenerse en la estimación de los riesgos.

Es importante mencionar que las incertidumbres no invalidan el uso de la evaluación de riesgos en el proceso de toma de decisiones, aunque deben tenerse presentes los grados de confianza establecidos. No debe olvidarse tampoco que uno de los propósitos fundamentales de esta evaluación es proveer de datos para establecer límites de seguridad que permitan proteger la salud de la población.

En la actualidad se ha suscitado el interés por determinar los **riesgos relativos** más que calcular los riesgos específicos; para lo cual se emplean modelos matemáticos que combinan una variedad de factores que simulan situaciones reales. Así se logra jerarquizar el grado de prioridad que debe otorgarse a tiraderos de residuos peligrosos donde se han detectado problemas.

Definición de sitio peligroso

Es el lugar donde de una manera intencional se arrojan o se dispersan sustancias químicas que puedan afectar a la salud humana, el ecosistema o la propiedad.

Sin embargo, no sólo las sustancias químicas pueden ser causa de efectos nocivos para la salud humana, de modo que conviene definir también lo que pueden ser también sitios peligrosos por la presencia de agentes físicos o biológicos.

Sitio peligroso por la presencia de agentes físicos.- Es el lugar donde de manera incontrolada se genere, concentre o disperse cualquier forma de energía que afecte o dañe a la salud humana, el ecosistema o la propiedad.

Sitio peligroso por la presencia de agentes biológicos.- Es el lugar donde intencional o accidentalmente se propicie la proliferación de agentes biológicos nocivos para la salud humana, el ecosistema o la propiedad.

Fuente: French, J.G.; et al. (Center for Environmental Health Center for Professional Development and Centers for Disease Control 1600 Clifton Road Atlanta, Ga. 30333, USA). A system for prevention assessment and control of exposures and health effects from hazardous sites. (S. P. A. C. E. For Health). 1984. I-813. Apéndice pp.

Fases en la interacción de los Residuos peligrosos en organismo humano.

Los residuos peligrosos pueden tener efectos nocivos para los seres vivos, tanto por sus propiedades fisicoquímicas y los mecanismos de acción, como por la sensibilidad particular de los organismos (o de las células, tejidos y órganos) expuestos a ellos.

De la misma manera que los residuos peligrosos y los contaminantes en general tienen un comportamiento determinado en el ambiente que se ve influido por múltiples variables; lo mismo ocurre dentro del organismo de los distintos sistemas biológicos expuestos a ellos. Se sabe de hecho que su comportamiento en los seres vivos cambia con el tiempo en función de variables tales como: absorción, distribución, transformación metabólica y eliminación (comportamiento tóxico-cinético); dependiendo de ello los riesgos tóxicos derivados de la exposición a esos agentes.

Fases principales de la interacción de un tóxico ambiental con el organismo

Exposición.- Se considera que un organismo está expuesto a un agente dado cuando una fracción de éste se encuentra en la vecindad inmediata de las rutas de ingreso al medio interno del organismo en cuestión: vía respiratoria (inhalación), vía tegumentaria (absorción por piel y mucosas), vía gastrointestinal (ingestión).

Absorción.- Equivale al paso de los agentes a través de las membranas biológicas correspondientes a las rutas de entrada al organismo, hacia la circulación sistémica. Ya en la sangre los agentes pueden solubilizarse en la plasma, unirse a las proteínas plasmáticas y a los glóbulos rojos.

Distribución.- De la sangre los agentes son distribuidos hacia los tejidos corporales; en ellos, en función de la intensidad de la circulación tisular y de sus características propias así como de los tejidos, serán absorbidos, metabolizados y retenidos o excretados.

Eliminación.- Las sustancias extrañas que ingresan al organismo son, por lo general, metabolizadas en otras fácilmente excretables, con lo cual pueden perder su toxicidad potencial o, por el contrario, convertirse en productos tóxicos; posteriormente tienden a eliminarse ya sea por excreción urinaria y/o intestinal.

Acumulación.- Algunas de las sustancias contenidas en los residuos peligrosos pueden interactuar con las macromoléculas de las células, fijándose o acumulándose en algunos tejidos, dependiendo de sus características fisicoquímicas.

Fuente: Vega, S. *Toxicocinética II. Evaluación Epidemiológica de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales*. Centro Panamericano de ecología Humana. OPS/OMS: Metepec, 1985, 40 pp.

Magnitud y forma de exposición a los Residuos Peligrosos.

Las evaluaciones de la exposición pueden considerar exposiciones presentes, pasadas o futuras, por medio de técnicas particulares a cada etapa; midiendo, por ejemplo, la acumulación de los agentes como indicador de exposiciones pasadas, determinando directamente la exposición presente, o modelando las exposiciones futuras. Las evaluaciones generalmente combinan los datos ambientales, con los efectos en la salud, con el objeto de determinar los riesgos.

Para el Comité de Efectos Biológicos y Causas Ambientales de la American Society for Testing Materials (ASTM)

Exposición es el contacto con el agente químico o físico. La magnitud de la misma se determina midiendo o estimando la cantidad de agentes disponible en las fronteras de intercambio de los pulmones, piel e intestinos, durante un tiempo especificado. La evaluación de la exposición corresponde a la estimación (cualitativa o cuantitativa) de la magnitud, frecuencia, duración y ruta a través de la cual se produce la exposición.

Fuente: Proposed Guidelines for Exposure Assessment. (FRI-2708-5). Environmental Protection Agency, Preliminary Draft, 1984.

La evaluación de la exposición a residuos peligrosos presenta mayores dificultades que la evaluación de la exposición a una sustancia química única, ya que en el caso de los residuos peligrosos casi siempre se tratará de mezclas complejas, que pueden estar cambiando en composición y concentración. Además, la determinación en organismos vivos de ciertos contaminantes no permite definir en todos los casos la fuente, ya que en un entorno urbano todos sus habitantes están expuestos a mezclas complejas presentes en el ambiente como pueden ser:

- Mezclas de hidrocarburos provenientes de los motores de combustión.
- Plaguicidas usados en el hogar, PCB de transformadores, gasolina.
- Diversos productos químicos usados en el hogar.

Información necesaria para establecer la exposición a residuos peligrosos.

Desde el punto de vista epidemiológico se señalan como requerimientos de información para establecer la exposición potencial a los residuos peligrosos, los enumerados a continuación:

- 1.- El número, tipo y volumen de los agentes químicos desechados; el periodo de tiempo de las operaciones y las cantidades de los agentes particulares en un momento dado.
- 2.- Las rutas más probables de exposición.
- 3.- La integridad y estructura del depósito de desechos químicos.
- 4.- El método de contención de los desechos.
- 5.- Los años de antigüedad del depósito.
- 6.- La persistencia de los agentes químicos.
- 7.- Las características meteorológicas y geológicas del sitio de desecho.
- 8.- Las fuentes de abastecimiento de agua de las poblaciones vecinas.

Fuente: Butler, P. A.; Crane, H.; Key, M. "Possibilities of detecting health effects by studies of population exposed to chemicals from waste disposal sites". Environmental Health Perspectives, 62:423-456, 1985.

Se necesita además, conocer otras fuentes posibles de exposición de las poblaciones humanas a agentes químicos con efectos similares a los residuos peligrosos, así como considerar la intensidad y duración de la exposición, distinguiendo entre exposiciones crónicas y agudas.

Se considera que, por regla general, la exposición humana potencial es menor en los sitios de desechos abandonados, que en aquellos que se encuentran activos, salvo que en los primeros se encuentren sustancias persistentes.

La forma más objetiva de valorar la exposición a tales agentes, es por medio de la determinación que alcanzan en los tejidos, sobre todo por el hecho de que la mayor parte de los estudios en poblaciones expuestas a ellos se realiza mucho tiempo después de que se inició la exposición y probablemente haya cambiado tanto la concentración como el tipo de residuos peligrosos en el ambiente a lo largo del tiempo.

Por su parte, la evaluación toxicológica de un agente químico peligroso requiere que se tomen en consideración cuatro factores: dosis, especie afectada, tipo de compuesto y periodo y rutas de exposición.

Dosis. Se define como tal a la concentración seleccionada de una sustancia, o mezcla de sustancias, que se administra durante un periodo de tiempo específico. Se considera que para cada sustancia existe una dosis en la cual se producen efectos observables.

Diferencias entre especies. Se sabe que los organismos que constituyen las diversas especies varían en su susceptibilidad a los efectos tóxicos de los agentes químicos. Así la dosis necesaria para provocar la muerte o un efecto en la salud varía entre las especies.

Diferencias entre individuos. El tipo de efectos que se manifiestan también pueden variar de organismo a organismo. Existen parámetros tales como: edad, sexo, o estado nutricional y fisiológico que pueden afectar la respuesta.

Diferencias entre compuestos. Para cada compuesto existe una dosis particular capaz de producir un efecto dado en una especie determinada.

Dosis tóxicas de constituyentes de los desechos industriales peligrosos

| Agente químico | LD 50* |
|---------------------------|---------------|
| Cianuro | 3 |
| Acetato de fenil mercurio | 30 |
| Dieldrín | 46 |
| Pentaclorofenol | 50 |
| DDT | 113 |
| Naftaleno | 1780 |
| Tolueno | 5000 |

* Dosis letal media

Fuente: Office of Technology Assessment, EUA, 1981

Periodo y ruta de exposición. Se ha señalado que la exposición a un residuo peligroso puede ocurrir por la difusión de éstos en el ambiente, ya sea de manera continua o intermitente, y puede darse a través del aire, suelo o del agua. La respuesta de un organismo dado a la exposición a un residuo peligroso, dependerá de la ruta y tiempo que dure dicha exposición.

Participación ciudadana

La participación de los ciudadanos, tiene varios aspectos: los derivados de la información que de una u otra manera los hace tomar conciencia de los problemas ambientales, los sensibiliza y, en ocasiones, los lleva a organizarse en asociaciones conservacionistas; mientras que los derivados de un conocimiento profundo de los problemas ambientales, de los cuales ellos se sienten responsables, los lleva a un cambio de conducta.

Un aspecto importante de la participación ciudadana, es la decisión de ella en la ubicación de instalaciones para el manejo de residuos peligrosos dentro o en los alrededores de su comunidad. Este temor ha dado lugar al llamado síndrome de "no en mi patio trasero", temor que se ve disminuido en la medida que la población este informada sobre la capacidad técnica de quienes manejan las instalaciones en la evaluación de riesgos y que cubre los siguientes aspectos:

Detección. Son los sistemas de monitoreo y vigilancia que permiten la detección inmediata de cualquier anomalía dentro de las instalaciones.

Prevención. Son los sistemas, el equipo y la experiencia del personal de la planta para atender una situación de emergencia dentro de la planta y las consideraciones de diseño para reducir efectivamente los riesgos potenciales.

Mitigación. En el caso de una emergencia que involucrara a la población, se requiere que exista la infraestructura suficiente para atenderla y minimizar sus efectos adversos.

Restablecimiento. Se trata de los sistemas que permiten a la población reintegrarse a sus actividades normales en un tiempo razonable y en caso necesario, recibir las indemnizaciones correspondientes, apoyadas éstas por ordenamientos jurídicos que los prevengan.

Predicciones. Pronostican los efectos de dichas instalaciones.

De acuerdo con el lugar donde ocurren y la magnitud de las zonas afectadas, los desastres químicos pueden clasificarse de la siguiente manera:

a) **Nivel planta:** Cuando el accidente ocurre dentro de las instalaciones que manejan las sustancias tóxicas, los medios con que ahí se cuenta para atenderlo son suficientes y no se ve afectada la población aledaña.

b) **Nivel comunidad:** Cuando el accidente afecta a la población aledaña, o los recursos de la planta no son suficientes para atenderlo y requiere del auxilio de los servicios de la comunidad.

c) **Nivel regional:** Cuando ocurre dentro de los límites de dos regiones (ciudades, municipios, estados), cuando se ven afectadas poblaciones vecinas o cuando se requieren los servicios de emergencia de varias comunidades.

d) **Nivel nacional:** Cuando la magnitud del accidente, sus efectos o los recursos necesarios para atenderlos, involucran a todo un país.

e) **Nivel internacional:** Cuando el accidente ocurre en los límites entre dos o más países; cuando ocurre en aguas internacionales; cuando su magnitud es tal que afecta a varias naciones o cuando la ayuda internacional es indispensable para atenderlo.

Tipos de monitoreo y características de cada uno.

Monitoreo visual.- Constituye el método más simple y barato para identificar fugas de constituyentes de desechos en las instalaciones que los contienen. Permiten de inmediato detectar emisiones fugitivas, derrames accidentales y otras situaciones que impliquen peligros de incendio, explosión o corrosión y reacción de los desechos peligrosos.

Monitoreo de procesos.- Tiene como propósito vigilar que los procesos relacionados con desechos (*recuperación, transporte, incineración o depósito*) se realicen con eficiencia. Están basados en el hecho de que las reacciones químicas, físicas y biológicas de los residuos sean predecibles y controlables.

Monitoreo de las fuentes.- Su objetivo, es verificar que el flujo de materiales de una instalación dada, al aire, al suelo, o al agua no ocurra y si se da que no contenga agentes peligrosos o inesperados. Para ello se efectúa un monitoreo de rutina de ciertos agentes y parámetros indicadores del buen funcionamiento de las instalaciones (pH, temperatura, contenido de compuestos orgánicos totales, niveles de oxígeno, etc.)

Monitoreo del ambiente.- El monitoreo del ambiente provee de datos con respecto a la calidad y cantidad de constituyentes de los residuos peligrosos que pueden estar presentes en un área específica, así como de aquellos que repentinamente o subrepentinamente se escapan de un depósito. Requiere del muestreo cuidadoso de elementos del ambiente: aire, agua, suelos. Alimentos y tejidos de plantas, animales y, eventualmente, de las poblaciones humanas expuestas.

Monitoreo de efectos.- Está orientado a determinar los efectos, adversos o benéficos, en plantas, animales o seres humanos, que resultan de la presencia y/o exposición a constituyentes de los residuos peligrosos. Representa el tipo de monitoreo más difícil, costoso y tardado de todos, a la vez que el más relevante para la evaluación, control y prevención de riesgos.**

CAPÍTULO III
TIPOS DE
TRATAMIENTOS

TRATAMIENTOS

Las tecnologías para el manejo adecuado de los residuos peligrosos, se han desarrollado para satisfacer las demandas de Reducción y eliminación de residuos peligrosos desde su origen hasta su disposición final y la limpieza de sitios contaminados por residuos peligrosos.

Respecto a la reducción y eliminación de residuos peligrosos, la filosofía ambientalmente adecuada apunta a minimizar las emisiones y posteriormente manejar "desde la cuna hasta la tumba" todo el complejo sistema hasta la disposición final, mientras que las desarrolladas para limpiar sitios contaminados requieren ser aplicadas.

Si bien muchas empresas químicas están empezando a implantar con éxito procesos que toman en cuenta la conservación del ambiente y la salud humana, la realidad es que las plantas químicas durante muchos años generaron e hicieron una disposición inadecuada de residuos peligrosos y algunas siguen y lamentablemente seguirán con estas prácticas en el futuro, debido a la imposibilidad de cambiar en un lapso corto sus métodos de producción.

El manejo adecuado de cualquier tipo de residuo peligroso comprende la generación, el transporte, el almacenamiento, tratamiento y disposición final. Es claro que muchas de las características de peligro, tales como: flamabilidad; toxicidad por ingestión, inhalación o absorción por piel, pueden causar problemas en cada una de las etapas. Por otra parte, ciertos desechos que no ofrecen peligros para su manejo inicial pueden causar serios daños y problemas para su disposición a largo plazo.

Hay numerosos tratamientos aplicables a los residuos peligrosos que típicamente pueden ser categorizados como químicos, físicos o biológicos. Combinaciones de la tecnología de estos tratamientos son frecuentemente utilizados para el desarrollo de soluciones aceptables para el medio ambiente y para el problema de manejo de residuos con apropiado costo y efectividad.

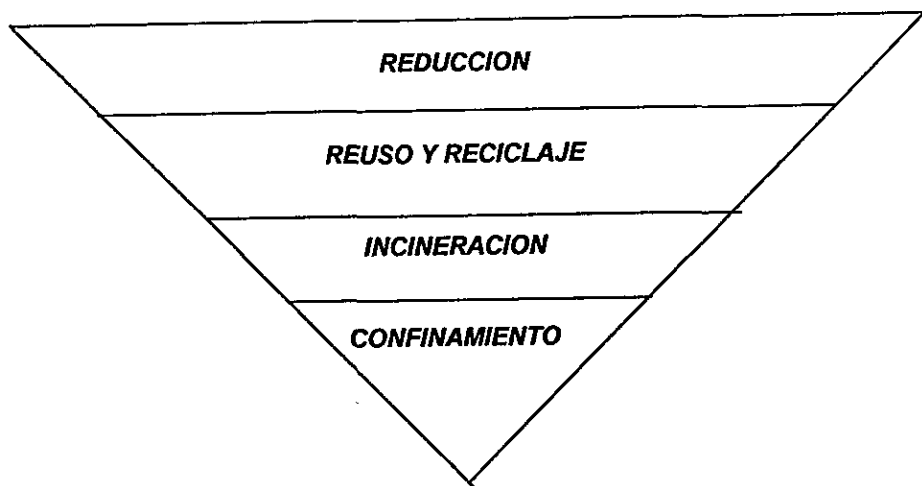
Los procesos de tratamiento pueden también ser usados para provecho en procesos de recuperación de subproductos y en la reducción de volúmenes de residuos .

Estas tecnologías están encaminadas a reducir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente de una manera permanente por medio de la destrucción de los residuos peligrosos con un adecuado margen de seguridad.

Una tecnología en particular no puede ser aplicable a todos los tipos de residuos, y la elección de la mejor manera de tratar determinado residuo peligroso depende de varios factores, incluyendo la disponibilidad y lo adecuado de las instalaciones con que se cuenta para su tratamiento. Depende también de los estándares de seguridad, las características del medio ambiente y las consideraciones de costos. Ninguna tecnología ofrece seguridad absoluta y a cualquier tratamiento está asociado un nivel de riesgo. En general, mientras más rigurosas sean las medidas de seguridad de determinada tecnología, menores serán los riesgos y mayores los costos.

En México se estima que se generan anualmente 170 millones de toneladas de residuos, de los cuales 5.3 millones o el 3% son considerados como peligrosos y solamente el 15 % u 800 mil toneladas son tratadas apropiadamente. En general, el procedimiento para la disposición de residuos sigue el principio de la pirámide invertida en la cual se recomienda como primer paso la disminución de la generación de residuos por medio del *aprovechamiento racionalizado* de los recursos de la empresa.

Estrategia Mundial del Tratamiento de Residuos.



Como segundo paso, se recomienda el reciclado con el fin de reusar alguna fracción del residuo. La incineración se utiliza como una forma de destrucción final en la cual pueden aprovecharse ciertas características físico-químicas del residuo, tal como la recuperación de energía interna del material. Finalmente, el último paso de disposición es el confinamiento donde se le ha agotado todo el potencial aprovechable al residuo. De esta forma, el volumen total de residuos en el medio ambiente disminuye a medida que se desplaza hacia abajo en la pirámide invertida. Recientemente, la única opción para la disposición de residuos en México era el confinamiento, ya que se carecía de la infraestructura necesaria para implementar otro tipo de disposición. Debido principalmente al alto costo de los energéticos que se ha venido observando en los últimos años, y a la demanda de la comunidad cada vez más consciente de los problemas de acumulación de residuos en el ambiente, ciertos sectores industriales han iniciado programas de innovación tecnológica encaminados al aprovechamiento y disminución de residuos en México. Así mismo, La Legislación Ambiental Mexicana ha hecho un esfuerzo fuerte en el área de normalización para la disposición de residuos peligrosos.

Aunque las primeras normas para la legislación, caracterización, manejo y disposición de residuos peligrosos fueron publicadas en 1993, se ha visto un avance a pasos agigantados en la evaluación en diferentes procesos de disposición entre los cuales se encuentra la incineración donde se espera que muy pronto se cuente con normas oficiales para su legislación.

TRATAMIENTO QUÍMICO

El tratamiento químico envuelve el uso de reacciones para transformar las corrientes de residuos peligrosos en sustancias menos peligrosas . El tratamiento químico puede utilizarse como un recurso para la recuperación de sustancias peligrosas y también para producir subproductos útiles y efluentes residuales que son aceptables en el ambiente. El tratamiento químico es el mejor método de manejo de residuos, comparado con el método tradicional de disposición en tierras de relleno, debido a que los costos del relleno sanitario se incrementa y su reglamentación es cada vez más estricta.

Dentro de las ventajas del tratamiento químico como método de disposición se encuentra su relativo bajo costo, comparado a la incineración. Cuando se trata un material, este pierde su identidad y disminuye la exposición del generador. En algunas ocasiones, el tratamiento produce subproductos útiles y en muchas otras implica la creación de otro residuo de menor peligroso y/o en menor cantidad.

Entre los principales tratamientos químicos se tienen:

- 1.- Solubilidad.
- 2.- Neutralización.
- 3.- Precipitación.
- 4.- Coagulación y Floculación.
 - a. Polielectrolítica
 - b. Pruebas de cilindro y de jarras
- 5.- Oxidación y reducción.
- 6.- Remoción de color.
- 7.- Desinfección.
 - a. Clorinación
 - b. Ozonación
- 8.- Intercambio iónico.
 - a. Intercambiadores
- 9.- Sistema de Estabilización.

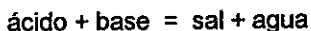
SOLUBILIDAD

Los residuos peligrosos pueden ser sustancias orgánicas o inorgánicas, contienen varios elementos químicos y configuraciones estructurales. El agua, la cual es conocida como solvente universal disuelve muchas de estas sustancias mientras que otras tienen solubilidad limitada. Generalmente, las sales de sodio, potasio y amoníaco son solubles en agua, así como los ácidos minerales. Muchos inorgánicos halogenados excepto fluoruros son solubles, mientras que muchos carbonatos, hidróxidos y fosfatos son ligeramente solubles. Los alcoholes son altamente solubles, pero los orgánicos aromáticos de largas cadenas y derivados del petróleo tienen *baja solubilidad*. Muchas veces, la solubilidad de la sustancia es factor vital en el proceso de tratamiento químico.

NEUTRALIZACIÓN.

La neutralización de residuos ácidos y alcalinos es un ejemplo de el uso de tratamientos químicos para mitigar residuos que han sido caracterizados como corrosivos y peligrosos, bajo las restricciones de la RCRA. La neutralización de un ácido o una base se mide fácilmente por el pH, y las reacciones ácido-base están entre los procesos químicos más comunes usados en el tratamiento de aguas residuales. La neutralización de un residuo ácido o básico envuelve la adición de una sustancia química para cambiar el pH a un nivel más neutro en el rango de 6 a 8.

Frecuentemente, las aguas de residuos industriales ácidas o básicas pueden requerir neutralización antes de otro tratamiento o antes de utilizarse en sistemas de sanidad municipal. *Algunas veces es factible mezclar una corriente residual ácida con una básica y entonces usar un recipiente como un tanque de neutralización.* Normalmente será necesario neutralizar residuos ácidos con una base y neutralizar los residuos de alto pH con un ácido de acuerdo a la ecuación:



Aguas residuales ácidas pueden neutralizarse con hidróxido de calcio, hidróxido de sodio o carbonato de sodio ya que el hidróxido de calcio es más barato que otras bases, o el carbonato de sodio, es el más comúnmente usado para neutralización ácida. El hidróxido de sodio se adiciona a el agua de residuo ácido en un recipiente agitado que tiene un sensor de pH para controlar la velocidad de alimentación de el hidróxido de calcio.

Aguas residuales alcalinas pueden neutralizarse con un ácido mineral fuerte, tal como *ácido sulfúrico, o ácido clorhídrico o con dióxido de carbono*, la reacción con ácidos minerales es rápida, también se utiliza un recipiente agitado con un sensor de pH que controla la velocidad de alimentación de el ácido.

La neutralización de aguas residuales alcalina con dióxido de carbono usualmente consiste en burbujear el dióxido de carbono en el fondo de el tanque de neutralización, así se crea ácido carbónico el cual reacciona con las sustancias alcalinas. El humo esta frecuentemente disponible como una fuente de dióxido de carbono, haciendo el proceso de neutralización mas económico.

Estas reacciones de neutralización son exotérmicas y requieren sistemas similares para evitar excesivas temperaturas altas que puedan producir inseguridad en las condiciones de operación y daños en el equipo de proceso.

El proceso puede emplearse para materiales no acuosos (por ejemplo: fenoles ácidos, que son solubles en agua). Aún cuando la neutralización es un fenómeno de fase líquida puede aplicarse también a las corrientes residuales sólidas y gaseosas. Los gases pueden manejarse por absorción. Los lodos son tratados por ajuste de pH, aunque la viscosidad del material complica el proceso de mezclado y el contacto entre el ácido y el álcali que es esencial en el tratamiento. Los sólidos y polvos que son sales ácidas o básicas también pueden neutralizarse si se disuelven.

La neutralización puede emplearse para tratar corrientes residuales inorgánicas y orgánicas; se utiliza para precipitar iones de metales pesados como Zn, Pb, Hg, o Cu, adicionando un álcali (generalmente cal) a una corriente residual. Los compuestos orgánicos que pueden tratarse incluyen ácidos carboxílicos, sulfónicos fenoles y muchos otros materiales.

PRECIPITACIÓN.

Frecuentemente metales pesados indeseables se presentan en corrientes de residuos líquidos. Si las concentraciones de estos metales son suficientemente altas para causar que la corriente residual sea designada como peligrosa de acuerdo a la caracterización de toxicidad de CRETIB, los metales deben ser removidos. El método usual para remover metales pesados inorgánicos es la precipitación química. Los metales precipitaran a diferentes niveles de pH, dependiendo del ión metálico resultando la formación de una sal insoluble. Además de la neutralización de una corriente residual ácida puede causar la precipitación de metales pesados y permitirá que sean removidos como un lodo residual por clarificación, sedimentación o filtración.

La precipitación química es un proceso por el cual una sustancia soluble es convertida a una forma insoluble también ya sea por una reacción química o por cambios en la composición del solvente para disminuir la solubilidad de la sustancia en él. Los sólidos precipitados pueden entonces ser removidos por sedimentación y/o filtración.

Los hidróxidos de metales pesados son usualmente insolubles, también el hidróxido de calcio es comúnmente usado para precipitarlos. Los carbonatos o sulfatos son menos solubles que los hidróxidos pero también deben ser precipitados.

Económicamente se puede justificar la precipitación parcial con cal a nivel de solubilidad del hidróxido, seguido por un tratamiento secundario con sulfato para una reducción adicional.

El cambio del reactante es la primera consideración en la precipitación de metales pesados, la segunda consideración es la solubilidad, por que la solubilidad es afectada por la temperatura, este es un factor demasiado importante en reacciones de precipitación. La temperatura también tiene influencia en la selección del equipo de tratamiento.

La precipitación de metales pesados puede también ser lograda por la adición de sulfuros tales como sulfuro de sodio o bisulfuro de sodio. La adición de estos compuestos debe ser controlada cuidadosamente para minimizar el olor y problemas tóxicos. Durante la precipitación de sulfuro se puede generar ácido sulfhídrico, el cual es muy peligroso para la salud y la seguridad, y puede ocasionar la muerte si el proceso no es controlado adecuadamente, para minimizar este peligro se puede mantener un pH ligeramente alcalino.

Otro factor final en la precipitación es el estado líquido-sólido del residuo, generalmente el tamaño de las partículas precipitadas se incrementa si la reacción química ocurre con partículas precipitadas previamente.

Debido a este fenómeno, el proceso de precipitación idealmente puede producir la precipitación química en un residuo que contiene sólidos.

Comúnmente la precipitación es usada para reducir la dureza del agua removiendo el calcio y magnesio. En el tratamiento de residuos peligrosos, el proceso tiene una amplia aplicación para remover metales tóxicos a residuos acuosos.

La precipitación química es aplicable al tratamiento de residuos peligrosos acuosos que contienen constituyentes tóxicos que pueden ser convertidos a una forma insoluble. Estos incluyen residuos que contienen metales como: arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, talio y zinc.

La mayor parte de las industrias que son fuentes de residuos conteniendo metales son: las de galvanoplastia y pulido de metales, el acero y metales no ferrosos, pigmentos inorgánicos, minería y la industria electrónica. Los residuos peligrosos conteniendo metales también son generados en la limpieza de sitios de residuos peligrosos no controlados por ejemplo, como lixiviado de mantos freáticos contaminados.

COAGULACIÓN Y FLOCULACION.

El proceso de precipitación de metales pesados puede ser mejorado por la adición de varios químicos solubles en agua y polímeros para que promuevan la floculación y coagulación. Los productos químicos que más se emplean como coagulantes se pueden dividir en cuatro categorías: cal, sales de aluminio, sales de hierro, y polímeros, cada uno de ellos con propiedades y aplicaciones propias características de cada producto.

La coagulación y floculación son usados para separar sólidos suspendidos de líquidos cuando su velocidad de sedimentación normal sea lenta para proveer una clarificación efectiva.

Coagulación: Es la adición y mezcla rápida de un coagulante para neutralizar cargas y desplome de partículas coloidales así ellas podrán aglomerarse y fijarse. Entre los coagulantes comúnmente empleados en el tratamiento de corrientes residuales acuosas son el alumbre $[Al_2(SO_4)_3]$, cloruro férrico $(FeCl_3)$, el sulfato férrico $[Fe_2(SO_4)_3]$ y polímeros.

Entre las especies coloidales en aguas residuales se incluyen la arcilla, sílica, metales pesados y orgánicos. Los coloides requieren coagulación para conseguir un tamaño efectivo y una proporción de arreglo cuando el tiempo de acomodo sea insuficiente.

El uso de polímeros orgánicos solubles en agua es frecuentemente más efectivo que el uso de aluminio y sales de hierro para promover la coagulación. Estos coagulantes también promueven la floculación, que es la aglomeración de las partículas coloidales. Los floculos son promovidos por una mezcla lenta de partículas coloidales coagulantes bajo el control de las condiciones de pH para producir partículas largas, en relación con esto mejoran la eficiencia de subsecuentes pasos.

La floculación requiere de una buena agitación y es promovida por el mezclado, por el cual llevan los floculos una rapidez de mezclado alta.

Las sales de hierro y aluminio, que son ampliamente usadas en la clarificación de aguas en la industria, funcionan como coagulantes y floculantes debido a la formación de especies cargadas positivamente con un rango de pH de 6 a 7.

Los coagulantes metálicos son particularmente sensibles al pH y a la alcalinidad, si el pH no está en el rango debido esos coagulantes difícilmente dan una buena clarificación.

El sulfato de aluminio es usado más frecuentemente que las sales de hierro en tratamientos de clarificación de agua debido a que es más barato, aunque las sales de hierro son efectivas en un amplio rango de pH. Como resultado de la coagulación se generan lodos residuales, los cuales en función del coagulante utilizado puede contener compuestos químicos lo que puede generar un residuo peligroso. En el proceso de ablandamiento de carbonato de sodio, el carbonato sirve como un coagulante para producir un precipitado pesado que consiste de carbonato de calcio e hidróxido de magnesio, el cual tiene propiedades de coagulante y floculante.

a) Polielectrolítica.

Mientras la sílica está activada mejora significativamente el rendimiento de las sales de hierro y de aluminio como coagulantes en la clarificación del agua, el desarrollo de polímeros orgánicos llamados polielectrolitos tienen una contribución importante en la tecnología del tratamiento de agua.

Los polielectrolitos son polímeros de moléculas orgánicas, ellos son compuestos orgánicos cuya naturaleza iónica juega un rol importante en su rendimiento. Tienen usualmente un intercambio en el sitio de iones el cual da a la molécula un cambio iónico. Los que tienen un cambio positivo son cationes, aquellos con un cambio negativo son aniones y otros pueden ser neutrales o no iónicos. Esas moléculas reaccionan con materia coloidal en el agua para neutralización del cambio y junto a un puente individual de partículas en forma de floculos.

El rendimiento de los polielectrolitos se usa para remover la materia coloidal del agua y así modificar su peso molecular y su capacidad de intercambio de iones.

b) Pruebas de Cilindro y de jarras.

El floculante que mejor trabaja en cualquier sistema puede ser determinado únicamente monitoreando experimentos. A esto se le llama prueba de jarras. Estas son usadas frecuentemente para escoger el coagulante y floculante apropiado, así como la cantidad requerida para la clarificación en la mayoría de las corrientes de desperdicio. Las pruebas de cilindro son usadas en forma similar por corrientes muy densas y de poco movimiento como son las de procesamiento de minerales y separaciones primarias de hidrocarburos.

Las pruebas de Jarras simulan los tipos de mezclado y condiciones de arreglo encontradas en una planta clarificadora. En los resultados de estas pruebas se notan los cambios químicos, la energía y el tiempo de mezclado.

Las pruebas de cilindro, están diseñadas para indicar que tan rápido los sólidos suspendidos sedimentan. Realizando experimentos con floculantes y coagulantes a diferentes dosis y comparando su velocidad de sedimentación se determina, el polímero más efectivo y la mejor dosis seleccionada.

OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN.

El proceso químico de oxidación y reducción puede ser utilizado para convertir contaminantes tóxicos a otros menos perjudiciales o sustancias menos tóxicas. La oxidación es una reacción química con un incremento en la valencia a partir de una pérdida de electrones la cual debe ser acompañada por una reducción. La reducción es una reacción con un decremento en la valencia a partir de una ganancia de electrones. Las reacciones químicas de la reducción y la oxidación son conocidas como redox.

Existen muchos procesos químicos que se auxilian de la oxidación y de la reducción para volver menos dañinos sus residuos como en el caso de cromo hexavalente, el cual es altamente tóxico para la salud y el medio ambiente, por lo que se reduce a cromo trivalente precipitándose como hidróxido de cromo III el cual es menos dañino y de más fácil remoción de las aguas residuales.

Este tipo de reacciones son muy utilizadas para el tratamiento de efluentes como: aguas residuales con metales y también cuando contienen materia orgánica.

Oxidación: La oxidación es un tratamiento que se utiliza tanto para residuos peligrosos como no peligrosos, aunque el estado físico preferente es líquido también se pueden tratar lodos. La oxidación de aguas o lodos residuales es un proceso no selectivo, por lo tanto todo material con la capacidad de ser oxidado se oxidará y la cantidad y costo del oxidante esta en función del total de materia oxidable en el residuo. Por esta razón es preferible eliminar al máximo la cantidad de materia orgánica previo a llevar a cabo el proceso de oxidación.

La oxidación de materiales peligrosos como el cianuro puede llevarse a cabo a través de diferentes oxidantes, tales como:

| Agentes de oxidación | Ventajas | Usos | Observaciones |
|---------------------------------|--|---|---|
| Hipoclorito de sodio "NaOCl" | Bajo costo, alta disponibilidad, fácil transporte y fácil manejo. | Tratamiento de aguas residuales conteniendo cianuros provenientes de industrias de galvanoplastia, extracción de metales y síntesis orgánica. | Costo de unidades para la destrucción de cianuros es de \$10,000 para flujos de 200 gal/día. Costo de operación oscila de \$5 a 15/Kg de cianuro. |
| Peróxido de Hidrógeno "H2O2" | No contamina al medio ambiente. | Oxidación de: fenol en aguas residuales, materia orgánica en aguas residuales de papel y otro tipo de aguas residuales de naturaleza orgánica. Oxidante para el tratamiento de aguas industriales conteniendo: cianuros, formaldehído, mercaptanos, hidroquinonas, fenoles, sulfitos y ácido sulfhídrico. En muchas ocasiones se utiliza como aditivo en absorbedores para la remoción de ácido sulfhídrico, dióxido de azufre, óxido nítrico y dióxido de nitrógeno. | |
| Permanganato de potasio "KMnO4" | Con poca posibilidad de daños a la salud. | Control de fenoles así como materiales orgánicos e inorgánicos en aguas residuales. Como ejemplo podemos citar la remoción de fierro y manganesos solubles en aguas residuales de minería. También se utiliza como deodorizante en plantas de tratamiento y drenajes. | |
| Ozono "O3" | - generación en el sitio a partir de aire, se usa inmediatamente, no requiere de almacenamiento o manejo de oxidantes fuertes; | Tratamiento de agua potable y oxidación de contaminantes como cianuro, cloruro de metileno, tricloroetileno, tetracloruro de carbono y cloruro de vinilo. | Estimado que una planta productora de 2000 Kg de ozono por día cuesta alrededor de \$1,860,000. dólares con un costo de operación de \$296,495 dólares. |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | <p>se detiene la generación interrumpiendo la potencia y requiere de poco mantenimiento.</p> <p>- es un oxidante muy fuerte, reacciona con una variedad de compuestos orgánicos, también lo hace con compuestos inorgánicos <i>Incluyendo</i> metales, no forma compuestos <i>orgánicos clorados</i>, los remanentes reaccionan con <i>componentes</i> o se convierten en oxígeno; se necesita de un tiempo de reacción corto si la mezcla es adecuada, las dosis son menores en comparación con otros oxidantes; hace a algunos compuestos orgánicos más biodegradables, y</p> <p>- se requiere de condiciones de temperatura y pH menos críticas que otros oxidantes; los efluentes tratados son normalmente ricos en oxígeno.</p> | | |
|--|--|--|--|

Estos materiales deben ser manejados con ropa de seguridad (guantes, lentes, cubrenariz, botas y ropa de seguridad). Su almacenaje debe ser en lugares frescos, secos y ventilados.

Por otra parte; en ocasiones la oxidación de materiales orgánicos puede ser requerida tal es el caso de los fenoles, aminas, mercaptanos y clorofenoles. Algunos componentes orgánicos pueden ser resistentes a la oxidación bajo condiciones normales del proceso, en estos casos, el aumento en la temperatura, precisión o uso de catalizadores puede mejorar la eficiencia de la reacción.

REMOCIÓN DEL COLOR.

Un efluente residual acuoso puede tener colorantes orgánicos e inorgánicos difíciles de eliminar hasta los límites permisibles. En los sistemas orgánicos muchas veces es complicada esta reducción de color.

Si la composición química del color se puede determinar, es posible modificar las condiciones de la corriente de origen para eliminar el color producido por el contaminante. Sin embargo, si esto no es posible, entonces debe desarrollarse un proceso de remoción de color adecuado.

Normalmente el proceso de remoción de color de sistemas acuosos puede involucrar la adsorción de carbón, coagulación y floculación u oxidación química con cloro u otros oxidantes fuertes.

DESINFECCIÓN.

El propósito de desinfectar el agua para beber es destruir organismos los cuales causan enfermedades.

a) Clorinación.

La mayoría de los microorganismos, patógenos o no son removidos del agua por procesos de tratamiento convencionales de coagulación, sedimentación y filtración, sin embargo la cloración es a menudo el tratamiento usado en las aguas residuales para asegurar la desinfección satisfactoria del agua potable. La habilidad para desinfectar del cloro es debido a la poderosa propiedad de oxidación la cual destruye estas enzimas de células microbianas las cuales son esenciales en sus procesos metabólicos.

El cloro es el desinfectante que es usado mas ampliamente por que es efectivo a bajas concentraciones, además de su bajo costo, y se libera como cloro residual si se aplica en dosis adecuada y forma un residuo que necesita suficiente dosificación. La adición de cloro tiene que ser un proceso de control alto ya que el cloro es venenoso a temperatura y presión atmosférica, el cloro gaseoso húmedo es extremadamente corrosivo y por lo tanto parte de los equipos y tubería tienen que ser no metálicos o ser de aleaciones especiales. El vapor de cloro causa irritación en ojos y vías respiratorias, y a grandes concentraciones puede causar daño fisiológico.

La alimentación de cloro en áreas de almacenamiento debe tener buena ventilación.

El hipoclorito también puede ser usado pero es muy costoso, es por esto que el cloro líquido es aplicado en la mayoría de las plantas de tratamiento de agua en los Estados Unidos.

El cloro y otros desinfectantes pueden reaccionar con trazas de fondos orgánicos en muchas fuentes de aguas residuales; los subproductos pueden ser censurables en sabor y olor y algunos semejantes al cloroformo pueden ser dañinos, es por esto que algunas agencias regulatorias a menudo restringen el consumo de cloro en largos flujos de efluentes.

b) Ozonación

El ozono también se utiliza para la desinfección de agua potable. En algunos casos se utilizan para aplicaciones de tratamiento de agua residual en donde se desea evitar los residuos de cloraminas que se forman en el proceso de clorinación. El ozono es un agente altamente oxidante, en solución acuosa es relativamente inestable, teniendo una vida media de 20 a 30 minutos en agua destilada a 20°C.

El ozono puede emplearse para la descomposición de cianuro, fenol, ácidos orgánicos, cresol, xilol, aldehídos, mercaptanos, ácido sulfhídrico, nitruro, hierro y manganeso.

Es factible una oxidación completa de contaminantes orgánicos a nitrógeno y bióxido de carbono con algunos compuestos si se emplean tiempos de reacción y dosis de ozono adecuados. Sin embargo, la mayor parte de los compuestos forman intermediarios que compiten por el ozono. Por consiguiente la cinética química de varios compuestos afecta la velocidad de oxidación. Debido a la complejidad de los residuos químicos peligrosos, se debe realizar pruebas de factibilidad de laboratorio y/o estudios en planta piloto antes de diseñar un sistema de oxidación de ozono.

La descomposición de ozono acuoso origina un radical hidroxilo que reacciona con sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas. Este concepto, se usa para predecir velocidades de reacción y las sendas de las reacciones de ozono para sistemas bien definidos.

El ozono reacciona rápidamente con compuestos inorgánicos oxidables, con ion ferroso, ácido sulfhídrico, yoduro y los iones nitrito. Algunos compuestos inorgánicos reaccionan en condiciones modificadas (ajustes en el pH) o a velocidades más bajas (manganeso).

Teóricamente se requiere 0.4 y 2.2 mg. de O₃ para reaccionar con 1.0 mg de hierro y manganeso respectivamente. Los sistemas diseñados para tratar estos materiales utilizan 0.9 y 5.0 mg de O₃ por 1mg de metal, respectivamente.

Algunas desventajas de la utilización del ozono son:

- tienen un elevado costo de capital en comparación con otros sistemas oxidante; el costo de operación depende de los costos de la electricidad.
- a altas concentraciones el ozono es un gas tóxico; el gas de salida debe recibir un tratamiento si tiene ozono presente.
- no degrada los compuestos orgánicos clorados de bajo peso molecular y
- esencialmente no existe oxidante remanente.

INTERCAMBIO IONICO.

El intercambio iónico es un intercambio reversible de iones entre fases sólidas y líquidas. Los iones se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas que dan carga a los grupos funcionales en la superficie de sólidos insolubles que son reemplazados por iones de carga similar en solución. El intercambio iónico es estequiométrico, reversible y selectivo, en la remoción de especies iónicas disueltas.

Los materiales de intercambio iónico deben tener sitios activos a través de la estructura completa, alta capacidad, selectividad por especie iónica (todas las resinas intercambiadoras tienen preferencia por ciertos iones, si hay para escoger), capacidad de regeneración, estabilidad física y química, y baja solubilidad.

Los primeros intercambiadores iónicos que se utilizaron fueron inorgánicos y eran aluminosilicatos de sodio llamados zeolitas, actualmente se utilizan polímeros sintéticos (resinas) que son esencialmente insolubles en agua.

El intercambio de iones es usado en el tratamiento de aguas residuales peligrosas. En este proceso el agua es percolada a través de un lecho de resina selectiva, en la que se desarrolla un proceso de intercambio iónico. Con el tiempo la capacidad de intercambio de la resina se va perdiendo por lo que se requiere realizar un proceso de regeneración. El proceso de regeneración se lleva a cabo al hacer pasar una solución concentrada de sales a través del lecho de la resina. El efluente obtenido de la regeneración presenta un alto contenido del contaminante que fue removido del agua. Estos desechos deben ser conducidos a algún sistema de tratamiento o dispuestos como desechos peligrosos en función de la concentración y tipo de contaminante.

Algunas aplicaciones comunes son: desalación, remoción de amoníaco, tratamiento de metales pesados. El intercambio iónico es usado para desmineralización parcial de aguas residuales en tratamiento terciario.

Los iones mas comerciales de intercambio son los polímeros sintéticos que son esencialmente insolubles en agua.

Tipos de resinas

Las resinas más importantes que se producen son de tipo orgánico.

Estas resinas son realmente un tipo especial de polielectrolitos eslabonados que pueden visualizarse como una red elástica de hidrocarburos tridimensional a la cual están "ensamblados" un gran número de grupos de iones activos. Los grupos iónicos activos son fijos. La carga eléctrica de los grupos iónicos activos está siempre balanceada por un número equivalente de iones de carga opuesta, los cuales son móviles y pueden intercambiarse con otros iones de carga similar.

El comportamiento químico de las resinas se divide en 2 grandes clases:

- * Resinas catiónicas: Intercambian iones cargados positivamente
- * Resinas aniónicas: Intercambian iones cargados negativamente

También, las resinas tienen un tiempo de vida útil, la cual está en función de la composición de la resina y la calidad del agua a la que se le esté proporcionando el tratamiento. Estas resinas gastadas deben ser analizadas con el fin de darles una correcta disposición.

SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN

Los sistemas de tratamiento de estabilización son generalmente diseñados para limitar o reducir la distribución decisiva de constituyentes peligrosos de un residuo.

Típicamente este es realizado con la reducción de la solubilidad de los constituyentes peligrosos, reduciendo el área de exposición lo cual puede permitir la migración de los contaminantes, y así reducir su toxicidad.

Estas técnicas de tratamiento también mejoran las características de manejo de el residuo para transportarlos a sitios cercanos o lejanos. Las técnicas de estabilización diseñadas para limitar la solubilidad o movilidad de los constituyentes peligrosos son particularmente aplicables en la RCRA los residuos peligrosos que contienen metales pesados, los residuos que tienen este padecimiento este tipo de tratamiento todavía deben ser dispuestos sobre la tierra, pero no necesariamente residuos peligrosos de tierras de relleno.

El método para reducir el último volumen de residuos para disposición final es el usualmente deseable para gotas de agua los residuos inicialmente están sujetos a los procesos de solidificación.

La solidificación es una práctica ampliamente usada en la disposición de residuos peligrosos líquidos y lodos. Esto se realiza incorporando el residuo en una matriz sólida usando agentes de solidificación o polímeros.

La solidificación puede también incluir la adición de un absorbente para producir un líquido libre de residuos para que pueda ser fácilmente manejado en el campo.

Los procesos de solidificación y fijación son generalmente hechos para cada residuo.

Los sorbentes comunes incluyen cenizas precipitadas, cenizas cimentadas y polvo de cemento cocido.

Posteriormente estos materiales una vez incorporados se transportan a un confinamiento adecuado.

TRATAMIENTOS FÍSICOS

Los tratamientos físicos implican una extensa variedad de técnicas de separación. Siempre que un residuo contenga líquidos y sólidos debe ser tratado, la separación física debe ser considerada primero porque es generalmente un costo y método efectivo y la solución menos complicada para muchos problemas de manejo de residuos. Los procesos físicos para la separación de líquidos y sólidos incluye cribado, sedimentación, clarificación, centrifugación, flotación, filtración, sorción, evaporación y destilación y osmosis inversa. Cada uno de estos procesos envuelve la separación de materia suspendida para una fase líquida y depende principalmente de la cantidad y la caracterización de los sólidos suspendidos relativos a esa fase líquida.

Los niveles de tolerancia para sólidos residuales en el tratamiento de efluentes son un criterio importante en la selección de el mejor costo-efectivo de procesos de tratamiento. Las partículas grandes con densidades grandes generalmente son mucho mas fácil de remover que las partículas de baja densidad.

Entre los principales tratamientos físicos se tienen:

- 1.- Apantallamiento
- 2.- Sedimentación
- 3.- Clarificación
- 4.- Recarbonatación
- 5.- Centrifugación
- 6.- Flotación
- 7.- Filtración
- 8.- Sorción
- 9.- Evaporación y Destilación
- 10.- Torres de remoción
- 11.- Ósmosis inversa

CRIBADO (APANTALLAMIENTO)

El primer paso para la separación inicial líquido sólido en el tratamiento de aguas residuales incluye el uso de colocación de barreras, pantallas, filtros, y/o cribado para remover los sólidos grandes tales como plásticos, madera y papel. Los sólidos finos que permanecen en la fase líquida pueden requerir de un tratamiento físico adicional y quizá de un tratamiento químico o biológico conveniente.

SEDIMENTACION

Sedimentación consiste en remover sólidos suspendidos en líquidos por colocación gravitacional. La velocidad del líquido debe ser reducida a el punto cuando el tiempo de retención del conducto sedimentado sea suficiente para la colocación de el sólido por gravedad. El rango de tiempo se escoge de acuerdo al tamaño. Forma y densidad de la partícula sólida y de la densidad de la fase líquida.

Existen cuatro tipos de sedimentación:

TIPO I.- Es la sedimentación de partículas exclusivamente discretas con baja concentración.

En este caso las partículas se sedimentan como unidades discretas, y no existe floculación o interacción entre las partículas. Ejemplos de este tipo:

a) Sedimentación de aguas superficiales.

b) Sedimentación de partículas arenosas en cámaras desarenadoras.

En este caso, la partícula se acelerará hasta que la fuerza de arrastre iguale a la fuerza de gravedad; en ese momento la sedimentación ocurre a velocidad constante.

En la sedimentación tipo I, la remoción de sólidos suspendidos es una función de la tasa de derrame o velocidad de asentamiento, el tiempo de retención y la profundidad.

TIPO II.- Es la sedimentación de partículas exclusivamente floculentas con baja concentración.

Es la sedimentación de partículas floculantes en suspensiones diluidas. Las partículas floculantes durante la sedimentación aumentan de tamaño y se sedimentan a mayor velocidad.

Pruebas Batch se requieren para evaluar las características de sedimentación de suspensiones floculentas.

La columna debe ser de al menos 12.5-20 cm. de diámetro y la altura igual a la del tanque sedimentador. Puertos de muestreo se tienen a intervalos de altura iguales. Las muestras se sacan a intervalos de tiempo periódicos y se determinan los sólidos suspendidos y la concentración de la muestra.

TIPO III (por zona).- Si se observa que se forma una interfase entre la parte con partículas y la parte que ya no las tiene.

Velocidad = constante

TIPO IV (por compresión).- Cuando la interfase llega a cierto nivel, ya no tiene velocidad constante, se empieza a desacelerar, y el líquido encerrado abajo, empieza a subir.

Las partículas discretas son aquellas que no se unen unas con otras.

Las partículas floculentas son las que tienden a formar flóculos.

CLARIFICACIÓN

Clarificadores eficientes son a menudo usados para efectuar una rápida sedimentación por gravedad que los sedimentadores y para remover las partículas de residuos sólidos y líquidos. Normalmente, el objetivo en la clarificación es producir un efluente líquido limpio más que un sedimento denso y desaguado.

La colocación en un estanque amplio puede ser usado para clarificar aguas residuales en caso de que haya región suficiente y otros recursos disponibles para apoyar la instalación. Estos estanques de fijación son de tamaños típicos para contener por varias semanas la producción de sistemas acuosos diluidos.

El tiempo de residencia en los estanques debe ser suficiente para permitir la colocación de las partículas sólidas por gravedad y recoger el fondo del estanque.

El clarificador mas comúnmente usado para sedimentación en el tratamiento de líquidos acuosos diluido tales como aguas residuales es el clarificador de alimentación central. Este tipo de clarificador combina mezclado, coagulación, floculación y una subsecuente clarificación.

El residuo líquido para ser tratado en el centro del clarificador es mezclado con químicos para intensificar la coagulación, floculación y sedimentación.

RECARBONATACION

La recarbonatación es un proceso usado tradicionalmente después de un sistema de ablandamiento cal-soda de agua. Consiste en la adición de CO₂ a efluentes tratados con cal, con el objeto de reducir el pH, y con esto proteger los procesos posteriores de la deposición de calcio que ocurriría a valores mayores de pH.

Este proceso puede llevarse en una o dos fases. El de una fase sólo cuenta con un tanque de contacto e inyección de CO₂, mientras que el proceso de dos pasos cuenta con dos tanques de contacto separados por un sedimentador intermedio para precipitar carbonatos de calcio.

En este proceso no se generan desechos peligrosos.

CENTRIFUGACION

Las centrifugas son frecuentemente usadas en el desaguado de lodos residuales con 10 a 40 % en peso de sólidos.

El objetivo es producir un sólido coagulado el cual es suficientemente denso y fuerte para permitir su transporte como residuo sólido hacia un lugar de disposición final.

Esta operación de desaguado generalmente sigue de una clarificación convencional y un compactamiento de los sólidos.

En caso de que el lodo vaya a ser incinerado, debe ser desaguado lo suficiente para minimizar la cantidad de combustible alternativo que se usará en el proceso de incineración. En el centro de la centrifuga generalmente se encuentran partículas finamente divididas y sólidos suspendidos que deben ser reciclados al clarificador.

Las centrifugas son usadas para aplicaciones de desaguado porque son compactas, tienen alta capacidad de respuesta y son fáciles de manejar.

El uso de las fuerzas centrifugas incrementa la eficiencia de separación cuando se compara con un clarificador por gravedad convencional. Este reduce el tiempo requerido de retención porque las partículas sólidas solo tienen unas pulgadas en lugar de muchos pies como en un clarificador.

FLOTACIÓN.

Los sólidos de baja densidad e hidrocarburos sólidos pueden ser separados de los líquidos por flotación con aire. El aire es introducido en el residuo líquido en forma de burbujas finamente divididas, las cuales unen a las partículas para ser removidas, las partículas tienden a elevarse a la superficie y son removidas por arrastre.

FILTRACIÓN

En la filtración el líquido es pasado por un medio poroso para remover sólidos suspendidos. Como ocurre en este proceso, los sólidos suspendidos se suman al espesor de el medio poroso, después de un tiempo este medio se obstruye y tiene que ser retrolavado, mediante flujo invertido para limpiar y desfogar los sólidos acumulados durante la operación normal del filtro.

Los filtros de arena también son comúnmente usados como un paso final en el tratamiento de aguas residuales para producir un efluente de alta calidad.

Las unidades de filtración pueden emplear medios filtrantes compuestos de dos o más lechos distintos. Las combinaciones más comunes incluyen arena y antracita, arena y carbón activado, lechos de resina y arena, lechos de resina y antracita, y carbón activado, entre otros.

La arena se clasifica entonces como filtro, con las pequeñas partículas elevándose a la superficie. Como el agua residual tratada fluye a través de la arena, los sólidos suspendidos forman una capa en la parte superior de la cama del filtro.

El lavado a contra flujo se utiliza periódicamente para limpiar la cama, removiendo la capa de sólidos no deseados.

Existen también los filtros multimedia (con partículas de diversos tamaños) que se acoplan o construyen de acuerdo a las necesidades de operación, así que ofrecen gran flexibilidad de operación, longitudes mayores de corrientes, y velocidades de filtración más altas que los filtros de poro mediano (de un solo tamaño de partícula).

Frecuentemente la antracita (con gravedad específica de 1.6 y un tamaño de 1mm.), y arena silica (con gravedad específica de 2.6 y tamaño de 0.5 mm) son usados en filtros de multimedia. La antracita permite flujos a gran velocidad, la arena pesada provee de una limpieza final en el efluente. La adición de un tercer medio, tal como el granate (con gravedad específica de 4.5 y tamaño de 0.3 mm) puede adicionar un incremento en la eficiencia de filtración.

El tiempo de retrolavado de los filtros y desfogue de residuos es muy variado y se encuentra determinado en función de la calidad del líquido de entrada y características del medio filtrante; sin embargo, la generación de este desecho (lodos) se puede considerar constante. Otro desecho importante es el mismo medio filtrante, el cual después de un tiempo tiene que ser desechado, debido a su desgaste y fin de su vida útil.

SORCION

El uso de un adsorbente para remover una sustancia determinada de una solución es llamada *adsorción*. la cual es la adhesión física de moléculas o partículas en la superficie de una adsorbente sólido sin una reacción química. Esto contrasta con la *absorción*, la cuál envuelve la penetración de las moléculas o partículas en el absorbente sólido.

Sorción es un término comúnmente usado para referirse a ambas, la absorción y la adsorción, ya que ambos pueden ocurrir simultáneamente en los sistemas de aguas residuales.

ADSORCIÓN

El tratado de sustancias orgánicas e inorgánicas de residuos acuosos con carbón activado es realizado a través de la adsorción de sustancias químicas sobre una molécula de carbón.

En el tratamiento de aguas residuales, el carbón activado es ampliamente usado para adsorber sustancias orgánicas indeseables, es usado en cualquiera de las dos formas granular o en polvo, dependiendo de la aplicación y el proceso económico.

El carbón activado es utilizado para la remoción de materia orgánica, metales, color y olores desagradables. A diferencia de las unidades de filtración en este caso no se requiere de retrolavado, sin embargo, se necesita la regeneración del carbón o su reemplazo periódico, que se detecta mediante la medición de las concentraciones de compuestos orgánicos en el efluente del proceso.

El carbón activado residual puede ser peligroso en función del tipo y concentración de compuestos orgánicos y metales pesados que hayan quedado absorbidos en él.

El carbón es producido por la carbonización controlada de sólidos de carbón grandes, seguida de una activación con una corriente de aire caliente. El carbón activado es efectivo para remover estos constituyentes peligrosos de las corrientes acuosas y es directamente proporcional a la cantidad de área superficial del carbón activado, ya que la adsorción es una superficie de reacción. El carbón activado tiene un área superficial total en el rango de 1,000 m²/g, este es poroso y tiene un tamaño de poro que es también importante en la determinación de la efectividad de adsorbente.

La adsorción implica la acumulación o concentración de sustancias en la interfase que separa a dos fases líquido-sólido. El material que se concentra en la superficie o que se adsorbe se llama adsorbato y la fase adsorbente se llama adsorbente.

ABSORCIÓN

La absorción es un proceso en el cual las moléculas o átomos de una fase interpenetran casi uniformemente en los de otra fase, constituyéndose una "solución" con esta segunda.

La absorción es un proceso físico de remoción de compuestos orgánicos volátiles del agua, también conocido como "lavado con aire" o en inglés como "air stripping".

Consiste en hacer pasar el agua contaminada a través de una torre de aereación.

La absorción de gas ocurre cuando los componentes solubles de un gas mezclado son disueltos en un líquido. La absorción puede ser física o también puede envolver una reacción química con componentes en la solución líquida.

Ejemplos de absorción en el tratamiento de sustancias peligrosas incluye la absorción de agua, de amoníaco o cloruro de hidrógeno del aire. El soluto es normalmente recuperado por destilación y la absorción de el líquido en reciclada en la parte trasera de el absorbedor.

Las torres empacadas son comúnmente usadas para absorción de gases. Esta torre contiene material empacado que obliga a el agua a dividirse en pequeños chorros incrementando en forma dramática el área superficial expuesta del agua. Al mismo tiempo, se hace pasar a través de la columna y a contracorriente, un flujo de aire. Dentro de la columna se realizará la transferencia del contaminante del agua hacia el aire por difusión.

La columna esta empacada con anillos y otras formas sólidas para proveer un buen contacto líquido-sólido para que ocurra la absorción de una manera eficiente. El material de empaque incrementa la eficiencia del proceso al aumentar el área interfacial entre el agua y el aire, es decir el área a través de la cuál se dará la transferencia.

Este proceso es especialmente recomendado para compuestos con un valor relativamente alto de la constante de Henry, es decir, para compuestos con $H > 100$ atm. La constante de Henry es un "coeficiente de partición" que nos dice que tan volátil es un compuesto. Se le llama coeficiente de partición porque nos da una idea relativa de que tanto de una sustancia se "partirá" entre dos fases, el aire y el agua.

Algunas de las sustancias que se consideran "buenas candidatas" para éste proceso son: Solventes (ejem: tricloroetileno, tricloroetano), compuestos del petróleo (benceno, tolueno, xilenos), cloroformo, etc. Todas éstas sustancias tienen una constante de Henry superior a 100 atm. Compuestos con una constante de Henry menor, tendrían que analizarse para determinar si éste proceso sería económico o no.

EVAPORACIÓN Y DESTILACIÓN.

La evaporación de líquidos es ampliamente usada en muchas aplicaciones para el manejo de residuos peligrosos. Todos los líquidos ejercen una presión de vapor, la cual es una medida de la volatilidad del líquido.

Los líquidos con una presión de vapor alta pueden evaporarse rápidamente mientras que las que tienen una presión de vapor baja se evaporan mas lentamente, la nivelación requiere de la adición de calor para intensificar la velocidad de evaporación.

Las sales solubles y otros residuos en el líquido decrecen la presión de vapor y elevan el punto de ebullición. Como el líquido es evaporado, la solución residual llega a ser mas concentrada y eventualmente saturada con disolventes sólidos.

La evaporación de líquidos de residuos peligrosos puede ser realizada en evaporadores de efecto múltiple, destilación, etc.

Destilación, es la separación de dos o mas líquidos por medio de vaporización y condensación, es muy efectivo en corrientes residuales la cual requiere de una separación con pureza alta. La destilación fraccional puede producir un destilado con pureza alta y una corriente de fondos que pueden ser reciclados o comercializados.

TORRES DE REMOCIÓN

El aire burbujeado en las llamadas torres de remoción se utiliza para liberar sustancias peligrosas de baja concentración disueltas en agua.

Las torres de burbujeo pueden ser torres inducidas de selección semejantes a las torres de enfriamiento con flujo a contracorriente con la alimentación de la mezcla aire-solvente en la parte superior y en la parte inferior la mezcla agua-solvente.

OSMOSIS INVERSA.

En el proceso de osmosis, un flujo de solvente a través de una membrana semipermeable de una disolución a una solución mas concentrada. El solvente normalmente fluye en la dirección de la concentración fuerte a la solución de la concentración reducida. La presión osmótica de la solución es la presión que luego aplica en la solución.

La presión osmótica de la solución es la presión que al aplicarse, evita el paso del solvente a través de la membrana semipermeable.

En la ósmosis inversa una presión diferencial es la que excede la presión osmótica, es aplicable a la membrana causando que el solvente fuerte vaya hacia la solución débil.

La ósmosis inversa se ha empleado en diversas aplicaciones que van desde el tratamiento de aguas para calderas de alta presión hasta la desalinación de agua salobre y agua de mar, para lo cual existen diversos tipos y formas de membranas.

Como desecho se generan eventualmente membranas gastadas, las cuales pueden ser residuos peligrosos en función de los contaminantes contenidos en ellas.

El proceso de ósmosis inversa es aplicado en concentraciones de residuos acuosos salinos para producir concentraciones de salmuera y un agua de alta pureza, en estos casos son usados una membrana semipermeable y una presión hidrostática.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Dentro de los métodos disponibles para la destrucción térmica de residuos peligrosos, se encuentra el uso de diferentes tipos de incineradores, la oxidación térmica por cama fluidizada, el uso de calderas, hornos de cemento, la pirólisis, el uso de plasma, y oxidación acuosa supercrítica entre otras.

A continuación se discutirán los métodos de incineración que potencialmente pueden ser desarrollados a corto plazo en México, tales como el uso de incineradores comerciales, los hornos rotatorios y la pirólisis.

Los desechos peligrosos contienen carbón, hidrógeno y oxígeno. También pueden estar presentes halógenos, azufre, nitrógeno y metales pesados. Pueden existir otros componentes a nivel de trazas pero no causan cambios mayores en las consideraciones de diseño de un incinerador.

La estructura de una molécula generalmente determina que tan tóxica es al ambiente o al ser humano. Si estas moléculas pueden ser destruidas o reducidas a dióxido de carbono y agua entonces esta toxicidad es eliminada. Esta destrucción o reducción generalmente es llevada a cabo por incineración de los residuos.

La incineración es la tecnología deseable para la destrucción de grandes cantidades de desechos orgánicos peligrosos. Es necesario monitorear y controlar las emisiones a la atmósfera de los efluentes gaseosos de los incineradores. La incineración de desechos disminuye la necesidad de crear lugares de confinamiento subterráneo.

Ventajas y desventajas de la incineración

Ventajas:

- 1.- Se logra una reducción de casi el 100% del volumen del residuo.
- 2.- Se pueden utilizar desechos orgánicos con alto poder calorífico como combustibles alternos.
- 3.- La incineración destruye todos los compuestos combustibles que sean cancerígenos, mutagénicos o teratogénicos.
- 4.- Reduce la generación de residuos que sean susceptibles de lixiviación ya que el residuo sólido generado es mínimo.

Desventajas:

- 1.- La inversión inicial de capital para operar sistemas de incineración es muy alta.
- 2.- Requiere que las instalaciones sean operadas por personal altamente capacitado, lo cual implica altos costos de nómina.
- 3.- Puede generar partículas, olores y vapores que contaminan el ambiente si no es instalado un equipo anticontaminante adecuado a cada tipo de incinerador.
- 4.- Su uso causa controversia en la comunidad e implica problemas con las asociaciones ecologistas.
- 5.- Requiere de muchos trámites gubernamentales para poder iniciar su operación.

Química de la incineración

La incineración es una oxidación controlada del material orgánico de un residuo para producir dióxido de carbono y agua. También se generan como producto de la incineración sales inorgánicas, ácidos y compuestos metálicos.

En estos procesos ocurren todos los mecanismos de transferencia de calor (convección, conducción y radiación) entre sólidos, líquidos y gases en condiciones de alta temperatura. La complejidad de estas reacciones químicas es incrementada por la existencia de flujos laminares y turbulentos de gases en el sistema.

Factores para el diseño de un sistema de incineración

La destrucción de un desecho peligroso involucra la exposición controlada del desecho a altas temperaturas, típicamente sobre los 315 °C. Cuando un sistema de incineración es diseñado y operado correctamente, ofrece la oportunidad de destruir desechos orgánicos peligrosos y reducir significativamente su volumen. Existen muchos factores a considerar en el diseño de un incinerador, pero los básicos son:

- 1.- **Temperatura:** En un proceso térmico la temperatura es probablemente el factor más importante que se debe controlar para asegurar una correcta destrucción de los residuos. Es muy importante definir cuál es la temperatura mínima. La temperatura mínima se define como aquella en la cual se inicia la destrucción térmica de los residuos.

- 2.- **Tiempo de residencia:** El volumen del incinerador determina el tiempo de residencia para un flujo dado. Este es el tiempo que interactúa el residuo en el incinerador para su destrucción completa. Esto se debe definir claramente ya que un correcto tiempo de residencia permite que los productos de combustión incompleta (PIC's) que se forman inmediatamente puedan ser oxidados completamente antes de salir del incinerador.
- 3.- **Turbulencia:** Se puede generar turbulencia dentro del incinerador para asegurar una efectiva destrucción de los residuos a la temperatura de operación. Para lograr esta turbulencia dentro del incinerador se utilizan bombas, burbujeadores y abanicos.
- 4.- **Presión:** La mayoría de los incineradores están diseñados para operar a una presión ligeramente negativa para reducir las emisiones fugitivas, por lo tanto no es necesario tener el sistema perfectamente sellado. Existen incineradores que operan a presiones elevadas, sin embargo es necesario utilizar sistemas de construcción que permitan soportar estas presiones.
- 5.- **Suministro de aire:** La incineración de los residuos involucra la reacción de los compuestos combustibles con el oxígeno. Normalmente el oxígeno es tomado del aire, aunque existen sistemas de incineración que operan solamente con oxígeno.
- 6.- **Materiales de construcción:** La mayoría de los incineradores son construidos con materiales seleccionados que permiten una operación continua libre de mantenimiento sobre un amplio rango de tiempo y de condiciones de operación y de desechos incinerados. Estos materiales pueden ser desde acero hasta aleaciones raras de metales. En estos materiales se deben considerar compuestos refractarios para evitar pérdida de calor hacia el exterior.
- 7.- **Consideraciones adicionales:** Estas incluyen el modo de alimentación del desecho, sistemas de neutralización de ácidos y álcalis generados en el proceso, equipos anticontaminantes, remoción de cenizas, etc.

Los incineradores comerciales han sido usados extensamente en países desarrollados para la destrucción de residuos peligrosos en varias formas físicas, tales como líquidos, sólidos y lodos. Las características de los residuos en general son muy variables. La desventaja principal del uso de incineradores comerciales contra otros de *destrucción térmica es la generación de altas cantidades de ceniza, la cual está compuesta principalmente por óxidos metálicos entre los cuales pueden encontrarse metales pesados dependiendo de la composición original del residuo.* En la mayoría de los casos, la ceniza es considerada como peligrosa por toxicidad de sus lixiviados, esto por consiguiente origina un aumento en el costo de disposición final, ya que debe ser encapsulado antes de ser enviado a confinamiento.

Hornos de producción de cemento

El cemento es el ingrediente básico del concreto, cuya industria ha tenido un auge durante el desarrollo del mundo moderno. El cemento es obtenido a través de un proceso de pirólisis de minerales ricos en calcio, silicio, aluminio y fierro a temperaturas superiores a los 1450°C.

El proceso demanda un consumo extremadamente alto de energía por lo que ha sido una de las tecnologías que más ha contribuido en la recuperación de energía de residuos industriales con alto poder calorífico, tales como solventes, fondos de destilación de solventes, llantas, lodos de pinturas, aceites gastados, entre otros.

Adicionalmente, las características de las materias primas y del proceso dan a este tipo de industria el potencial de poder incorporar residuos industriales sustituyéndolos o mezclándolos con materias primas, entre los cuales pueden considerarse: escorias de procesos de producción de hierro y aluminio, lodos de procesos de ablandamiento de agua, lodos abrasivos, incluso en hornos de proceso húmedo, corrientes ácidas pueden ser neutralizadas por las materias primas e incorporadas al proceso para su destrucción final.

Procesos de pirólisis

La pirólisis es definida como la descomposición química o un cambio realizado por calentamiento en ausencia de oxígeno. La aplicación de la pirólisis al tratamiento de desechos peligrosos se realiza en dos pasos. En el primero, el residuo es calentado, sus componentes volátiles son separados (gases combustibles, vapor de agua, etc.) de los no volátiles y de las cenizas. En el segundo paso, los componentes volátiles son quemados en condiciones adecuadas para asegurar la incineración de todos los compuestos peligrosos.

Existen varios tipos de procesos los cuales incluyen la recuperación de energía y la recuperación de compuestos útiles de los residuos volátiles y sólidos. La pirólisis es especialmente aplicable al tratamiento de desechos peligrosos debido a que se puede lograr un control exacto de la temperatura.

El primer paso de un tratamiento de pirólisis es endotérmico y generalmente es realizado entre 425 y 760°C. La cámara de combustión es llamada pirólizador. El hecho de que el proceso sea endotérmico lo hace más fácil de controlar. Los compuestos orgánicos peligrosos pueden ser evaporados a baja temperatura y dejan un residuo limpio. En el segundo paso los compuestos volátiles son quemados en un incinerador que puede alcanzar una eficiencia de destrucción mayor al 99.99%. El proceso, al ser realizado en dos pasos, permite un control preciso de la temperatura y hace posible construir equipos relativamente pequeños. La pirólisis es aplicable a los siguientes residuos: desechos contenidos en tanques que no son fácilmente drenables, lodos o líquidos con alto contenido de cenizas, volátiles inorgánicos (NaCl, FeCl₂, Zn y Pb).

Ventajas:

- 1.- La pirólisis es un proceso a baja temperatura (comparado con la incineración) por lo tanto los materiales refractarios tienen un mayor tiempo de vida.
- 2.- Se reduce la entrada de partículas al sistema, por lo tanto es menor la necesidad de tener un equipo complejo de control de emisiones.
- 3.- Es un proceso fácil de controlar por ser endotérmico.

- 4.- Desechos sólidos y líquidos heterogéneos son fácilmente homogenizables en la corriente gaseosa.
- 5.- Los constituyentes recuperables útiles son concentrados en el residuo sólido para su reciclaje.
- 6.- El volumen del residuo es insignificante.
- 7.- Vapores condensables con valor económico pueden ser recuperados.
- 8.- Vapores no condensables de combustibles pueden ser reutilizados como fuente de energía.

Desventajas:

- 1.- Algo del contenido de energía de los desechos puede ser retenido en el residuo sólido final.
- 2.- Se requiere el uso de incineradores de humos para destruir los Productos de Combustión Incompleta (PIC's) o desechos cancerígenos que pudieran estar presentes.

Incineración catalítica

La incineración catalítica es un proceso en el cual se utiliza un catalizador para incrementar la velocidad de oxidación de desechos a temperaturas más bajas, normalmente 537°C, que las convencionales de un proceso de incineración (760°C).

Los productos de oxidación son los mismos que para un proceso de incineración convencional. Las ventajas de la incineración catalítica sobre la incineración térmica es que requiere menos combustible y el mantenimiento de los materiales de construcción del incinerador es menor. Las desventajas es que la aplicación sobre desechos líquidos, no es aplicable a desechos sólidos y los problemas inherentes por el uso de catalizadores (envenenamiento, enmascaramiento, etc).

La principal aplicación de este tipo de incineración es la oxidación de compuestos orgánicos en corrientes gaseosas, también pueden ser tratados desechos líquidos con ciertas limitaciones. Los sistemas de incineración catalítica no pueden ser usados en desechos sólidos. Es necesario estudiar previamente el envenenamiento y enmascaramiento de los catalizadores con los residuos antes de seleccionar el posible sistema de incineración.

Incineradores de residuos sólidos industriales

| Tipo de residuo | Empresa | Tipo de servicio | Lugar |
|--|-------------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Productos farmacéuticos caducos y envases con plaguicidas. | Bayer de México, S. A. de C.V. | Privado | Santa Clara, Estado de México. |
| Productos farmacéuticos caducos y químicos. | Ciba-Geigy de México, S. A. de C.V. | Privado | Atotonilquillo Jalisco. |

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

El tratamiento biológico utiliza procesos similares a los empleados en el tratamiento de agua residuales.

Muchos residuos peligrosos pueden ser tratados biológicamente, a menos que las concentraciones de materiales tóxicos sean letales para los microorganismos.

La biotecnología utiliza microorganismos desarrollados selectivamente para degradar tóxicos específicos.

El tratamiento biológico puede ser un camino eficiente, para remover sustancias peligrosas de aguas residuales, aguas contaminadas y suelos contaminados. Los microbios para tratamiento biológico pueden clasificarse en *heterotropicos* o *autotropicos*, dependiendo del origen de sus nutrientes. Los heterótrofos usan materia orgánica y los autótrofos materia inorgánica. Los microorganismos pueden ser categorizados de acuerdo a su utilización de oxígeno. En procesos aerobicos, se requieren moléculas de oxígeno para descomponer la materia orgánica por la energía que necesita la bacteria para crecer y multiplicarse. Los microbios anaerobicos utilizan oxígeno que es combinado químicamente con otros elementos, como nitratos, carbonatos, o sulfatos; los anaerobicos solo requieren la ausencia de cualquier molécula de oxígeno libre. Los microbios facultativos pueden usar el proceso aerobico si las moléculas de oxígeno están presentes, pero ellos pueden también usar el proceso anaerobico.

Los organismos aerobicos son los mas comúnmente usados en el tratamiento industrial de corrientes residuales, particularmente aguas residuales. Los sistemas anaerobicos son usualmente limitados al tratamiento de residuos orgánicos fuertes o lodos orgánicos del proceso aerobico.

Fases del ciclo de vida de un microorganismo:

Fase introductoria: Los microorganismos son introducidos y se aclimatan a su nuevo ambiente.

Fase de crecimiento: La velocidad microbial de fisión es maximizada a través de condiciones óptimas de crecimiento.

Fase de madurez: La velocidad microbial de fisión se limita debido a la declinación de la exposición de una o mas condiciones críticas.

Fase de declinación : La población microbiológica experimenta un rápido y constante decline.

La bacteria se reproduce por fisión severa con la célula madre en nuevas células. Si hay un adecuado nutriente, este proceso de reproducción ocurrirá rápidamente y la sustancia se convertirá en químicos menos tóxicos o pueden ser completamente destruidos.

La habilidad de la bacteria para consumir orgánicos es medida por la demanda Bioquímica de oxígeno (DOB), la cual es la cantidad de oxígeno utilizado por microorganismos en la oxidación aeróbica de orgánicos a 20°C.

Los microorganismos crecen si se proveen las condiciones adecuadas, ellos necesitan una fuente de carbono y energía, la cual debe de venir de la luz del sol, un compuesto inorgánico reducido o un compuesto orgánico. Ellos necesitan nutrientes tales como Nitrógeno, Fósforo y trazas de metales. Los organismos aeróbicos necesitan una fuente de oxígeno.

Algunos organismos pueden usar inorgánicos oxidados tales como nitratos en sustitución del oxígeno. La temperatura y pH deben ser controlados y las sustancias que son tóxicas a los organismos deben ser removidas.

Colectivamente los materiales celulares contienen una amplia variedad de elementos. Muchas proteínas, cuando son usadas como enzimas, requieren cierta concentración de metales. Como resultado, los elementos deben estar presentes como nutrientes para el crecimiento de los organismos. Otros organismos que no son hábiles para sintetizar algunos de los organismos intracelulares requeridos, deben ser abastecidos como nutrientes inorgánicos e intermedios orgánicos necesarios para crecer.

Mucha gente asume que el tratamiento de residuos peligrosos con procesos biológicos no es posible; debido a que los materiales peligrosos son tóxicos para organismos vivos y ya que los microorganismos son organismos vivos, el tratamiento biológico no es una alternativa viable. Esto es cierto ya que los compuestos peligrosos pueden ser tóxicos para algunos o todos los miembros de una colonia microbiana dada, cuando se presenta alguna concentración crítica. La existencia de tal concentración tóxica crítica depende del compuesto, concentración y de la colonia microbiana. Pero una sustancia que es tóxica para un grupo de organismos puede ser una comida valiosa para otro grupo.

El proceso aeróbico puede necesitar otro tratamiento físico y químico en ese orden para llegar a los resultados deseados. En cualquier evento, los sistemas biológicos pueden disminuir el costo del proceso por reducción de la carga orgánica. Las aguas residuales altamente contaminadas pueden ser tratadas con tecnología de procesos convencionales que pueden proveer adecuado mezclado, surtir oxígeno, adición de nutrientes y control de pH y temperatura. El tratamiento de suelos contaminados ofrece las mismas condiciones.

Mientras una comunidad microbiana que es resistente a niveles moderados de metales pesados puede ser desarrollada, la acumulación de precipitados metálicos en la biomasa puede severamente inhibir su actividad. Como resultado, un sistema de pretratamiento para remover contaminantes metálicos puede ser usado. La eficiencia del tratamiento puede ser adversamente impactada si el contenido de sal es mayor que 2%.

Si los organismos son biodegradables y pueden ser enriquecidos y mantenidos en la comunidad microbiana, entonces el sistema puede ser diseñado hasta que la toxina se mantenga a niveles bajos.

El nitrógeno y el fósforo son nutrientes comunes que se adicionan al sistema biológico, ya que la falta de estos elementos en cantidades suficientes en una forma inorgánica retardan severamente la actividad biológica.

Muchos de los organismos capaces de tratar sustancias peligrosas crecen bien en el rango de pH de 6 a 8. El ajuste de pH de suelos y control de pH en reactores biológicos de tratamiento de aguas residuales puede ser necesario si el pH es afectado por la actividad biológica o el suministro de materiales peligrosos. Muchos compuestos peligrosos son bien degradados aerobicamente, pero ya que la profundidad de penetración de oxígeno en suelos es limitada, la velocidad y amplitud de la desintoxicación biológica es también limitada. La aereación debe algunas veces ser necesaria en el tratamiento biológico de aguas residuales contaminadas pesadamente.

La temperatura es un factor importante en el tratamiento biológico de residuos peligrosos. Los microbios psicofílicos (frío), termofílicos (calientes) y mesofílicos (moderado) requieren diferentes temperaturas para máximo crecimiento. Para variaciones pequeñas en la temperatura, la velocidad de remoción de organismos es directamente proporcional a la temperatura hasta que algún máximo es alcanzado, el cual será inversamente proporcional. El impacto de cambios amplios de temperatura no es claro debido a que las características de la colonia microbial pueden variar con la temperatura. Como resultado, la velocidad de alcance de la remoción de orgánicos puede variar con la temperatura mucho más que la esperada en las consideraciones de cambios pequeños.

Las dos tecnologías más comunes para crecimiento de sistemas biológicos suspendidos son los sistemas de flujo continuo (CFS) y un proceso discontinuo llamado reactor batch secuencial (SBR). Un CFS comienza con la entrada de agua pretratada a un bioreactor agitado para crecimiento de organismos que acompañan al sustrato removido. El paso de la suspensión del bioreactor a clarificador, donde la biomasa es separada del efluente líquido tratado, el cual puede sufrir un tratamiento adicional. Los fondos del clarificador son regresados al bioreactor para mantener la concentración de biomasa deseada, la biomasa en exceso fluye como lodo de proceso.

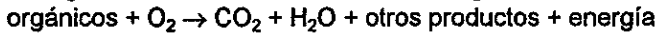
Un sistema SBR, el cual es un proceso discontinuo, consiste esencialmente en el mismo proceso utilizado en CFS. Para el tratamiento continuo de agua residual, el SBR puede ser precedido por el pretratamiento de aguas residuales altamente contaminadas. Un sistema típico SBR utiliza un proceso cíclico que incluye llenado, reacción, asentamiento, decantado e inactividad. Un sistema SBR utiliza dos reactores paralelos, así mientras que un tanque es llenado el otro está completando el periodo final del ciclo.

Durante la etapa de llenado el agua residual pretratada entra al recipiente que contiene la biomasa aclimatada. Las reacciones aerobicas o anaerobicas iniciadas durante el llenado continúan en la etapa de reacción. El tiempo de reacción debe ser suficiente para satisfacer los requerimientos deseados del efluente.

La biomasa es entonces asentada por un predeterminado periodo de tiempo, cerrando la entrada de aire del equipo. El tiempo para cada fase en el SBR puede ser relacionado a un correspondiente tiempo de la operación CFS, por que los estudios de tratabilidad son imperfectos y por que las aguas residuales altamente contaminadas cambian el carácter con el tiempo.

SISTEMAS AEROBICOS

El objetivo de los sistemas aerobicos es desarrollar microbios los cuales convierten una amplia variedad de compuestos orgánicos a otros que son removidos por técnicas de separación convencional y a sustancias no peligrosas tales como dióxido de carbono y agua. Algunos compuestos orgánicos pueden no ser degradados en un ambiente particular, mientras otros son solo parcialmente degradados y convertidos a otros compuestos orgánicos secundarios. Esta definición de la biodegradabilidad de compuestos orgánicos es aplicable para todos los orgánicos, sean o no peligrosos. Los procesos aerobicos generalmente se describen con la siguiente reacción:



Los otros productos en este proceso son dependientes de los tipos de orgánicos y otros nutrientes presentes.

La oxidación aerobica es usualmente una reacción cinética de primer orden.

$$-dC/dt = Kc$$

El tiempo de retención de sólidos en un bioreactor es representado por:

$$t_s = V_b/R_b$$

La concentración de oxígeno molecular disuelto debe ser mantenida a un mínimo de 2 lb. de oxígeno por lb. de sólido destruido.

Si el oxígeno contenido es también bajo, unas porciones de los sólidos pueden convertirse en anaerobicas con efectos adversos como la destrucción biológica.

Muchas aguas residuales contaminadas y suelos pueden ser tratados con procesos aerobicos. Los procesos biológicos aerobicos deben conceder condiciones propias, oxígeno, pH y temperatura para ser establecidos.

La mayoría de los sistemas de tratamiento biológico son bioreactores aerobicos quienes cuentan con la aereación para mantener el crecimiento biológico.

Diversos tipos de estos sistemas aerobicos incluyen lagunas aereadas, filtros de escurrimiento y contactores biológicos rotatorios.

LAGUNAS AEREADAS

La aereación de lagunas es frecuentemente usada en el tratamiento de residuos peligrosos. Suficiente oxígeno debe proveerse para mantener disuelto oxígeno de 8 a 12 pies de profundidad. Las lagunas aereadas requieren un amplio suelo por un tiempo de retención de 1 a 2 meses, ellos son usualmente rectangulares, con una longitud y anchura de 2 a 1.

Varias lagunas pueden ser instaladas y preparadas así para su posible operación en serie o en paralelo. Los diques que forman la laguna usualmente son inclinados de 1 a 3 o menos, son usados por protección para evitar la destrucción causada por olas.

Las lagunas aereadas para tratamiento de residuos industriales comúnmente tienen elevación o flotación de plataformas con unidades de aereación mecánica, el mezclado completo y la adecuada aereación son esenciales. Los aereadores deben ser espaciados para proveer una mezcla uniforme para dispersión de oxígeno disuelto y suspensión de microbios. El tratamiento orgánico depende de el desarrollo de la comunidad microbial dentro del estanque.

FILTROS DE ESCURRIMIENTO

En los sistemas de filtros de escurrimiento, el efluente primario es rociado sobre un lecho de roca molida u otro medio, cubierta con una membrana biológica. El mejor *componente del lecho de escurrimiento* es el medio filtrante, sistemas de drenaje bajo y distribuidor rotatorio. El medio filtrante provee una superficie para crecimiento biológico y un vacío para dejar pasar el líquido y el aire.

El medio preferido es de 3 a 5 pulg. de diámetro. El sistema de drenaje bajo transporta lejos el efluente y permite la circulación de aire a través de el lecho. El sistema de drenaje, con provisión hecha para limpieza, canaliza el efluente, y la tubería de el efluente son diseñados para permitir el libre paso de aire. Un distribuidor rotatorio provee una carga hidráulica uniforme sobre la superficie del filtro. El genero mas predominante es accionado por la reacción de el flujo de agua residual fuera de la boquilla de el distribuidor.

El estrato biológico consiste de microbios los cuales son aerobicos a una profundidad de solo 0.1 a 0.2 mm. La zona próxima al medio es anaerobica. Los microorganismos cerca de la superficie del lecho, donde la concentración de alimento es alta, están en la fase de crecimiento, mientras la zona baja de un lecho está en un estado de hambre. Como un agua residual pasa a través de la cama del filtro de escurrimiento, el crecimiento de microbios remueve una apreciable cantidad de los materiales orgánicos para usarlos como sustancia de alimento. Como las aguas residuales pasan sobre los microbios crecidos una apreciable cantidad de los materiales orgánicos es removida junto con el oxígeno molecular.

Los procesos aerobicos ocurren y la oxidación de orgánicos e inorgánicos y la terminación de productos son distribuidos en la membrana de agua en movimiento. El agua residual pasa a través del filtro, mientras los materiales orgánicos son retenidos por varias horas y sufren bio-oxidación.

CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS

Flujos de agua residual continuos en un contactor biológico rotatorio, el cuál consiste de múltiples discos de plástico montados sobre un eje horizontal, el eje en un ángulo recto para rotar el flujo de agua residual, con un 40% del área total del disco sumergida. La bioabsorción y bio-oxidación son similares a un filtro de escurrimiento. Un contactor biológico rotatorio multifase consiste de dos o mas fases conectadas en serie para lograr la deseable Demanda Bioquímica de Oxígeno. El reciclaje no es empleado y el crecimiento de microorganismos son trasladados de un contactor a un clarificador final. La actividad microbial es significativamente reducida cuando la temperatura del agua residual desciende, así en climas fríos el disco debe ser cubierto para protección , las ventajas de los contactores biológicos rotatorios son su baja energía requerida o su habilidad para manejar choques de cargas, y el alto grado de nitrificación proporcionado. El principal parámetro de diseño para discos rotatorios es el flujo de agua residual por área de disco la cual es la carga hidráulica en galones por día por pie cúbico.

SISTEMAS ANAEROBICOS.

Los microbios anaerobicos retienen oxígeno combinado mejor que oxígeno molecular en orden propio de función.

Los componentes orgánicos generalmente sufren una conversión anaerobica de acuerdo a la siguiente reacción



Los otros productos en procesos anaerobicos son dependientes del tipo de orgánicos y otros nutrientes presentes, la capacidad de la actividad biológica, y los elementos en combinación con la fuente de oxígeno.

Los sistemas anaerobicos requieren un limitado rango de pH que aprovecha los sistemas aerobicos, típicamente de 6 a 8, la producción eficiente de metano y cantidades menores de dióxido de carbono. La fuente de oxígeno las cuales son nitratos resultando nitrógeno, y sulfatos formando sulfuro de hidrógeno bajo procesos anaerobicos. Excepto para el tipo de fuente de oxígeno, los parámetros operacionales son similares para ambos procesos de sistemas aerobicos y anaerobicos.

Los bioreactores anaerobicos son recipientes agitados que operan con un metano y gas de bióxido de carbono. El influente que contiene una alta concentración de orgánicos, es un alimento dentro del bioreactor. El gas es retirado para combustión y recuperación de calor u otra utilización.

La digestión anaerobica es típicamente llevada de 90 a 95°F de 15 a 20 días.

La bioremediación (tratamiento biológico) será tratado con mayor profundidad en el siguiente capítulo, ya que es el tema principal de este trabajo.

SISTEMAS DE DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS

Confinamiento

Los sitios para confinamiento son esencialmente cortes elongados en una superficie de terreno donde tambores y contenedores de residuos son colocados para su disposición final. Estos sitios están preferencialmente situados donde hay poca agua superficial y subterránea, así como de baja precipitación. Es deseable también que el confinamiento está situado en áreas donde las capas subyacentes de terreno sean poco permeables, tales como terrenos arcillosos.

Muchos generadores de residuos deben de enviar sus residuos peligrosos a un confinamiento controlado. En México y en otros países existe normatividad altamente desarrollada ya que estos confinamientos son el destino final de muchos residuos peligrosos. El costo de manejo de residuos peligrosos utilizando el servicio de confinamientos es económicamente competitivo respecto a otras alternativas de manejo o de tratamiento.

El proceso de llenado del terreno del confinamiento debe de ser eficiente en el uso del espacio. Los residuos peligrosos son típicamente depositados en capas a lo largo de una unidad del sitio para luego ser compactadas para reducir su volumen. Las capas deben ser cubiertas con suelo todos los días para evitar posibles daños a la salud o al medio ambiente. Los tambores y otros contenedores son depositados de manera semejante.

Una preocupación fundamental sobre los confinamiento es que los materiales peligrosos retienen sus propiedades por largos periodos de tiempo, significando un riesgo potencial para el futuro en caso de desastres naturales u otros factores no previstos. Un confinamiento está limitado a aceptar ciertos residuos o materiales peligrosos, tales como: explosivos, biológico-infecciosos, radioactivos, PCB's y gases comprimidos.

Los requisitos que debe reunir el sitio destinado al confinamiento controlado de residuos peligrosos, son los siguientes:

Geohidrológicos

-Ubicarse preferentemente en una zona que no tenga conexión con acuíferos.

- De no cumplirse la condición anterior, el acuífero subyacente debe estar a una profundidad mínima de 200 metros.

- En caso de no cumplirse las condiciones anteriores, el acuífero subyacente debe ser un acuífero confinado y las características del material ubicado entre éste y la superficie, deben de ser tales que cualquier elemento contaminante quede retenido en él antes de llegar al acuífero.

El tiempo de flujo de la superficie al manto freático debe ser mayor de 300 años.

Hidrología superficial

- Debe estar alejado en desnivel 20 metros a partir del fondo del cauce de corrientes con un escurrimiento medio anual mayor de 100 metros cúbicos.
- Estar alejado longitudinalmente 500 metros a partir del centro del cauce de cualquier corriente superficial, ya sea permanente o intermitente, sin importar su magnitud. La cuenca de aportación hasta el sitio debe ser en lo posible, pequeña y cerrada.
- De no cumplirse la condición anterior, debe ubicarse dentro de la cuenca hidrológica aguas abajo de asentamientos humanos mayores de 10,000 habitantes y de zonas con una densidad industrial mayor de 50 industrias

Ecológicos

- Ubicarse fuera de las zonas que comprende el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas y de las zonas del patrimonio cultural.
- Ubicarse en áreas en donde no represente un peligro para las especies protegidas o en peligro de extinción, o en aquéllas en las que el impacto ambiental sea mínimo para los recursos naturales.

Climáticos

- Ubicarse en zonas en donde se evite que los vientos dominantes transporten las posibles emanaciones a los centros de población y sus asentamiento humanos.
- Evitar regiones con intensidad de precipitación media anual mayor de 2000 milímetros.
- La evaporación promedio mensual, debe ser al menor el doble de la lluvia promedio mensual.

Crecimiento de centros de población

- La distancia del límite del centro de población debe ser como mínimo de 25 kilómetros para poblaciones mayores de 10,000 habitantes con proyección al año 2010.
- La distancia del límite del centro de población debe ser como mínimo de 15 kilómetros para poblaciones entre 5,000 y 10,000 habitantes con proyección al año 2010.

Sísmicos

- Ubicarse preferentemente en zona asísmica.
- De no cumplirse la condición anterior, el riesgo sísmico debe ser mínimo por lo que no deben haberse registrado más de cuatro sismos de magnitud mayores de 7 grados en la escala de Richter en los últimos 100 años.

Topográficos

- La pendiente media del terreno natural del sitio de confinamiento no debe ser menor de 5%, ni mayor de 30%.

Acceso

El camino de acceso que une al sitio con las vías principales de comunicación debe ser transitable a no menos de 500 metros de vías de comunicación federal y estatal.

Confinamientos en cementerios industriales

Los cementerios industriales consisten en el entierro de desechos en celdas o zanjas. Los residuos peligrosos pueden estar a granel o en contenedores.

La experiencia internacional ha demostrado que con el tiempo los residuos peligrosos tienden a escapar del cementerio industrial, ya sea en forma líquida hacia el subsuelo, lo que se denomina "lixiviación", o en forma de gases que se volatilizan o se absorben en el subsuelo.

El objetivo de la tecnología de cementerios industriales es reducir las fugas y a la vez evitar que éstas entren en contacto con el ambiente.

Los líquidos en un cementerio provienen de la disposición de residuos peligrosos líquidos, escurrimiento de los lodos y de los semisólidos, infiltración de la precipitación pluvial a través de la cubierta, infiltración de las aguas freáticas.

Debe destacarse que los cementerios industriales o confinamientos controlados son una opción tecnológica que no resuelve de una manera definitiva el problema de la disposición final, aunque si logra concentrar residuos en un sitio y de alguna manera disminuye la dispersión de éstos en el ambiente.

Lagunas superficiales

Otra técnica que se utiliza para la disposición final de residuos peligrosos consiste en la acumulación de los residuos en depresiones abiertas, ya sean naturales o artificiales, con o sin recubrimiento.

Esta técnica frecuentemente utilizada en México por PEMEX para depositar residuos peligrosos, presenta serios riesgos ambientales por infiltración al subsuelo, evaporación de líquidos volátiles, derrames, fugas por los diques, etc.

Aunque existe poca información sobre el impacto ambiental de esta técnica, se reconoce que es la menos adecuada y recomendable.

Inyección en pozos profundos

Una tecnología que ha sido utilizada para la disposición final de residuos peligrosos líquidos, consiste en la inyección de estas sustancias en pozos hacia estratos sedimentarios porosos en los que en sus profundidades se acumulan los desechos.

Esta técnica requiere ya sea de la perforación de un pozo o bien, de la utilización de uno ya existente. Como pozos de petróleo que han sido ya explotados, salinas, etc. Cuyo fondo esté en una formación geológica apropiada. A ésta se le llama zona de inyección, donde se procederá al bombeo de líquidos a una presión suficiente para desplazar los líquidos existentes en el pozo.

Actualmente se cuenta con la tecnología y experiencia para operar plantas de inyección y perforar los pozos, aunque los costos de evaluación del impacto ambiental de estas tecnologías y sus costos de operación son muy elevados.

Disposición en minas abandonadas

Para ciertos residuos peligrosos, que no permiten su disposición en cementerios industriales y para los cuales los tratamientos de destoxificación resultan muy costosos se han permitido su entierro en minas no activas, como las minas de sal y de hulla, ya que presentan características especiales de aislamiento. Las de sal son impermeables a líquidos y gases, su naturaleza higroscópica les permite absorber grandes cantidades de agua; las cavernas de las minas de sal son muy secas y no favorecen la corrosión de los recipientes metálicos. En las minas de hulla no existe el riesgo de explosión de gas metano. Sin embargo, para el uso de esta técnica debe asegurarse el cierre permanente de la mina.

Tiraderos en el mar

Durante muchos años, para la disposición final de residuos peligrosos, una práctica común ha sido el tirar barriles u otro tipo de recipientes en el océano. Existen convenciones y leyes propias de cada país que regulan los tipos de residuos peligrosos que pueden ser desechados e inclusive listas de residuos; sin embargo, no existen los estudios suficientes sobre los efectos a largo plazo de la exposición a bajos niveles de sustancias tóxicas sobre organismos marinos.

Depósitos de seguridad

Debido a que el estado actual de la tecnología no permite la eliminación completa de muchos de los residuos peligrosos, la utilización de depósitos de seguridad cumple la función de aislar estos productos durante periodos amplios, adecuados a las características y peligrosidad de los materiales contenidos en él.

El depósito de seguridad es en realidad, un vertedero emplazado sobre terrenos geológicos del suelo y/o subsuelo, controlado sanitariamente, de manera que los residuos en él depositados no puedan ser origen de daños a la salud pública ni al medio.

Los residuos susceptibles de ser gestionados utilizando este sistema son:

- Fangos y sólidos inorgánicos de carácter ácido y básico.
- Fangos y sólidos con metales.
- Carbonatos y bicarbonatos.
- Sólidos y lodos orgánicos no halogenados.

Evidentemente, el emplazamiento de un depósito de seguridad debe tener una características especiales, las que deben tenerse en cuenta son las geológicas, hidrológicas, topográficas y climáticas.

La característica geológica mas importante es la estabilidad y la estanqueidad del terreno donde debe ubicarse el depósito. En este sentido son recomendables emplazamientos con un espesor mínimo de unos 10 metros de materiales con una alta impermeabilidad lateral y vertical. Este hecho, dadas las irregularidades de los materiales geológicos, suele subsanarse utilizando una envoltura sintética impermeabilizante, que complementará las capacidades de aislamiento.

Por otro lado, deben tenerse en cuenta la hidrología del emplazamiento, tanto de aguas superficiales, como de posibles corrientes subterráneas. También es importante que la ubicación tenga lugar en terrenos llanos o con pendientes suaves.

En cuanto a las características climatológicas deberán conocerse la pluviometría, las temperaturas, vientos y potencial de evapotranspiración del terreno escogido. Respecto a la lluvia es aconsejable que esta no pase de los 650 mm/año, en cuanto a índice de humedad es preferible que sea menor a 0.7.

Confinamientos controlados autorizados de residuos sólidos industriales.

| Empresa | Ubicación | Actividad extra | Tipo de servicio |
|---|--|--|------------------|
| | No peligrosos | | |
| Fraccionadora Industrial del Norte, Finsa, Matamoros | Matamoros, Tamaulipas | | Público |
| | Peligrosos | | |
| Residuos Industriales Multiquim, S. A. de C. V. | Garza García, Nuevo León. | Recolección, transporte, reciclado, elaboración de combustible alterno | Público |
| Confinamiento técnico de Residuos Industriales S. A. de C. V. (Coterín) | Municipio de Guadalcázar, San Luis Potosí. | | Público |
| Confinamiento fraccionamiento Las Víboras | Hermosillo, Sonora | | Público |
| Ciba-Geigy Mexicana, S. A. de C. V. | Carretera Guadalajara-Ocotlán, Jalisco | Confinamiento de las cenizas de su incinerador. | Privado |
| Kimberly Clark de México S. A. de C. V. | Carretera Cuatitlán de Romero Rubio, Estado de México. | | Privado |
| Procesadora Mexicali, S. A. de C. V. | San Luis, Río Colorado; Mexicali, Baja California. | | Privado |
| Industrias Químicas de México. | Tlaquepaque, Jalisco | | Privado |

Fuente: Dirección de Normatividad Ambiental Instituto Nacional de Ecología. Sedesol, 1993.

Plantas de tratamiento de residuos industriales peligrosos.

| Cantidad | Tipo de instalación | Empresa | Lugar |
|-----------------|---------------------------------|---|--|
| 7 | Recicladora de solventes sucios | -Chemical Waste Management. -Reind Química, S. A. de C. V. - Química Omega, S. A. de C. V. (Mega Tank) -Química Fortek -Solventes San Martín -Recuperación Industrial de Residuos -Química Wimer, S. A. de C. V. | Carretera Tijuana-Ensenada, Baja California. Estado de México Tenango del Valle, Estado de México. Chihuahua, Chihuahua La Laguna, Amozoc Hermosillo, Sonora. Chalco, Estado de México. |
| 6 | Recicladora de metales | -Acumuladores Mexicanos S. A. de C. V. (plomo) -Huersa, S. A. de C. V. (plomo) -Metrometal, S. A. de C. V. (plomo) -Zinc Nacional, S. A. (zinc) -Maquiladora Russmet (aluminio) -Aluminio Zinc Industrial (aluminio) | Monterrey, Nuevo León. Ascención, Chihuahua. Reynosa, Tamaulipas. Monterrey, Nuevo León. Tijuana, Baja California. Tlanepantla, Estado de México. |
| 4 | Recuperadora de aceite | - Productos Texaco, S. A. de C. V. -Juan R. Santos Nieto. -Novaceites, S. A. de C. V. -Ecología y Lubricantes, S. A. de C. V. | Querétaro, Querétaro. Nicolás Romero, Estado de México. Monterrey, Nuevo León. Atizapán de Zaragoza, Estado de México. |

Fuente: Dirección de Normatividad Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, Sedesol, 1993.

Almacenes temporales de residuos peligrosos.

| Empresa | Ubicación | Actividad |
|------------------------------|------------------------------------|---|
| Olimpia Industrial | Ciudad Juárez, Chihuahua | Recolección y almacenamiento. |
| Chemical Waste Management | Carretera Guadalajara-El Castillo. | Transferencia de residuos peligrosos y compactación de tambores vacíos. |
| Química Omega S. A. de C. V. | Zapopan Jalisco | Recolección, transporte y almacenamiento temporal. |

Fuente: Dirección de Normatividad Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, Sedesol, 1993.

Equipos móviles para el tratamiento de residuos peligrosos en el lugar

| Empresa | Actividad |
|--------------------------------------|---|
| Grupo Ecológico Musa, S. A. de C. V. | Recuperación, procesamiento, limpieza de residuos y subproductos de petróleo. |

Fuente: Dirección de Normatividad Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, Sedesol.

CAPÍTULO IV
PROPIEDADES
CARACTERÍSTICAS Y
TIPOS DE SUELOS

INTRODUCCIÓN

Algunas de las propiedades del suelo constituyen caracteres distintivos y se pueden usar como criterios importantes de diferenciación mientras que otros parecen ser de poca significación pedológica. A continuación se hace una exposición general de las propiedades de importancia pedológica que se usan para establecer categorías de suelos.

Antes de aplicar cualquier método de bioremediación a un suelo contaminado debemos conocer las características, constituyentes y propiedades de los suelos, para poder determinar hasta que horizonte ha llegado la contaminación y así emplear la técnica de bioremediación adecuada.

No sólo las propiedades de los suelos influyen en la técnica de bioremediación a seleccionarse sino también los factores ambientales.

Finalmente se hace un breve resumen sobre las clases de suelos que existen en el mundo mencionando propiedades y características de cada horizonte.

Antes de empezar este capítulo es necesario mencionar que a las capas individuales del suelo se les llama horizontes y al grupo de capas se les llama perfil del suelo.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

ÁREA SUPERFICIAL

En los materiales maternos, el área superficial específica de sus partículas constituyentes determina el grado de interacción que es posible con el ambiente, en particular con el agua. Las rocas consolidadas tienen un área superficial en extremo pequeña en relación con aquella de las arenas aluviales, que a su vez tienen un área superficial menor que las arcillas lacustres, de tal manera que el área superficial aumenta a medida que disminuye el tamaño de las partículas.

PERMEABILIDAD

La permeabilidad de los materiales maternos influye en la tasa de movimiento de la humedad, la que a su vez incide en la velocidad de formación del suelo. Los materiales más permeables, y por tanto, aquellos que permiten el movimiento libre de la humedad, de ordinario tienen un contenido elevado de arena, pero a medida que se reduce el tamaño de las partículas, la tendencia general es que el material se vuelva más impermeable, de tal manera que las arcillas sólo permiten una tasa muy baja de movimiento de humedad. Eso puede ocasionar que el agua se acumule en la superficie o cuerpo del suelo; sin embargo, algunos materiales arenosos pueden resultar bastante impermeables al compactarse. La permeabilidad de las rocas varía con su estructura. Los que tienen juntas bien desarrolladas son muy permeables, mientras que otros que no presentan rajaduras o fisuras son relativamente impermeables.

pH

El pH por lo general se considera como una propiedad muy importante del suelo ya que tiende a estar correlacionado con otras propiedades, tales como el grado de saturación de bases. Además, muchos suelos, presentan patrones verticales característicos en sus valores de pH.

Normalmente, la reacción del suelo tiene un rango entre pH 3 a 9, pero en ocasiones se registran valores fuera de esos límites. Los valores muy bajos se encuentran en suelos de pantanos drenados y aquellos que contienen pirita o azufre elemental. En el otro extremo, los valores muy elevados resultan de la presencia de carbonato de sodio. Dentro del rango normal, los dos factores principales que lo controlan son la materia orgánica y el tipo y cantidad de cationes. Las cantidades grandes de materia orgánica inducen acidez, excepto cuando está contrabalanceada por una concentración elevada de cationes básicos.

La acidez del suelo se debe principalmente a los iones de hidrógeno y aluminio. El aluminio es liberado por hidrólisis de los minerales primarios o se pone en solución de los sitios de intercambio.

El pH tiende a estar correlacionado con la precipitación. A medida que ésta aumenta, el pH baja como resultado del agotamiento de cationes básicos.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES Y PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES

La única propiedad de intercambio que parece tener importancia para ser usada como criterio de diferenciación en la categorización de suelos es la capacidad de intercambio de cationes (CIC) del suelo completo. Esa propiedad es una medida de la capacidad de intercambio o cargas negativas de las arcillas constituyentes, el alófono y el humus expresadas como miligramos equivalentes por Kg^{-1} de suelo.

Las cargas negativas son de dos tipos: permanentes y dependientes del pH. Las cargas permanentes ocurren en arcillas silicosas y resultan del reemplazo isomórfico dentro de la estructura de la arcilla. Las cargas dependientes del pH están directamente relacionadas con la variación del pH del suelo. Con valores bajos de pH, la carga y por lo tanto la CIC es baja, pero aumenta al elevarse el pH.

Tanto los materiales minerales como los orgánicos tienen cargas dependientes del pH. En el material mineral, se piensa que la carga se debe a grupos de SiOH y AlOH situados en los lados y superficies rotas de las arcillas, mientras que en la materia orgánica hay grupos carboxílicos (COOH) y fenólicos ($-\text{OH}$). Todos estos grupos contienen iones de Hidrógeno con ligadura covalente que puede ser disociada en valores altos de pH, dando una carga negativa en el sitio de intercambio.

En suelos ácidos el aluminio y el hierro fuertemente adsorbidos en algunas arcillas bloquean algunos de los sitios con cargas negativas, reduciendo así la CIC. Con un aumento del pH, el aluminio y el hierro son removidos y vuelven disponibles a los sitios. Las arcillas de silicatos tienen cargas permanentes elevadas, mientras que las del humus y alófono dependen principalmente del pH. Por tanto, los valores determinados de la CIC dependen en su mayor parte del pH.

En muchas tierras tropicales, el valor de CIC del suelo entero es muy bajo debido a la presencia de cantidades grandes de caolinita y/o gibbsita. En esos casos se usa la CIC de la fracción de arcilla.

Otra propiedad de cierta importancia es el porcentaje de saturación de bases (SB), que es una medida del grado en que el complejo de intercambio está saturado con cationes básicos.

La tendencia general es que la cantidad de bases intercambiables aumente con la disminución de la precipitación y de que el calcio sea dominante, pero la naturaleza del material madre puede tener alguna influencia local.

A medida que aumenta el contenido de cationes, hay también una tendencia a que el sodio tenga una importancia creciente y aun puede ser dominante en muchos suelos de zonas áridas y semiáridas. Viceversa, los porcentajes bajos de saturación de bases se usan como criterio de lixiviación intensa.

DENSIDAD

La densidad verdadera de un suelo es una medida de la densidad de los componentes individuales que lo forman y varía de alrededor de 900 kg/m^3 para la materia orgánica a unos 2650 kg/m^3 para el compuesto de todas las partículas minerales. Por otra parte la densidad del suelo no disturbado es:

$$\frac{\text{peso de un bloque de suelo seco}}{\text{Volumen del bloque al muestrearlo}} = \frac{g}{\text{cm}^3} = d$$

en donde se toman en cuenta la densidad de los materiales mismos del suelo y su disposición o estructura. Por tanto, un suelo suelto poroso tendrá una densidad aparente menor que un suelo compacto, aunque la densidad absoluta de las partículas individuales de los dos suelos podría ser la misma.

Esta propiedad también tiene importancia en estudios de fertilidad debido a las labores continuas con implementos pesados inducen compactación, reduciéndose la infiltración y la penetración de las raíces.

CONTENIDO DE HUMEDAD

Los nombres tradicionales aplicados a las clases de diferencias en humedad del suelo incluyen la palabra "drenaje", la cual implica la tasa de movimiento del agua a través del sistema. A continuación se enlistan los nombres tradicionales.

Excesivamente drenados (excesivamente aeróbicos)

Por lo general, el horizonte es demasiado seco para sostener un crecimiento adecuado de plantas.

Bien drenados (aeróbicos)

El horizonte de ordinario está húmedo o seco, con un periodo húmedo suficiente para sostener el crecimiento de las plantas.

Imperfectamente drenados (débilmente anaeróbicos)

El horizonte es anaeróbico durante periodos cortos y está húmedo en periodos largos.

Mal drenados (fuertemente anaeróbicos)

El horizonte es anaeróbico durante periodos largos y por lo demás está mojado.

Muy mal drenados (continuamente anaeróbicos)

El horizonte está saturado de agua durante todo el año.

Suelos inundados

Son suelos que se inundan anualmente y a la inundación sigue un periodo seco.

SALES SOLUBLES

Las sales solubles sólo se encuentran en proporciones significativas en suelos de zonas áridas y semiáridas en las cuales se acumulan debido a que la precipitación anual es insuficiente para lixiviar los suelos o debido a que las aguas freáticas están a poca profundidad y se jala humedad a la superficie, llevando con ella sales disueltas que se quedan en esos sitios al evaporarse la humedad. La inundación con agua de mar también causa salinidad en el suelo, pero eso es de menor importancia. Los aniones predominantes son bicarbonato, carbonato, sulfato y cloruro y entre los cationes se encuentran sodio, calcio, magnesio y cantidades pequeñas de potasio. Esos iones ocurren en proporciones muy variables y según la proporción específica imparten al suelo diversas propiedades, algunas de las cuales son perjudiciales para el crecimiento de las plantas.

CARBONATOS

Los carbonatos de calcio y de magnesio, en especial el primero, están ampliamente distribuidos en los suelos, ocurriendo separadamente o asociados con sales solubles. Las propiedades más importantes de los carbonatos son: 1) Se disuelven con relativa facilidad en agua que tiene en solución bióxido de carbono y por tanto se pierden o son distribuidos en el suelo con rapidez. 2) Cuando están presentes en cantidades tan pequeñas como de 1% del suelo, pueden dominar el curso del desarrollo del mismo debido a que esa cantidad es suficiente para elevar el pH por encima de la neutralidad y sostener un alto nivel de actividad biológica. 3) Los carbonatos, en especial el de calcio, son las primeras sustancias que se empiezan a acumular a medida que el clima se vuelve árido. 4) Tanto el calcio como el magnesio son nutrientes esenciales de las plantas. 5) A muchos suelos arables se les añade con regularidad carbonatos para elevar el pH a valores adecuados para el desarrollo óptimo de las plantas.

COMPOSICIÓN ELEMENTAL

Se estiman alrededor de diez elementos dominantes tanto en cada horizonte como en el material materno, esos elementos incluyen silicio, aluminio, hierro, potasio, calcio, sodio, magnesio, manganeso, titanio, zirconio, nitrógeno y fósforo.

SEGREGACIONES Y CONCRECIONES

Las segregaciones y concreciones son concentraciones locales en el suelo de una o más sustancias. En muestras de mano, las segregaciones son suaves y las concreciones de macizas a duras, pero esa diferencia no se puede determinar en secciones delgadas.

MICROORGANISMOS

Este grupo de organismos incluye a un gran número de bacterias, hongos, algas y protozoos, todos los cuales intervienen en numerosísimos y mal comprendidos procesos del suelo.

Los organismos predominantes son las bacterias y los hongos. Las bacterias son los organismos más pequeños y numerosos de los microorganismos que viven libres en el suelo y que en los 15 cm superiores del mismo alcanzan un peso que varía entre 1000 a 6000 Kg/ha.

La distribución de los microorganismos en el suelo está determinada en gran parte por la presencia de alimento. En ausencia de alimento, los organismos entran en un estado de reposo, hasta que les llega una nueva provisión.

La mayoría de ellos necesitan una temperatura óptima en el rango de 25 a 30°C, pero como con rareza la temperatura del suelo la alcanza, la mayoría de las especies operan por abajo de su óptimo.

Las bacterias y los actinomicetos prosperan en el suelo con un pH 7 o un poco mayor, pero en suelos ácidos no son tan frecuentes como los hongos, mientras que en suelos alcalinos algunos actinomicetos encuentran condiciones favorables para su crecimiento.

POSICIÓN

De acuerdo con la posición que ocupan en la unidad pedológica, los horizontes pueden agruparse en superior, medio e inferior. Los del horizonte superior se encuentran en o cerca de la superficie y están fuertemente influenciados por la actividad biológica. Por lo general, contienen la mayor cantidad de materia orgánica y en un ambiente húmedo pasa a través de ellos la mayor cantidad de agua. En consecuencia, pierden cantidades significativas de material, ya sea en solución o en suspensión. La porción media comprende a los horizontes en que hay menos influencia de los procesos biológicos. Por otra parte, reciben y a veces retienen partes del material deslavado de arriba. En donde el horizonte superior es muy grueso, se puede considerar que se extiende hasta la posición media.

ESPESOR

En una unidad pedológica dada, los horizontes que la constituyen con rareza tienen una profundidad uniforme. A veces no varían más de 1 a 2 cm en su espesor medio, pero otros son en extremo variables.

LIMITES

Un cambio en color es la propiedad principal y de observación más fácil que se usa para delimitar los horizontes, pero en muchos casos se utilizan otras propiedades, como la estructura y la textura.

Clases de demarcación de linderos

| | |
|---------|---------------------------------------|
| Abrupto | el cambio se efectúa en 2 cm |
| Neto | el cambio se efectúa entre 2 a 5 cm |
| Claro | el cambio se efectúa entre 5 a 10 cm |
| Gradual | el cambio se efectúa entre 10 a 20 cm |
| Difuso | el cambio se efectúa en > 20 cm |

La línea de demarcación de los horizontes varía considerablemente de un suelo a otro.

CONSISTENCIA - PROPIEDADES PARA EL MANEJO

La consistencia del suelo o propiedades para su manejo se refieren al tipo y grado de cohesión y adhesión existente entre las partículas del mismo; esto es, la resistencia del suelo a la deformación o ruptura o a la fuerza y naturaleza de las fuerzas de cohesión y adhesión. La consistencia por lo general se determina apretando el suelo entre los dos primeros dedos y el índice, sintiendo y observando los cambios que se registran.

Entre los términos usados para describir la consistencia se encuentran los siguientes:

| | |
|-----------|-------------|
| Compacta | Pegajosa |
| Dura | Plástica |
| Esponjosa | Quebradiza |
| Fluida | Suave |
| Friable | Suelta |
| Jabonosa | Tenaz |
| Maciza | Tixotrópica |

COMPOSICIÓN MINERAL

Inicialmente, las partículas del suelo se dividen en dos tamaños. De manera normal el límite se establece a 2 mm, el cual separa a la "tierra fina" de los "separados mayores".

Separados mayores > 2 mm

Incluyen en su mayor parte fragmentos de rocas y concreciones.

Un fragmento de roca es una unidad de cualquier tamaño que contiene dos o más minerales individuales con la misma disposición que en una masa de roca. Los fragmentos de roca por lo general son mayores de 2 mm pero algunas rocas como las pizarras y las piedras de lodo pueden romperse en fragmentos más pequeños.

Una clasificación arbitraria de los tamaños de fragmentos de rocas es la siguiente:

| | |
|------------------|-------------|
| Cantos | > 10 cm |
| Piedras grandes | 5 - 10 cm |
| Piedras pequeñas | 1 - 5 cm |
| Grava | 2 mm - 1 cm |

Tierra fina < 2 mm

El material < 2 mm se subdivide en varias clases por fracciones de tamaño cuyo número preciso depende de la naturaleza de la investigación. La porción relativa de las fracciones de cada tamaño varía grandemente de un suelo a otro, pero el USDA (Departamento de Agricultura de los E.U.A.) reconoce la 21 clases que se enumeran en seguida:

| | |
|--------------|------------------------|
| Arenas | Migajones arenosos |
| Arena gruesa | Migajón arenoso grueso |
| Arena | Migajón arenoso |
| Arena fina | Migajón arenoso fino |

| | |
|----------------------------|-----------------------------|
| Arena muy fina | Migajón arenoso muy fino |
| Arenas Migajonosas | Migajones |
| Arena Migajonosas gruesa | Migajón limoso |
| Arena Migajonosas | Limo |
| Arena Migajonosas fina | Migajón arcilloso - arenoso |
| Arena Migajonosas muy fina | Migajón arcilloso |
| | Migajón arcilloso - limoso |
| | Arcilla arenosa |
| | Arcilla limosa |
| | Arcilla |

Arena 2 - 0.05 mm

Limo 0.05 - 0.002 mm

Arcilla 0.002

COLOR

Comúnmente, el color del suelo es determinado por la cantidad y estado del hierro y/o de la materia orgánica. El color rojo de muchos suelos desarrollados en condiciones fuertemente aeróbicas es producido por la hematita (Fe_2O_3). En suelos aeróbicos la mayor parte de la coloración inorgánica es producida por la goethita ($FeO-OH$), que tiene un color que va del pardo rojizo al amarillo a medida que aumenta su hidratación. Las formas altamente hidratadas amarillas y pardo-amarillentas son a veces conocidas como limonitas.

En suelos en condiciones parcial o completamente anaeróbicas se presentan muchos colores gris, olivo y azul, que se originan por la presencia de hierro en el estado reducido o ferroso.

Por lo común, el color de los horizontes superiores cambia de pardo a pardo oscuro y a negro a medida que aumenta el contenido de materia orgánica y ésta tiende a tomar un color más oscuro al aumentar la humificación. También el pH y el contenido de cationes puede ejercer influencia, ya que los horizontes ácidos pobres en calcio y materia orgánica a menudo son de color claro, mientras que en presencia de grandes cantidades de calcio o de sodio, se forman más colores oscuros, aún con cantidades pequeñas de materia orgánica. Los colores oscuros son producidos también por la presencia de bióxido de manganeso o la de carbón elemental después de la quema.

Los colores gris claro y blanco se originan por la falta de alteración de materiales maternos de color gris o blanco, depósitos de carbonato de calcio, eflorescencia de sales o como resultado de la remoción de hierro, dejando cantidades significativas de minerales de colores claros.

ESTRUCTURA Y POROSIDAD

El grado y tipo de agregación determinan la aereación y la permeabilidad y, por tanto, la capacidad de infiltración y de movimiento del agua. A menudo determinan el volumen de los poros y del espacio poroso y en consecuencia el volumen de la atmósfera del suelo.

Los poros son la parte del suelo ocupada por agua o por la atmósfera del mismo. Los poros pueden ser discretos o formar una fase continua en que puede efectuarse movimiento. En algunos casos se puede considerar que la formación de los poros es la primera etapa de la formación de los peds.

En otros casos los poros son discretos, con forma esférica u ovalada, formados por las burbujas de gases liberados de la solución de suelo con el secamiento o la congelación.

Considerando ahora la distribución de la estructura dentro del suelo, los horizontes superficiales de ordinario tienen una estructura grumosa o granular, con peds de hasta 3 mm de diámetro. Eso normalmente cambia a estructura de bloque o prismática en el horizonte medio en donde los peds pueden variar desde 1 a 10 cm de diámetro y hasta 30 cm de altura y finalmente cambia a una estructura masiva o coherente en la posición inferior.

TAPONES DE ARCILLA

En cierto número de casos los poros se han llenado por completo de arcilla, la cual forma los llamados tapones de arcilla.

TIPOS DE SUELOS

CAMBISOLS

Derivación del nombre: de la palabra latina *cambiare*, cambio; indicando los cambios en color, estructura y consistencia que resultan de la intemperización in situ.

| Profundidad (cm) | Color | Morfología de la sección delgada | Textura | Arena (%) | Arcilla (%) | pH |
|------------------|-----------------------|--|-----------------|-----------|-------------|-----|
| 0 20 | Pardo grisáceo oscuro | Migajón, granos de arena abundantes, matriz isotrópica, fragmentos de plantas ocasionales. | Migajón | 40 | 25 | 5.5 |
| 50 | Pardo oscuro | Bloques subangulares, granos de arena abundante, matriz isotrópica | Migajón | 40 | 25 | 6.0 |
| 80 | Pardo | Bloques subangulares, granos de arena abundante, matriz isotrópica | Migajón | 50 | 18 | 6.3 |
| 120 | Pardo amarillento | | Migajón arenoso | 60 | 15 | 6.5 |

CHERNOZEMS

Derivación del nombre: de las palabras rusas: *chern* = negro y *Zmeja* = tierra; connotativo de suelos de color negro ricos en materia orgánica.

| Profundidad (cm) | Color | Morfología de la sección delgada | Textura | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | pH |
|------------------|--|---|----------------|-----------|----------|-------------|-----|
| 0 50 | Pardo grisáceo muy oscuro | Vermicular, granos de limo abundantes, matriz isotrópica, fragmentos de plantas frecuentes. | Migajón limoso | 10 | 65 | 25 | 6.5 |
| 100 | Pardo oscuro con crotovinas más claras | Vermicular, granos de limo abundantes, matriz isotrópica, fragmentos de plantas frecuentes. | Migajón limoso | 10 | 65 | 25 | 7.5 |
| 150 | Pardo amarillento con crotovinas más oscuras | Bloques subangulares, cristales pequeños de calcita frecuentes. | Migajón limoso | 10 | 65 | 25 | 8.5 |

FERRALSOLS

Derivación del nombre: de la palabra latina *ferrum* = hierro y aluminio; connotativa de un elevado contenido de sesquióxidos.

| Profundidad (cm) | Color | Morfología de la sección delgada | Textura | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | pH |
|------------------|--|---|-------------------------|-----------|----------|-------------|-----|
| 0 5 | Rojo oscuro | Granular, granos de arena abundantes, matriz isotrópica, fragmentos de plantas ocasionales. | Arcilla arenosa | 60 | 4 | 35 | 4.3 |
| 200 | Rojo | Bloques subangulares y granular, granos de arena abundantes. | Arcilla | 40 | 5 | 55 | 4.1 |
| 250 | Moteado de rojo y rojo amarillento claro | Bloques subangulares y granular, granos de arena abundantes. | Arcilla arenosa | 50 | 6 | 45 | 4.3 |
| 450 | Moteado de rojo y rojo amarillento claro | Estructura de la roca parcialmente conservada, granos de arena muy abundantes. | Arcilla arenosa | 55 | 10 | 35 | 4.5 |
| 500 | Moteado de rojo y rojo amarillento claro | Estructura de la roca parcialmente conservada, granos de arena muy abundantes. | Migajón arcilla arenosa | 60 | 20 | 20 | 4.8 |
| 600 | rojo amarillento | Estructura de la roca conservada | Migajón arenoso | 70 | 20 | 10 | 5.0 |
| 680 | | láminas de cuarzo y biotita. | | | | | |

LUVISOLS

Derivación del nombre: de la palabra latina *luo* = lavar; connotativa de la acumulación iluvial de arcilla.

| Profundidad (cm) | Color | Morfología de la sección delgada | Textura | Arena (%) | limo (%) | Arcilla (%) | pH |
|------------------|-------------------|--|------------------------|-----------|----------|-------------|-----|
| 0 12 | Gris oscuro | Materia orgánica granular y granos de limo | Migajón limoso | 2 | 83 | 15 | 5.2 |
| 32 | Gris | Matriz isotrópica fina | Migajón limoso | 2 | 83 | 15 | 5.0 |
| 80 | Pardo | Bloques subangulares, revestimientos de arcillas frecuentes. | Migajón arcillo-limoso | 3 | 67 | 30 | 4.9 |
| 120 | Pardo amarillento | revestimientos de arcilla raros. | Migajón limoso | 4 | 76 | 20 | 5.2 |

FEOZEMS

Derivación del nombre: del griego *phaios* = negruzco y de la palabra rusa *zemljc* = tierra.

| Profundidad (cm) | Color | Morfología de la sección delgada | Textura | Arena (%) | limo (%) | Arcilla (%) | pH |
|------------------|-------------------|---|------------------------|-----------|----------|-------------|------------|
| 0 45 | Gris muy oscuro | Granular, con abundante materia fecal de gusanos. | Migajón arcillo-limoso | 10 | 60 | 30 | 7.3 6.8 |
| 70 | Pardo oscuro | Bloques subangulares, revestimientos de arcillas ocasionales. | Arcilla limosa | 8 | 52 | 40 | 5.7 |
| 90 | Pardo amarillento | Bloques subangulares, revestimientos de arcillas ocasionales. | Migajón arcillo-limoso | 10 | 55 | 35 | 6.2 |
| 120 | Pardo amarillento | revestimientos de arcilla raros. | Migajón arcillo-limoso | 10 | 60 | 30 | 7.9 |

PODZOLS

Derivación del nombre: de las palabras rusas *pod* = debajo y *zola* = ceniza; connotativo de suelos con horizonte fuertemente lixiviado.

| Profundidad (cm) | Color | Morfología de la sección delgada | Textura | Arena (%) | Arcilla (%) | pH |
|------------------|------------------|---|------------------|-----------|-------------|-----|
| 0 | Pardo muy oscuro | Fragmentos de plantas, gránulos fecales, raíces vivas | | | | 3.5 |
| 10 | | | | | | |
| 15 | Negro | Materia orgánica granular | | | 5 | 3.5 |
| 25 | Gris oscuro | Materia orgánica granular y granos de arena | Arena migajonosa | 80 | 5 | 3.5 |
| 35 | Gris | Abundancia de arena gruesa y fina, revestimiento de limo y arcilla en la parte inferior de algunos poros. | Arena migajonosa | 80 | 5 | 4.5 |
| 60 | Pardo muy oscuro | Material isotrópico de color pardo oscuro. | Arena migajonosa | 75 | 10 | 5.0 |
| 100 | Pardo oscuro | Material isotrópico de color pardo amarillento. | Arena migajonosa | 77 | 8 | 5.5 |
| 120 | Pardo | Los fragmentos de roca y los granos de mineral están primitivamente estratificados | Arena migajonosa | 80 | 5 | 6.0 |

POTZOLS PLÁDICOS

Derivación del nombre: de la palabra griega *plax* = placa; connotativa de la presencia de una capa de hierro endurecida.

| Profundidad (cm) | Color | Morfología de la sección delgada | Textura | Arena (%) | limo (%) | Arcilla (%) | pH |
|------------------|-----------------------------|--|-----------------|-----------|----------|-------------|-----|
| 0 | Negro | Fragmentos de plantas y agregados ovoides de materia orgánica | | | | | 3.5 |
| 20 | | | | | | | |
| 25 | Gris muy oscuro | Arena dominante; fragmentos de raíces ocasionales | Migajón arenoso | 60 | 25 | 15 | 4.0 |
| 50 | Gris olivo con motas ocreas | Arena dominante; revestimientos de arcilla raros. | Migajón arenoso | 60 | 25 | 15 | 4.5 |
| 120 | Pardo rojizo | revestimientos de limo en las caras superiores de las piedras. | Migajón arenoso | 65 | 25 | 10 | 5.0 |

SOLONCHAKS

Derivación del nombre: de la palabra rusa *sol* = sal; connotativa de suelos que tienen un contenido elevado de sales.

| Profundidad (cm) | Color | Morfología de la sección delgada | Textura | Sales totales (%) | pH |
|------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------|-------------------|-----|
| 0 20 | Gris muy oscuro | — | Migajón de arcilla | 1.0 | 8.3 |
| 50 | Gris oscuro | — | Migajón de arcilla | 0.8 | 8.5 |
| 120 | Gris olivo | — | Migajón de arcilla | 0.7 | 8.4 |

SOLONETZ

Derivación del nombre: de la palabra rusa *sol* = sal; connotativa de suelos que contienen sal.

| Profundidad (cm) | Color | Morfología de la sección delgada | Textura | Arena (%) | limo (%) | Arcilla (%) | CaCO ₃ (%) | pH |
|------------------|-------------------|---|-------------------|-----------|----------|-------------|-----------------------|-----|
| 0 15 | Pardo | Abundancia de granos de limo; matriz isotrópica | Migajón limoso | 30 | 50 | 20 | | 6.8 |
| 20 | Pardo claro | Abundancia de granos de limo . | Migajón limoso | 35 | 50 | 15 | | 7.1 |
| 42 | Pardo | Abundancia de granos de limo . | Migajón arcilloso | 25 | 40 | 35 | | 8.1 |
| 50 | Pardo claro | Cristales de calcita frecuentes. | Migajón arcilloso | 25 | 45 | 30 | 10 | 8.3 |
| 90 | Pardo amarillento | Masiva, con racimos de cristales de yeso. | Migajón arcilloso | 25 | 45 | 30 | 7 | 8.5 |
| 120 | Pardo amarillento | Masiva, con racimos de cristales de yeso. | Migajón arcilloso | 25 | 45 | 30 | 5 | 8.5 |

El método comúnmente usado para la disposición de suelos contaminados por hidrocarburos es el confinamiento por el cuál se deben pagar decenas de dólares por tonelada de suelo contaminado, mientras que en Estados Unidos el costo es de cientos de dólares, podríamos exportar nuestros residuos peligrosos a un país con una legislación menos severa pero el otorgamiento de autorizaciones para la exportación de materiales o residuos peligrosos quedará sujeto a que exista consentimiento expreso del país receptor, además de contemplar el costo por transporte, permisos, reparación de los daños que pudieran causarse tanto en territorio nacional como en el extranjero, etc.

Se deberá buscar un método para tratar los suelos contaminados por hidrocarburos, ya que una preocupación fundamental sobre los confinamientos es que los materiales peligrosos retienen sus propiedades por largos periodos de tiempo, significando un riesgo potencial para el futuro en caso de desastres naturales u otros factores no previstos.

El tratamiento biológico puede ser un camino eficiente, para remover sustancias peligrosas de suelos contaminados.

Muchos residuos peligrosos pueden ser tratados biológicamente, a menos que las concentraciones de materiales tóxicos sean letales para los microorganismos.

La biotecnología utiliza microorganismos desarrollados selectivamente para degradar tóxicos específicos, en el caso de suelos contaminados por hidrocarburos se utilizan microbios heterotrópicos los cuales se nutren de compuestos orgánicos, pero antes debemos analizar el tipo de suelo al cuál se le aplicará la bioremediación para saber que tipo de tratamiento es más efectivo.

Es importante conocer las propiedades y características de los suelos, ya que un suelo con un alto porcentaje de arcilla será prácticamente impermeable, la cual no permitirá que el contaminante siga infiltrándose, y su remediación será menos difícil y menos costosa, tal vez con solo arar la tierra los microorganismos tendrán oxígeno suficiente para degradar el contaminante; mientras que en un suelo con alto contenido de arena, la cual es permeable se deberá analizar hasta que capa a llegado la contaminación, si este ha llegado hasta el agua subterránea será necesario aplicar un método efectivo para proveer de oxígeno y nutriente a los microorganismos.

CAPÍTULO V
MÉTODOS PARA LA
BIOREMEDIACION DE
SUELOS
CONTAMINADOS Y SUS
COSTOS

INTRODUCCIÓN

La Biotecnología es la forma de realizar cambios con seres vivos y de emplear seres vivos para mejorar, modificar o producir sustancias. Los microorganismos se han usado durante siglos para producir alimentos, bebidas y otras sustancias fermentadas, esto es lo que se ha llamado biotecnología tradicional. El descubrimiento de técnicas específicas como las de ingeniería genética y la fusión celular, abrieron horizontes inesperados para la producción de modificaciones a nivel molecular y celular a una velocidad y eficacia que era desconocida hasta hace 10 o 15 años, esto es la biotecnología intensiva o nueva biotecnología.

La biotecnología es una área estratégica y de gran oportunidad para el desarrollo de México. México es un país en donde la variedad y diversidad geográfica han favorecido la existencia de ecosistemas muy variados.

Para el año 2000, las estimaciones coinciden en que serán cuatro sectores en los cuales la biotecnología tendrá mayor impacto: el sector agropecuario, el sector alimenticio, el sector salud y el sector de protección al medio ambiente.

En los Estados Unidos, las grandes empresas han gastado en los últimos años más de 2,000 millones de dólares en biotecnología. En el caso de Japón, las actividades de investigación científica y tecnológica universitarias están apoyadas por políticas y estructuras de tomas de decisión bien instrumentadas.

En el caso de México la industria biotecnológica tiene una magnitud muy reducida por su dependencia tecnológica casi total. Sobre investigación y desarrollo existen varios grupos científicos instalados en aproximadamente una veintena de instituciones de investigación y su orientación está dirigida principalmente a los sectores de salud pública y de investigación básica. Para el desarrollo de aplicaciones industriales existen más de 500 investigadores pero desafortunadamente, se encuentran diseminados en prácticamente todas las instituciones de investigación y educación superior de todo el país. Sin embargo, no existe prácticamente un enlace entre el sector industrial y estos investigadores y por lo tanto la aplicación y desarrollo son prácticamente nulos.

Por ello se requiere un gran esfuerzo de concertación si es que se desea aprovechar este potencial de trabajo. Las alternativas que el sistema tecnológico nacional pone a disposición de la industria se concentran en la producción de alimentos, producción de medicamentos y control de la contaminación.

En los últimos años se ha avanzado significativamente en el uso de métodos biológicos para tratamiento de residuos industriales y peligrosos, principalmente de compuestos orgánicos complejos. Era la creencia anterior que estos compuestos eran refractarios, es decir resistentes a la degradación microbiana; pero los trabajos y las prácticas de los últimos años han puesto en evidencia que en las condiciones ambientales y microbianas adecuadas, es posible degradarlos a productos inocuos en el caso de un sinnúmero de sustancias químicas orgánicas.

BIOREMEDIACIÓN

La biotecnología se define, desde el punto de vista industrial, como el conjunto de tecnologías nuevas y tradicionales que involucran la aplicación de procesos biológicos y de organismos vivos o sus partes (tejidos y células o productos de éstas como las enzimas) a la producción de bienes y servicios en sectores tales como la agricultura, producción pecuaria, industria farmacéutica y de especialidades químicas y control de la contaminación.

Las biotecnologías tradicionales se remontan al descubrimiento por parte del hombre, de los procesos de fermentación naturales tales como la producción de vino, cerveza, yoghurt, pan, etc. Las biotecnologías nuevas en cambio, marcan su origen a partir del descubrimiento de la estructura molecular del ácido desoxirribonucleico (ADN) en 1953, el cual abre las puertas a la posibilidad de manipular los genes que guardan la información hereditaria de todos los organismos vivos.

Es bien reconocido que los microorganismos juegan un papel importante en la transformación y degradación de compuestos orgánicos. Las comunidades microbiales en la naturaleza tienen una impresionante versatilidad bioquímica en número y especie de compuestos orgánicos sintéticos que son capaces de metabolizar.

El metabolismo microbial consiste aparentemente sólo de la transformación natural de contaminantes orgánicos que pueden resultar en la mineralización completa.

Sin embargo, hay límites para la versatilidad de los microorganismos. Muchos sustratos, como los que se conocen para ser altamente biodegradables, son frecuentemente transformados tan lentamente en la naturaleza que causan degradación de la calidad ambiental. Esta resistencia a la biodegradación es principalmente función de:

a) Las condiciones ambientales existentes; b) La estructura del contaminante en particular; y c) La fisiología de los microorganismos requeridos.

De estas, las limitaciones ambientales son las más comunes y fáciles de rectificar.

Para cultivarse, los microorganismos necesitan un ambiente químico y físico apropiado. La naturaleza y el factor o factores ambientales limitantes pueden clasificarse como calidad ambiental general o metabólicamente dependiente.

En el primer caso, extremos de temperatura, pH, salinidad y concentraciones de contaminante tienen marcada influencia en la velocidad de crecimiento microbial. En el segundo caso, los microorganismos deben tener los requerimientos básicos de crecimiento y metabolismo. Similar a cualquier forma de vida, los microorganismos están compuestos principalmente de C, H, O, N, P y S, aunque variedad de otros elementos también se encuentran en pequeñas cantidades. Estas sustancias deben realmente estar presentes o ser suministradas en la forma o proporción apropiadas para los requerimientos de los microorganismos para multiplicarse y degradar los sustratos orgánicos.

En muchos casos, los contaminantes orgánicos son capaces por si mismos de suministrar el carbón y la energía requeridos para mantener el cultivo microbioal heterotrófico.

Importancia del Oxígeno

La importancia de suministrar oxígeno en una bioremediación "In Situ" esta bien documentada, recientemente en un estudio de un sitio en Conroe, Texas. Una porción bajo gradiente de el contaminante, fue caracterizada por bajos niveles de contaminantes orgánicos y oxígeno disuelto, mientras que los contaminantes inorgánicos (p. Ej. Cloruro), los cuales fueron asociados con residuos orgánicos, permanecieron a elevadas concentraciones. Los autores sugirieron que el oxígeno fue consumido durante el metabolismo aerobio de los contaminantes orgánicos por los microorganismos indígenas. Los hidrocarburos permanecieron en áreas donde los niveles de oxígeno fueron insuficientes para soportar la actividad biológica aerobica.

Incrementando artificialmente la oxigenación de ambientes subsuperficiales se incrementaría dramáticamente el crecimiento de bacterias heterotrópicas. En un estudio de degradación de hidrocarburos de petróleo, columnas de arena fueron utilizadas para determinar el efecto del suministro de oxígeno en el crecimiento bacterial y degradación de gasolina.

Varias columnas fueron preparadas en condiciones idénticas usando 50 ml de arena mojada tamizada de 40 a 60 de malla. Un total de 50 ml de gasolina fue adicionado a cada columna y drenado completamente. Un promedio de 4.3 ml. de gasolina fue retenido en la columna. Las columnas fueron lavadas entonces con 2 L de nutrientes obtenidos de agua subterránea. Diferentes niveles de oxígeno fueron suministrados a las columnas usando aire, oxígeno y/o peróxido de hidrógeno disueltos en agua subterránea. Las columnas fueron conservadas a los niveles de oxígeno diseñados por dos semanas. Al término de los experimentos, las columnas fueron vaciadas y analizadas en el contenido de gasolina, carbón orgánico total (TOC), bacterias totales y bacterias que utilizan gasolina.

Las cantidades de bacterias en el interior de la columna muestran una fuerte dependencia con el nivel de oxígeno:

Dependencia del crecimiento bacterial con el oxígeno disponible.

Bacteria, unidades que forman la colonia (CFU) / gramo seco de tierra.

| Oxígeno disponible ppm (promedio) | Bacterias heterotrópicas (x 10 ⁶) | Bacterias que utilizan gasolina. (X 10 ⁶) |
|--------------------------------------|--|--|
| 8 | .05 | .0001 |
| 40 | 5.5 | .7 |
| 112 | 75 | 27 |
| 200 | 207 | 31 |
| Correlación W/D.O. | .979 | .993 |

Fuente: Richard A. Brown, Groundwater Technology, Inc.
Jill R. Crosbie, Groundwater Technology, Inc.

De acuerdo a los datos, las cantidades bacteriales se incrementan dramáticamente con el incremento de oxígeno disponible.

Las bacterias que utilizan gasolina son más sensibles a los niveles de oxígeno que las bacterias heterotróficas.

La biodegradación de la gasolina en las columnas también fue afectada por la oxigenación:

Dependencia de la degradación de la gasolina con los niveles de oxígeno.

| Oxígeno disponible ppm (promedio) | Gasolina biodegradada (gr) | Gasolina de salida (gr) | Gasolina total removida (gr) |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 8 | .338 | .71 | 1.048 |
| 40 | .508 | .77 | 1.278 |
| 112 | .773 | .59 | 1.363 |
| 200 | 1.272 | .49 | 1.762 |
| Corr. W/D.O. | .994 | -.93 | .974 |

Fuente: Richard A. Brown, Groundwater Technology, Inc.
J. R. Crosbie, Groundwater Technology, Inc.

Dos observaciones se pueden notar de estos datos. Primero, a mayor oxígeno suministrado, más gasolina biodegradada. Segundo, la velocidad de biodegradación bajo condiciones altamente oxigenadas fue más grande que la velocidad de remoción física por disolución.

Estos estudios de columnas de arena demostraron que el crecimiento y metabolismo bacterial son muy dependientes de la oxigenación.

MICROBIOLOGÍA Y BIODEGRADACIÓN

Las bacterias y en menor medida los hongos son los microorganismos que mayor capacidad han mostrado para degradar compuestos orgánicos en ambientes naturales como en ambientes modificados.

Las bacterias son microorganismos

- * de pequeño tamaño (1 - 10 μm)
- * morfológicamente simples, y no tienen membrana interna (procarióticos)
- * con amplia plasticidad genética
- * de rápido crecimiento y metabolismo
- * con habilidad para ajustarse a una variedad de ambientes.

Factores abióticos determinantes del crecimiento bacteriano

En relación al tratamiento biológico de residuos peligrosos, se tienen los siguientes factores determinantes:

- * contenido de agua
- * temperatura
- * pH
- * presencia de tóxicos (p.e. metales)
- * tipo y cantidad de material orgánico presente
- * receptores de electrones (O_2 , NO_3 , compuestos orgánicos)
- * nutrientes inorgánicos: N y P
- * presencia de oxígeno

Temperatura

La velocidad de las reacciones de catálisis enzimática son influenciadas por la temperatura y pueden ser cuantificadas por la relación de Arrhenius:

$$k = A \exp (\mu / RT)$$

donde:

k = es la constante de la velocidad de la reacción, A = es la constante, μ = es la energía de activación, R = es la constante de los gases y T = es la temperatura absoluta. Los valores de A y μ pueden ser determinados por medio de una gráfica de $\ln(k)$ contra $1/T$. En muchas reacciones microbiales su velocidad de reacción se duplica a medida que aumenta $10^\circ C$ la temperatura. Por abajo de $10^\circ C$, muchas reacciones microbiales son lentas, con largos tiempos de limpieza en climas fríos.

pH ambiental

La mayoría de los suelos tienen pH valuados entre 5 y 9, el rango que es favorable para el crecimiento de muchos microorganismos. Para la mayoría de las especies, el pH óptimo para su crecimiento esta entre 6.5 y 7.5, y relativamente pocas especies pueden crecer a pH's menores de 2 o mayores de 10.

Concentración

Muchos compuestos Xenobióticos son tolerados a bajas concentraciones y pueden llegar a ser tóxicos a los organismos a altas concentraciones, esta influencia para inhibir la velocidad de crecimiento específica puede ser descrita por la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S + S^2 / K_i}$$

donde:

μ = es la velocidad de crecimiento específico, S = es la concentración del compuesto, μ_{max} = es la velocidad de crecimiento específica máxima, K_s = es la constante de velocidad media Monod y K_i = es la constante de inhibición. Las bajas concentraciones son frecuentemente en el rango de microgramos a nanogramos por litro.

La clasificación nutricional de microorganismos es de acuerdo al siguiente cuadro:

| Grupo | Fuente de carbón | Fuente de energía |
|--------------------|------------------|---|
| Fotoautótrofos | CO ₂ | Luz |
| Fotoheterótrofos | C - orgánico | Luz |
| Quimioautótrofos | CO ₂ | Compuestos inorgánicos (NH ₄) |
| Quimioheterótrofos | C - orgánico | C - orgánico |

Los quimioheterótrofos son los responsables principales de la degradación de compuestos orgánicos en el ambiente y tienen las siguientes características:

- ★ Algunos específicos, otros versátiles.
- ★ La ruptura de compuestos orgánicos a través de una serie de reacciones acopladas de oxidación-reducción denominada catabolismo.

Las secuencias metabólicas principales son las siguientes

| Tipo de Metabolismo | Donante de Electrón | Receptor terminal de Electrones |
|-------------------------------------|--|---------------------------------|
| Fermentación | Compuesto orgánico | Compuesto orgánico |
| Respiración aerobia anaerobia | Orgánico o Inorgánico Oxígeno (O ₂) Nitratos (NO ₃) Sulfatos (SO ₄ ⁻²) | Compuesto orgánico |

En la fermentación no hay oxidación completa, es importante en procesos industriales, pero no para remediación. Por su parte, la respiración aerobia es normalmente más eficiente que la respiración anaerobia.

En relación al oxígeno, los organismos se pueden clasificar como sigue:

Aerobios obligados: "requieren oxígeno como receptor terminal de electrones".

Anaerobios obligados: no pueden crecer en presencia de oxígeno (respiración anaerobia).

Anaerobios facultativos: pueden crecer en presencia o ausencia de oxígeno.

Anaerobios aerotolerantes: Organismos indiferentes, pueden vivir en presencia de oxígeno, pero no lo usan como receptor de electrones.

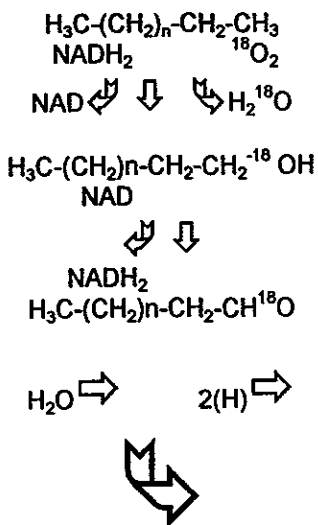
Organismos microaerófilos: requieren una presión parcial reducida de oxígeno.

Regla generales para la degradación de hidrocarburos:

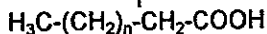
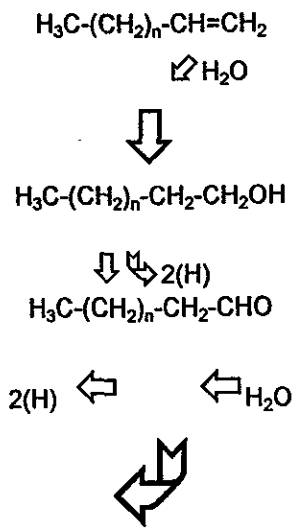
- ① Los hidrocarburos "alifáticos" son generalmente más fácil de degradar que los compuestos aromáticos.
- ② Los hidrocarburos alifáticos de cadena lineal son más fáciles de degradar que los hidrocarburos de cadena ramificada.
- ③ Los hidrocarburos saturados son más fácilmente degradables que los hidrocarburos insaturados.
- ④ Los hidrocarburos alifáticos de cadena larga son más fácilmente degradables que los hidrocarburos de cadena corta.

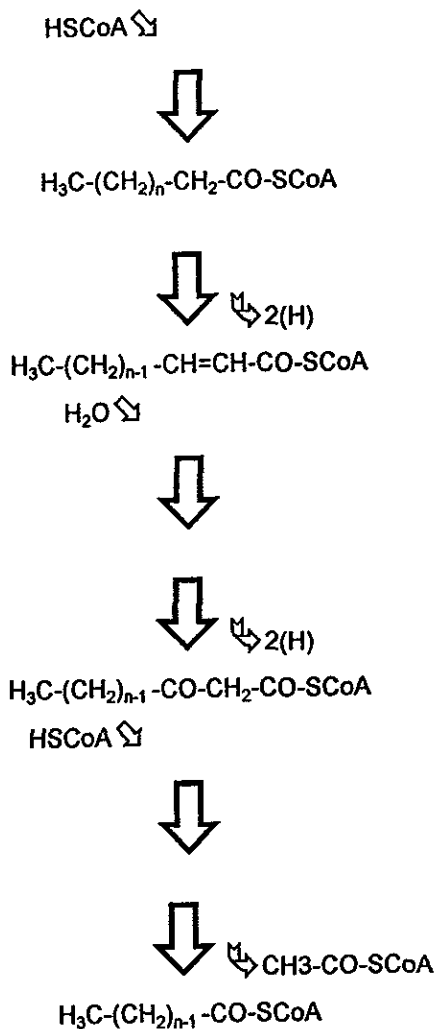
Degradación de compuestos alifáticos

Degradación anaerobica



Degradación aerobica





Los hidrocarburos con cadena de menos que 9 carbonos son difíciles de degradar por su toxicidad a los microorganismos. Algunos microorganismos especializados (metanotrofos) pueden degradar hidrocarburos de cadena corta. La longitud óptima de cadena para la biodegradación parece estar entre 10 y 20 carbonos.

| Producto | Componentes principales |
|--|---|
| Gas | Alcanos normales y ramificados. De 1 a 5 carbonos. Ejemplo: Etano, Propano. |
| Gasolina | Hidrocarburos normales y ramificados. Entre 6 y 10 carbonos. También contienen cicloalcanos y alquilbencenos. Los antidetonantes varían ampliamente, con y sin plomo. |
| Queroseno / Diesel no 1 | Principalmente hidrocarburos de 11 y 12 carbonos. Contienen hidrocarburos lineales y ramificados predominando los lineales. También tienen cicloalcanos, aromáticos y cicloalcanos aromáticos. Contiene normalmente niveles bajos a no detectable de benceno e hidrocarburos poliaromáticos. Los aceites combustibles tienen una composición similar. |
| Aceites ligeros | Hidrocarburos de 12 a 18 carbonos ramificados. Porcentaje menor de alcanos que el queroseno. Cicloalcanos, aromáticos y cicloalcanos aromáticos. Oleofinas y oleofinas aromáticas como estireno. Estos productos incluyen diesel y aceites combustibles de hornos. |
| Aceites pesados de gas y aceites lubricantes ligeros | Hidrocarburos entre 18 y 25 carbonos. |
| Lubricantes | Hidrocarburos de 26 a 38 carbonos. |
| Asfaltos | Compuestos policíclicos pesados. |

Pruebas de biodegradabilidad

Antes de proceder a realizar a escala real el empleo de técnicas biológicas de degradación, es necesario realizar pruebas de biodegradabilidad para determinar la aplicabilidad de la técnica y, de ser adecuada, determinar algunos ajustes para su optimización.

Existen protocolos de pruebas para diferentes matrices, de agua, lodo, suelo, aire, que pueden ser aplicados para evaluar la biodegradabilidad. Si bien a la fecha se han desarrollado estudios innumerables de estos protocolos, no existe ninguno de aplicación universal, por lo que será tarea del técnico seleccionar aquél o aquellos que resulte(n) aplicable(s) a las condiciones del proyecto.

SISTEMAS DE BIOREMEDIACIÓN

De acuerdo al sitio donde los microorganismos transforman a los contaminantes, los sistemas se clasifican en:

★ **Sistemas *In Situ*:** los microorganismos consumen los contaminantes en el sitio donde éstos se encuentran.

★ **Sistemas *Ex Situ*:** los contaminantes se extraen y envían a un recipiente confinado para su tratamiento

En ambos sistemas, la tecnología es reciente. En pocos casos la tecnología está totalmente probada.

Sistemas *In Situ*

Su objetivo es estimular el crecimiento de los microorganismos en la región contaminada. La estimulación se desarrolla mediante:

- ★ adición de microorganismos (bioaumentación)
- ★ adición de nutrientes
- ★ adición de oxígeno (en sistemas aerobios)

Los contaminantes se transforman principalmente en biomasa, CO₂ y H₂O (en algunos casos también en productos intermedios)

Ventajas de los sistemas *In Situ*

Existen algunas características del sitio que favorecen los sistemas *In Situ*. Las principales son:

- ★ flujo consistente de aguas subterráneas (velocidad y dirección)
- ★ presencia de carbonatos (amortiguamiento de pH)
- ★ concentraciones altas de receptores de electrones (O₂, NO₃⁻)
- ★ presencia de nutrientes (N, P)

La ventaja principal de los sistemas *In Situ* es evitar la extracción de los contaminantes, que frecuentemente es el costo principal.

Desventajas de los sistemas *In Situ*

Las principales desventajas de los sistemas *In Situ* son:

- ★ Es difícil la estimación de las concentraciones de contaminantes, nutrientes, receptor de electrones, pH, etc.

- * Los límites del "reactor biológico" no son definidos.
- * Se requiere una descripción detallada del comportamiento del agua subterránea, incluyendo dirección del flujo, nivel freático y variaciones estacionales de éstos.
- * En condiciones desfavorables puede existir migración de los contaminantes.
- * Es difícil hacer llegar los nutrientes y el oxígeno a toda la región contaminada.

Adición de Oxígeno

Con frecuencia, la cantidad de oxígeno disponible en el subsuelo es escasa, lo que limita o impide el desarrollo de las bacterias. La adición de oxígeno en muchos problemas de bioremediación es suficiente para lograr la descontaminación del sitio.

Existen básicamente dos vías para suministrar oxígeno: física y química.

El suministro físico de oxígeno envuelve la inducción forzada de aire y/u oxígeno puro dentro de la matriz contaminada.

El suministro químico de oxígeno envuelve la adición de sustancias las cuales pueden convertirse en oxígeno (tales como Peróxido de Hidrógeno) o sustancias que pueden actuar como receptoras de electrones directamente (tales como el nitrato). Todos estos métodos han sido usados para tratar suelos contaminados y acuíferos.

Los métodos más usuales de adición de oxígeno en los sistemas In Situ son:

- * en bajas profundidades (< 30-40 cm) arando la superficie como en las prácticas agrícolas.
- * en la zona vadosa, produciendo un flujo de aire a baja presión (bioventeo).
- * en la zona saturada, burbujeando aire en el agua (air sparging) o agregando una solución rica en oxígeno (usualmente Peróxido de Hidrógeno).

La selección de un método de oxigenación depende de diversos factores. Básicamente, solo uno es necesario para llevar a cabo una máxima eficiencia en oxigenación.

Los factores que deben considerarse para lograr este balance se suministro y demanda son:

- * carga del contaminante y localización del sitio contaminado.
- * transferencia másica de oxígeno, (libras por unidad de tiempo) suministrada por cada método, y
- * facilidad de transporte / utilización.

Carga o peso del contaminante

El primer factor a considerar en la selección de una fuente de oxígeno es la carga del contaminante y localización. La localización es importante debido a que los sistemas de venteo requieren entornos no saturados. La carga del contaminante, por otra parte, afecta todos los parámetros del suministro de oxígeno.

Los hidrocarburos del petróleo se encuentran en el subsuelo como tres fases condensadas: producto móvil libre (fase separada); suelo saturado residualmente (fase adsorbida); y agua subterránea contaminada (fase disuelta). La distribución de los hidrocarburos en estas tres fases diferentes, que resultan del transporte dinámico, es en última instancia una función de sus propiedades físicas y químicas y de las características hidrogeológicas y geoquímicas de la formación.

Se debe examinar la distribución de fases de dos formas: 1) por extensión del área contaminada o el volumen del subsuelo afectado por una fase y 2) por la severidad de la contaminación o la cantidad del contaminante dentro de una fase, medidas como el peso total o concentración. La siguiente tabla muestra una distribución de fases representativa para un derrame de gasolina en arena y grava:

| Fase | Extensión del impacto de sedimentos contaminados. | | Distribución de la masa de hidrocarburos. | | |
|-------------------------|---|------------|---|-----------|------------|
| | Volumen yd. ³ | % de total | lb. | Conc. ppm | % de total |
| Fase libre ¹ | 780 | 5.3 | 26,800 ¹ | — | 69.3 |
| Adsorbida (suelo) | 2,670 | 18.3 | 11,500 | 2,000 | 29.7 |
| disuelta (agua) | 11,120 | 76.3 | 390 | 15 | 1.0 |

¹ Actual valor recuperado del sitio.

Fuente: Richard A. Brown, Groundwater Technology, Inc.

J. R. Crosbie, Groundwater Technology, Inc.

Diversas generalizaciones pueden hacerse de los datos anteriores concernientes a la distribución de hidrocarburos del petróleo entre las diferentes fases. Primero, el flujo de agua subterránea es el mecanismo primario de (largo periodo) para la dispersión de la contaminación una vez que la capa de la fase libre ha alcanzado un flujo en equilibrio. Así la extensión de área de contaminación de hidrocarburos de fase disuelta es comúnmente más grande que para otras fases. Sin embargo, la cantidad de material en el agua subterránea es pequeña comparada con la retenida en el suelo matriz menor al 5%. El suelo saturado residualmente (por ej. Fase adsorbida), si no es tratado, es una fuente continua de contaminación del agua subterránea.

Transferencia másica de oxígeno

El segundo factor a considerar en la selección del método de suministro de oxígeno es la transferencia másica de oxígeno.

Es fácil calcular la cantidad de oxígeno suministrado por diferentes métodos. A mayor oxígeno suministrado por unidad de tiempo, es más grande la carga de contaminante que puede tratarse.

BIOVENTEO

Descripción

En esta técnica se construyen pozos para la inyección y/o succión de aire en la zona vadosa. De requerirse, se añaden nutrientes o se aumenta la humedad en la zona vadosa.

Esta técnica es relativamente poco instructiva, por lo que resulta muy valiosa en sitios donde existen edificios o tanques subterráneos que pudieran ser afectados.

Para el suministro de aire, los pozos se colocan en el interior de la zona contaminada, mientras que los pozos de recuperación se colocan en la periferia. De esta forma se maximiza el contacto del oxígeno con los contaminantes. Los flujos de aire son bajos si se comparan con los utilizados en las técnicas de extracción de los contaminantes.

Algunas consideraciones adicionales del suministro de aire en la técnica de bioventeo son:

- * Se debe mantener 2% de oxígeno en la zona contaminada.
- * Es aconsejable que el suministro de aire sea intermitente.
- * Los pozos de inyección deben colocarse en zonas poco permeables y los pozos de recuperación en zonas de mayor permeabilidad.

Requerimientos de fluidos para suministro de oxígeno

Las ventajas en costo del bioventeo contra otras formas de suministro de aire en la zona vadosa pueden apreciarse en la tabla siguiente:

| Portador de oxígeno | Portador / Hidrocarburo |
|--|-------------------------|
| Solución acuosa | |
| Saturada de aire | 400,000 |
| con nitratos (50 mg/l) | 90,000 |
| con H ₂ O ₂ (100 mg/l) | 65,000 |
| Aire | 13 |

Fuente: EPA, Seminario de Bioremediación (1996)

Del cuadro anterior se observa que el costo de suministrar oxígeno es mucho menor para el bioventeo que para otros métodos.

Generalmente el bioventeo es una de las técnicas de remediación más baratas pues elimina dos de los principales costos de las técnicas de bioremediación:

- * No hay que tratar gases de salida como sucede en los procesos de extracción convencionales.
- * No hay que bombear líquidos.

La cantidad de oxígeno suministrada es una función simple de la velocidad del flujo de aire.

La siguiente tabla utiliza un contenido de 20% de oxígeno en el aire para calcular el suministro de aire:

lb/día de Oxígeno suministrado por el sistema de venteo (suelo insaturado)

| velocidad del flujo de aire scfm | suministro de oxígeno lb/día |
|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | 23.3 |
| 5 | 116.6 |
| 10 | 233.3 |
| 20 | 466.6 |
| 50 | 1,166.4 |
| 100 | 2,332.8 |

Fuente: Richard A. Brown, Groundwater Technology, Inc.
J. R. Crosbie, Groundwater Technology, Inc.

BURBUJEO DE AIRE

Características de la técnica de burbujeo de aire

- * Aumenta la oxigenación de la zona contaminada (principal beneficio).
- * Aumenta la disolución de algunos contaminantes, permitiendo que los microorganismos tengan acceso a mayores concentraciones de contaminantes (biodisponibilidad).
- * Produce volatilización y desorción de algunos contaminantes, los cuales pueden migrar a la superficie requiriendo de sistemas de recuperación y tratamiento.
- * Produce un desplazamiento del agua subterránea, elevando el nivel freático.
- * El aire adicionado repone el oxígeno consumido por procesos químicos y biológicos.
- * El mecanismo principal que controla la reposición de oxígeno es la difusión, existiendo difusión vertical y horizontal del oxígeno.
- * El radio de influencia es cercano a la profundidad bajo el nivel freático, hasta un máximo de 10 m.
- * El movimiento del aire no es en realidad un burbujeo homogéneo en la zona aplicada. El aire se mueve en la zona saturada formando canales discretos por las zonas de mayor permeabilidad.
- * No se conoce el comportamiento del oxígeno fuera de los canales de flujo, por lo que los pozos de suministro de aire se colocan a intervalos pequeños (70-80% del radio de influencia). La dirección del flujo de aire es difícil de predecir. Pequeñas diferencias en la permeabilidad del suelo cambian el patrón de flujo.
- * Debido a la dificultad para conocer en forma precisa el movimiento de aire, en esta técnica se requiere una descripción detallada de la hidrogeología y la distribución de los contaminantes.
- * Es deseable que el suelo tenga una permeabilidad mayor a 10^{-4} cm/seg para lograr una buena distribución del aire.
- * La adición de aire desplaza al agua, produciendo movimiento de ésta. Por ello, se debe considerar la recuperación del agua para evitar migración de contaminantes. Es indispensable monitorear los contaminantes para detectar si existe migración.

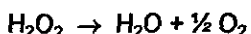
Características de desempeño del burbujeo del aire

La tecnología es emergente, no hay reglas de diseño definidas. Se debe realizar previamente pruebas en laboratorio para determinar si los contaminantes son degradables aerobicamente.

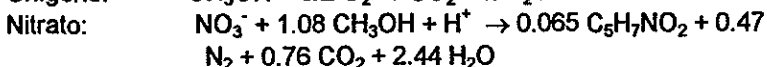
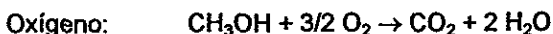
En EE.UU. la EPA reporta que ha funcionado bien esta técnica cuando:

- * los contaminantes están cercanos al nivel freático, por ejemplo en la eliminación de líquidos ligeros no solubles en agua (LNAPL, por sus siglas en inglés)
- * el suelo tiene una granulometría homogénea y
- * la aereación se aplica en forma intermitente.

Finalmente hay dos sistemas de transporte químico - peróxido de hidrógeno y nitrato. Debido a que ambos materiales son altamente solubles, su velocidad de uso común es alrededor de 1000 ppm (0.1%). El número de equivalentes de oxígeno suministrado es dependiente de la estequiometría. El peróxido de hidrógeno se convierte a través de la descomposición en oxígeno:



Cada libra de Peróxido de Hidrógeno suministra 0.47 libras de oxígeno. El Nitrato es, por otra parte, directamente utilizado como un receptor terminal. Los equivalentes de Oxígeno pueden calcularse comparando la cantidad de nitrato requerido para oxidar un sustrato, contra la cantidad de oxígeno. Tome, por ejemplo, la oxidación del metanol:



Basado en estas ecuaciones, 1 lb. de nitrato es equivalente a 0.84 lb. de oxígeno. Los equivalentes de oxígeno suministrados para estos dos transportadores químicos son una función simple de la velocidad de inyección.

lb/día de equivalentes de oxígeno suministrado por transportadores químicos (1000 ppm)

| Velocidad de inyección (gpm) | H_2O_2 0.47 equiv. O_2 / parte H_2O_2 | NO3 0.84 equiv. O_2 / parte NO_3 |
|------------------------------|--|---|
| 1.0 | 5.6 | 10.0 |
| 5.0 | 28.0 | 50.0 |
| 10.0 | 56.0 | 100.0 |
| 20.0 | 112.0 | 200.0 |
| 50.0 | 280.0 | 500.0 |

Facilidad de transporte

El tercer factor en consideración de una fuente de oxígeno es la facilidad de transportación y la utilización. Este factor envuelve la forma de aplicación, el mantenimiento del sistema y la velocidad y/o grado de utilización.

Un sistema de burbujeo de aire utiliza un pequeño compresor con capacidad para transmitir 1 cfm por pozo. El consumo de potencia es mínimo. El transporte del agua aereada esta limitado por la velocidad del flujo de agua subterránea. El costo de operación más significativo en un sistema de burbujeo de aire es el mantenimiento del compresor y el difusor (piedra porosa, metal difusor, o un vidrio difusor).

La biodegradación o degradación inorgánica del difusor puede ser significativa y por lo tanto requiere un alto grado de mantenimiento. La utilización bacteriana del oxígeno disuelto es muy alta.

Los sistemas de venteo, aunque están limitados a suelos insaturados, son medios muy eficientes de suministro de oxígeno. El principal costo de capital es la(s) bomba(s) de vacío necesarias para operar el sistema. El mantenimiento de las bombas es bastante simple y el consumo de potencia es mínimo. La eficiencia del sistema de venteo es realzada por la remoción de químicos volátiles de el suelo. El mayor costo potencial en un sistema de venteo es el tratamiento de la descarga de vapor la cual puede ser llevada a cabo usando carbón disponible, carbón regenerable u oxidación catalítica.

Un sistema de Peróxido de Hidrógeno, es generalmente de bajo costo de capital, y un sistema con facilidad de mantenimiento.

El uso de Peróxido de Hidrógeno tiene un costo de operación bastante alto debido al costo del Peróxido comprado, el cual depende del volumen utilizado. El mayor factor de costo envuelto en el Peróxido de Hidrógeno es su rápida descomposición. Hay dos mecanismos de descomposición: biológica y catálisis metálica. En algunos suelos que contienen altos niveles de hierro o manganeso, la descomposición por catálisis metálica puede ser severa.

Finalmente, los sistemas de nitrato es una alternativa potencial de electrón aceptor. Los costos de capital para un sistema de nitrato pueden ser bastante bajos, consistiendo en un tanque de suministro y una bomba (similar al Peróxido de Hidrógeno).

ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis para el alto grado de contaminación asume un área de contaminación de aproximadamente 500 gal de un hidrocarburo del Petróleo en una arena permeable. El ejemplo también considera que la mayoría del contaminante esta en fase adsorbida.

Comparación de costos de operación
Alto grado de contaminación.

| Sistema | Capital | Operación | Mantenimiento | Tiempo de tratamiento | costo total |
|------------------|-----------|-------------|---------------|-----------------------|-------------|
| Burbujeo de aire | \$ 35,000 | \$ 800/mnth | \$ 1200/mnth | 1716 d | \$ 150k |

| | | | | | |
|-----------------------|------------|--------------|--------------|--------|---------|
| Inyección de agua | \$ 77,000 | \$ 1200/mnth | \$ 1000/mnth | 1580 d | \$ 194k |
| Venteo | \$ 88,500 | \$ 1500/mnth | \$ 1000/mnth | 132 d | \$ 101k |
| Peróxido de Hidrógeno | \$ 60,000 | \$10000/mnth | \$ 1500/mnth | 330 d | \$ 187k |
| Inyección de nitrato | \$ 120,000 | \$ 6500 /mnt | \$ 1000 /mnt | 335 d | \$ 210k |

En esta tabla pueden notarse cosas muy importantes. Primero, los costos de capital para el nitrato son grandes debido a una necesidad proyectada para controlar el nitrato fuera del sitio debido a la regulación del agua subterránea de niveles de nitrato (10 ppm).

Segundo, el sistema de venteo incluye un sistema de control para la fase vapor- un oxidador catalítico cuyo costo es de \$60,000. Si los controles de la fase vapor no son necesarios, entonces el capital y el costo total puede reducirse significativamente para el sistema de venteo.

en la tabla anterior se da una comparación de costos de operación, sin embargo, no se toma en cuenta la efectividad del tratamiento. Los diferentes sistemas no tratan de igual forma todas las fases contaminadas. Por ejemplo un sistema de venteo no es efectivo en el tratamiento del agua subterránea contaminada y en el tratamiento de contaminación de la fase adsorbida, un sistema de burbujeo es inefectivo en el tratamiento de la zona de contaminación. La siguiente tabla toma en consideración estos y otros factores de eficiencia y estima un costo-efectivo para los diferentes sistemas.

Comparación costo efectivo
Alto grado de contaminación

| Sistemas | Velocidad de flujo | Oxígeno lbs/día | % de sitio tratado | % de eficacia | Tiempo de tratamiento (d) | Contaminación tratada (\$/lb) |
|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|
| burbujeo de aire | 15 pozos 2 cfm | 6 | 41 | 1 70 | 1716 | 90.3 |
| Inyección de agua | 70 gpm | 8 | 85 | 50 | 1580 | 100.2 |
| Venteo | 160 cfm | 4000 | 72 | 5 | 132 | 13.4 |
| Peróxido | 70 gpm | 190 | 95 | 15 | 330 | 65..1 |
| Nitrato | 70 gpm | 211 | 85 | 13 | 335 | 77.2 |

De la tabla anterior, puede verse que existe una amplia variación en costo-efectivo y en tratamiento-efectivo. En términos de costos, el orden es:

Venteo >> Peróxido de Hidrógeno > Nitrato > burbujeo de aire > inyección de agua

En términos de efectividad de tratamiento el orden es:

Peróxido de Hidrógeno > Nitrato = inyección de agua > venteo >> burbujeo de aire.

Mientras que el venteo es un buen método costo-efectivo, este es limitado para tratamiento de la zona vadosa. Consecuentemente, la efectividad de este tratamiento es limitada.

El anterior análisis está dado para una situación de contaminación extensa. Si el grado de contaminación es cambiado hasta que la contaminación del suelo es mínima, el análisis puede variar. Asumiendo que no hay contaminación y que los niveles del suelo son < 100 ppm, la ejecución de los diferentes sistemas puede ser como sigue asumiendo todos los otros factores, tales como capital, costos de operación y mantenimiento, etc., permanece constante:

Costo / ejecución
bajo grado de contaminación
solo fase disuelta

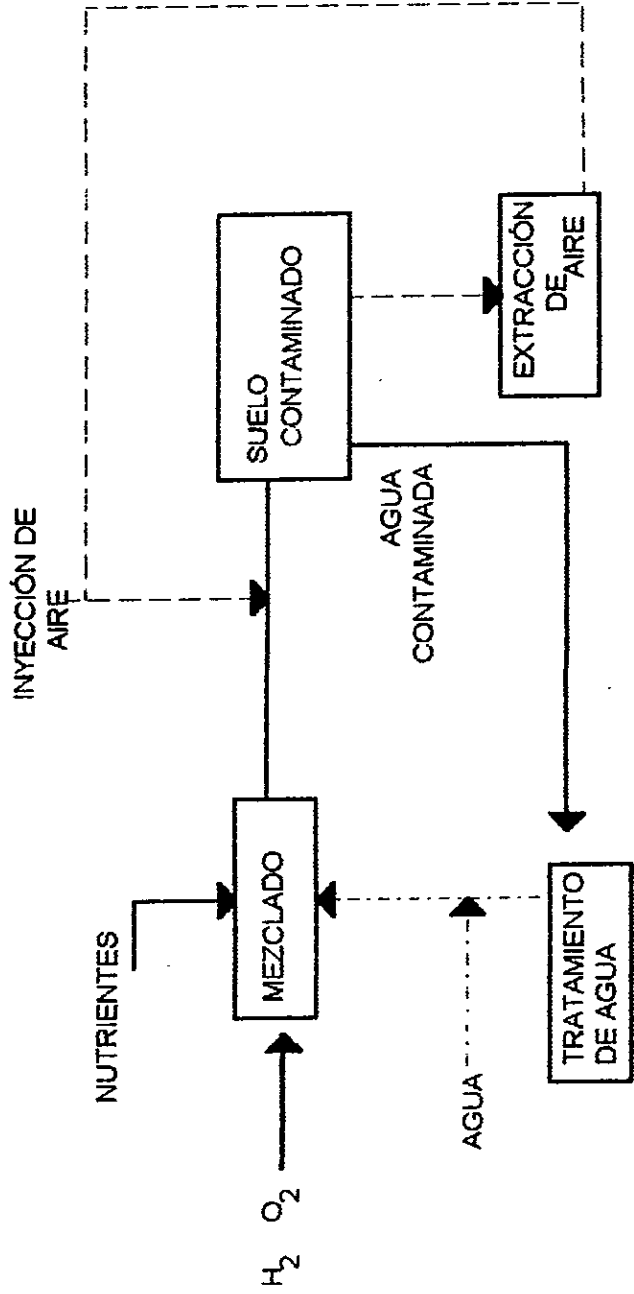
| Sistema | Oxígeno lbs/día | Tiempo de tratamiento (días) | Contaminación tratada \$/lb |
|-------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|
| Burbujeo de aire | 6 | 180 | 117.4 |
| Inyección de agua | 8 | 330 | 313.5 |
| Venteo | N/A | — | — |
| Peróxido | 190 | 180 | 134.4 |
| Nitrato | 211 | 240 | 165.9 |

Donde el grado de contaminación es menor, sistemas más simples como el burbujeo de aire son más efectivos en cuanto a costo. Donde la contaminación está solamente en la fase disuelta, un sistema de burbujeo de aire es a menudo la mejor elección.

La elección del suministro de oxígeno depende de la cantidad de contaminación, la transferencia de masa y la facilidad de transporte/utilización.

Dependiendo del grado de contaminación, diferentes sistemas serán efectivos.

TÉCNICAS DE BIOREMEDIACIÓN "IN SITU"



BIOVENTEO

Y

TRATAMIENTO CON SOLUCIÓN RICA EN O_2

Y

BURBUJEO DE AIRE

Sistemas Ex Situ

También se conocen como *Tratamientos sobre el suelo*. Estos sistemas de tratamiento implican la extracción de los contaminantes y envío a un reactor sobre la superficie. Los contaminantes pueden extraerse en fase líquida, en fase gaseosa y/o como una suspensión de sólidos adheridos al terreno. En esencia, son similares los reactores utilizados en las plantas de aguas residuales.

Ventajas de los sistemas Ex Situ

La ventaja principal sobre los sistemas In Situ es que permiten un control óptimo de los diferentes parámetros que afectan la biodegradación:

- * Medición de los contaminantes
- * Transferencia de oxígeno (en sistemas aerobios)
- * Tiempo de contacto de los sólidos
- * Mezclado y contacto entre sólidos y agua
- * Adición de nutrientes
- * Separación de agua y sólidos

Desventajas de los Sistemas Ex Situ

La desventaja principal es un mayor costo que en los Sistemas In Situ. El costo es debido principalmente a:

- * extracción y movimiento de sólidos (costo principal),
- * bombes, energía para mezcla y aereación.

Clasificación de los sistemas Ex Situ

Los reactores Ex Situ pueden ser:

- * de medio suspendido (tipo lodos activados) o de medio fijo (tipo filtros biológicos)
- * aerobios, anaerobios o anóxicos
- * de una o varias etapas

En base a la fase predominante, los sistemas Ex Situ se clasifican en:

a) Fase sólida: Se basa en los principios utilizados en la agricultura y en reciclamiento biológico de compuestos naturales (p. ej. tratamiento superficial, "pilas" y composteo)

Tratamiento superficial: El material se coloca en un lecho provisto de recubrimientos y sistemas de colección de lixiviados para evitar la migración de los contaminantes.

Tratamiento en pilas: Se introduce agua y/o aire a través de tubos perforados en material acomodado en pilas.

Composteo: Se degradan materiales sólidos conteniendo concentraciones muy altas de material biodegradable gracias a un aumento de temperatura y adición de aire.

b) **Fase en suspensión:** Se mantiene una suspensión de suelo y sedimentos en agua. Este método es el más efectivo para compuestos recalcitrantes (de muy lenta y/o difícil degradación). En general estos sistemas pueden tratar una mayor variedad de contaminantes.

Factores que afectan a los Sistemas Ex Situ

La accesibilidad de los contaminantes y la dificultad en la excavación limitan su aplicabilidad. En general, debido a que la extracción del material puede producir migración de los contaminantes, estos sistemas deben estar equipados con sistemas para contención de volátiles y lixiviados.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Este tratamiento involucra el uso de procesos biológicos, químicos y físicos en el suelo. La remoción de los contaminantes se debe a:

- * Degradación biológica (principal factor)
- * Degradación por luz UV (importante para algunos compuestos hidrofóbicos)
- * Volatilización de compuestos de bajo peso molecular
- * Humificación (adición de compuestos al material húmico del suelo), en el caso de algunos compuestos aromáticos polinucleares.

El tratamiento superficial puede ser In Situ o Ex Situ. En los sistemas In Situ generalmente está limitado a 30-50 cm bajo la superficie, por lo que su uso más frecuente es como sistema Ex Situ. En todo caso los principios de operación son similares en los sistemas In Situ y Ex Situ.

En los Sistemas Ex Situ el material a tratar se coloca en un lecho equipado con:

- * fondo de arcilla impermeable y/o recubrimiento plástico,
- * equipo de irrigación para mantener adecuada humedad y
- * sistema de drenaje

Generalmente se agregan lotes de suelo contaminado sobre una base de suelo sin contaminar.

El tipo de suelo condiciona fuertemente el funcionamiento del tratamiento superficial: los suelos arcillosos deben añadirse en lotes más pequeños que los suelos arenoso, debido a que dificultan la transferencia de oxígeno. En algunos casos la transferencia de oxígeno se mejora adicionando materiales de relleno (viruta, aserrín, etc.).

Después de la aplicación, la tierra de la superficie debe labrarse a intervalos regulares para permitir la aereación y mejorar el contacto de microorganismos con el contaminante. Al igual que en la agricultura y la jardinería, una frecuencia adecuada de labranza es indispensable para:

- * mantener la estructura de la matriz del suelo
- * evitar compactamiento de capas inferiores del suelo
- * optimizar la velocidad de crecimiento de las bacterias

Aditivos en el tratamiento superficial

para completar los requerimientos nutricionales de los microorganismos, pueden utilizarse:

- * fertilizantes (como fuente de nutrientes)
- * viruta, aserrín o paja (como fuente de carbón)
- * estiércol de ganado (como fuente de carbón y nutrientes)

El uso de bacterias especializadas (bioaugmentación) se ha utilizado en algunos casos. No ha demostrado una ventaja importante sobre las bacterias que se desarrollan naturalmente.

Control de la humedad del suelo

Mantener una humedad correcta es crítico para el funcionamiento correcto de los tratamientos superficiales. Si el suelo se seca excesivamente puede inhibirse o detenerse el crecimiento de los microorganismos. La EPA recomienda que la humedad se mantenga al 70-80% de la capacidad del campo. El exceso de humedad también es dañino; el sistema debe contar con un drenaje que permita eliminar rápidamente el exceso de humedad. El drenado generalmente se logra mediante una capa de arena graduada o un geotextil perforado.

Aplicabilidad del tratamiento superficial

El tratamiento superficial se ha utilizado en remediación de sitios contaminados con:

- * derivados del petróleo (aceites y lubricantes)
- * productos orgánicos para conservación de madera
- * derivados del alquitrán de la hulla.

Se ha utilizado sin resultados concluyentes con pesticidas y explosivos.

Se han encontrado, que las concentraciones que aparecen a continuación han producido resultados en los tratamiento superficiales:

| Tipo de compuestos | Intervalo de concentraciones |
|---|---|
| Derivados del petróleo: | 5 a 8% en peso o menor. Si hay concentraciones mayores debe mezclarse con suelo no contaminado. |
| Creosota (producto para conservación de madera) | 15,000 - 20,000 mg/kg de sólido seco |
| Pentaclorofenol | 1,000 mg/kg o menor (tóxico a niveles mayores). |

Fuente: EPA, Seminario de Bioremediación (1996)

Calidad alcanzable en el tratamiento superficial

La calidad varía grandemente. Deben hacerse pruebas de laboratorio para determinar los alcances.

En el caso de creosota y derivados (mezclas de compuestos orgánicos polinucleares), la concentración de contaminantes se puede reducir a 50 - 100 mg de hidrocarburos aromáticos polinucleares totales por kg de sólido.

Costos de tratamiento superficial

Se reportan costos de 174* - 1,740* \$/yd³ (EPA, 1996). Las actividades principales que afectan el costo son:

- * movimiento de tierras
- * confinamiento
- * monitoreo (usualmente la mayor parte del costo)
- * operación
- * control de compuestos volátiles (puede ser importante).

* 1 dólar = 8.69 pesos (Junio de 1998).

SISTEMAS EN FASE SUSPENDIDA. REACTORES DE SUSPENSIÓN

Son recipientes con mezclado y aereación adecuados para propiciar un contacto entre tres fases (sólida, líquida y gaseosa), con lo que se propicia la biodegradación de los contaminantes.

Funcionan de manera similar a los reactores de lodos activados o digestores de lodos, sólo que las concentraciones de sólidos en suspensión son mayores (10-30% en peso).

Ventajas de los reactores en suspensión

- * Permiten un contacto íntimo entre microorganismos y contaminantes, mejorando la disponibilidad de alimento para los microorganismos.
- * Se pueden controlar de forma óptima factores como pH, temperatura y adición de nutrientes.
- * Permiten la adición de sustancias que podrían estar prohibidas o limitadas en sistemas In Situ (ejemplos: los nitratos o amoníaco al suelo pueden crear problemas de contaminación del agua subterránea).
- * De requerirse, pueden adicionarse bacterias especializadas. Sin embargo, en la mayoría de los casos se utilizan las bacterias que existen naturalmente.
- * Los reactores en suspensión pueden ajustarse a operación secuencial anaerobia/aerobia.
- * Pueden operar por lotes, continuo o semicontinuo.
- * Ofrecen gran seguridad para contener a los contaminantes, en especial a los volátiles.
- * Requieren menor espacio que los tratamientos de aplicación al terreno, biopilas o composteo.

Desventajas de los reactores en suspensión

- * Por ser un proceso Ex Situ requiere excavación y transporte de los contaminantes.
 - * El mezclado del reactor consume gran cantidad de energía.
 - * No es recomendable la operación con partículas mayores a 0.75 cm (1/4").
- Generalmente se requiere cribado de las partículas del suelo.
- * La arena produce abrasión en los equipo mecánicos. En algunos casos debe eliminarse mediante uso de hidrociclón previamente a la alimentación del reactor.
 - * Se requiere desaguado de los sólidos después de que ha terminado la remediación.
 - * Es limitada la información en cuanto al uso de esta técnica. Existen muchas plantas piloto, pero el escalamiento ha presentado problemas.
 - * Se requieren pruebas previas para determinar las condiciones óptimas de operación.

Aplicabilidad del tratamiento en suspensión

Se ha utilizado en la remoción de contaminantes con:

- * residuos de conservación de madera (hidrocarburos poliaromáticos), principalmente creosota.
 - * lodos de las unidades de separación de aceite.
 - * pesticidas (excepto los compuestos altamente clorados).
- hidrocarburos aromáticos halogenados.

La remoción de hidrocarburos aromáticos poliaromáticos en pruebas piloto se ha encontrado que depende del número de anillos aromáticos; se han alcanzado remociones de 82 a 99% para compuestos con cuatro anillos o menos mientras que sólo de 34 a 78% para compuestos con 5 o 6 anillos.

Costos reportados

A manera de ejemplo, se presentan los costos de operación y de proyecto reportados por la EPA (1996) para la descontaminación de un sitio en Canton, Ohio. Los costos de diferentes sitios presentan gran variación y sólo pretenden servir como referencia.

Costos de operación*

| Categoría | Preparación del suelo | Tratamiento en el reactor |
|--------------|-----------------------|---------------------------|
| Mano de obra | \$ 260 -304 | \$ 87 -130 |
| Operación | \$ 174 -217 | \$ 217-260 |
| Análisis | < \$ 43 | \$ 43 - 87 |
| TOTAL | \$ 434 -521 | \$ 348 -478 |

Fuente: EPA (1996), Canton, Ohio

* Costos por tonelada.

Costos de proyecto*

| Concepto | Costo (\$/ton) |
|----------------------------------|----------------|
| Pruebas de tratabilidad | 130 |
| Ingeniería básica | 70 |
| Tratamiento | 478 |
| Desaguado de lodos | 434 |
| Preparación y clausura del sitio | 261 |
| Administración y soporte | 321 |
| TOTAL | 1694 |

Fuente: EPA (1996), Canton, Ohio

* Costos por tonelada.

REACTORES DE PELÍCULA FIJA

Estos reactores son semejantes a los utilizados en tratamiento de aguas residuales o para control de olores. La remoción de contaminantes se realiza estimulando el crecimiento de microorganismos adheridos a un medio fijo de características inertes. Entre los medios utilizados se incluyen plástico, piedra, madera, cerámica. Pueden operar en forma aerobia, anóxica o anaerobia. En el campo de bioremediación es una tecnología emergente, por lo que no hay ecuaciones de diseño establecidas.

Desempeño de los reactores de película fija

Se reportan las siguientes remociones alcanzadas:

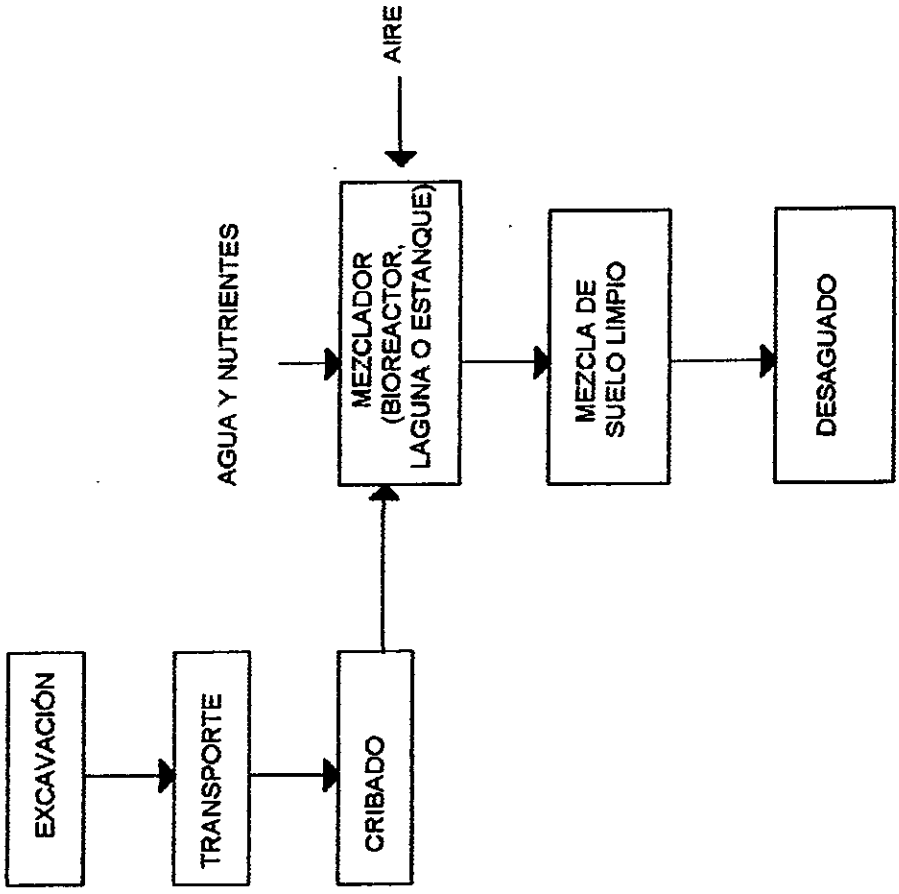
| Compuesto | Remoción * |
|---|-----------------|
| Hidrocarburos alifáticos | baja - moderada |
| Hidrocarburos aromáticos | moderada - alta |
| Alcoholes, aldehidos y cetonas | alta |
| Compuestos con azufre | moderada - alta |
| Hidrocarburos clorados (en bajas concentraciones) | baja - moderada |

Fuente: EPA (1996). * alta > 95% moderada 85-95% baja < 85%

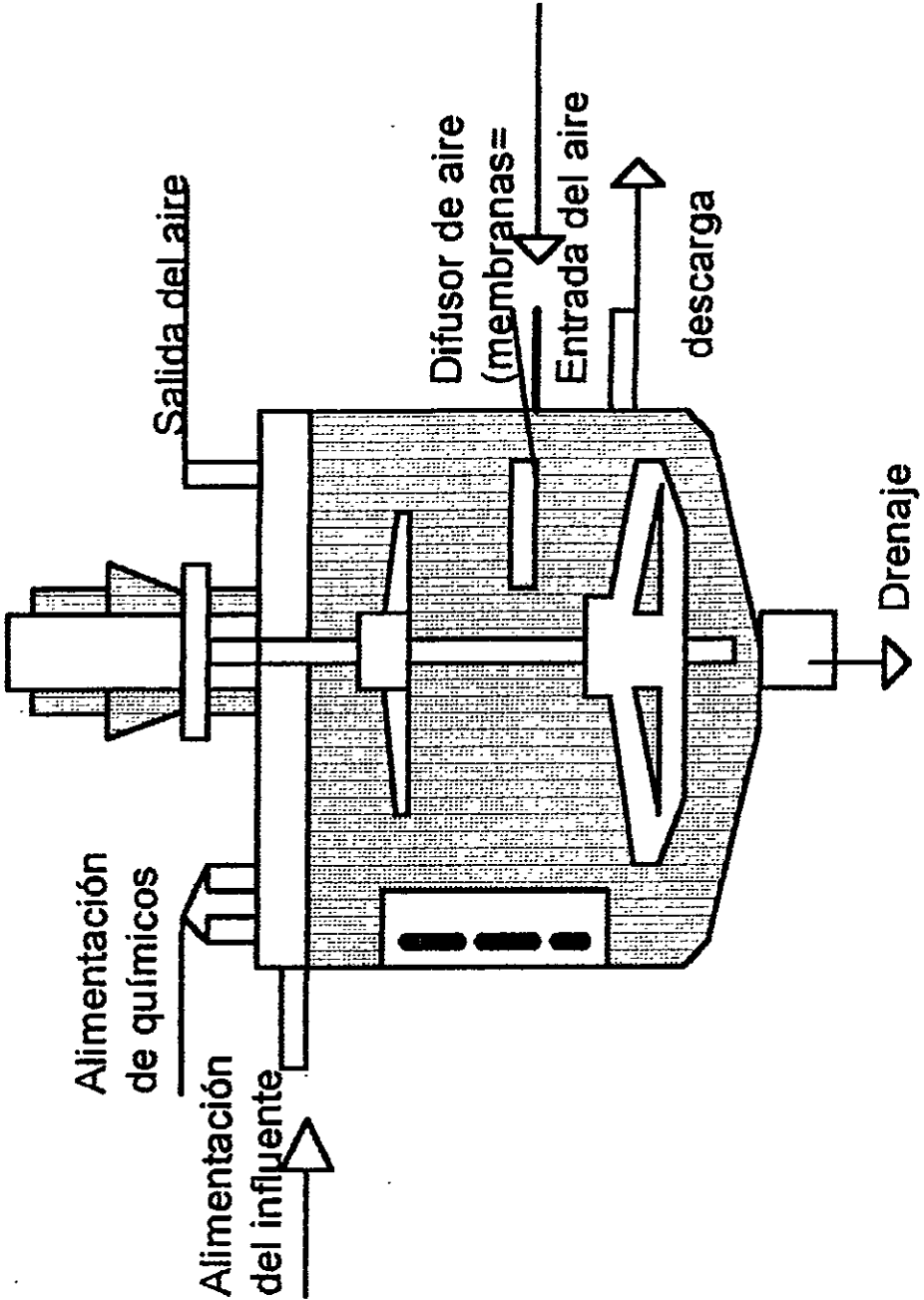
Costos de los reactores de película fija

No se encontraron datos de costos de tratamiento. Se indica cualitativamente que los costos de proyecto son semejantes a los de adsorción con carbón activado pero los costos de operación son bastante menores (EPA, 1996).

TÉCNICA DE BIOREMEDIACIÓN "EX SITU"



BIOREACTOR



CONCLUSIONES

Se concluye que la importancia de suministrar oxígeno en una bioremediación es determinante, ya que el oxígeno es consumido durante el metabolismo aerobio de los contaminantes orgánicos por los microorganismos.

Al incrementar artificialmente la oxigenación de ambientes subsuperficiales se incremento dramáticamente el crecimiento de bacterias heterotrópicas y la cantidad de gasolina biodegradada. Varias columnas fueron preparadas en condiciones idénticas usando 50 ml de arena mojada tamizada de 40 a 60 de malla. Un total de 50 ml de gasolina fue adicionado a cada columna y drenado completamente. Un promedio de 4.3 ml. de gasolina fue retenido en la columna. Las columnas fueron lavadas entonces con 2 L de nutrientes obtenidos de agua subterránea. Diferentes niveles de oxígeno fueron suministrados a las columnas usando aire, oxígeno y/o peróxido de hidrógeno disueltos en agua subterránea. Las columnas fueron conservadas a los niveles de oxígeno diseñados por dos semanas. Al término de los experimentos, las columnas fueron vaciadas y analizadas.

Dependencia de la degradación de la gasolina con los niveles de oxígeno.

| Oxígeno disponible ppm (promedio) | Gasolina biodegradada (gr) | Gasolina de salida (gr) | Gasolina total removida (gr) |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 8 | .338 | .71 | 1.048 |
| 40 | .508 | .77 | 1.278 |
| 112 | .773 | .59 | 1.363 |
| 200 | 1.272 | .49 | 1.762 |

Fuente: Richard A. Brown, Groundwater Technology, Inc.
R. Crosbie, Groundwater Technology, Inc.

Los primeros 11 meses de operaciones en una zona donde se derramó gasolina mostraron una reducción del 50 al 85% del contaminante orgánico. Cuando la reducción llegó al 85%, el tratamiento se estabilizó, la contaminación residual quedó en la fase adsorbida atrapada en las fracturas de las rocas del suelo, indicando que el burbujeo de aire es un sistema limitado en el tratamiento de la fase adsorbida, y también indica que el mantenimiento del sistema de burbujeo de aire es significativo y por lo tanto no es recomendable su aplicación en programas de períodos largos.

Donde la contaminación solo esta en fase disuelta, un sistema de burbujeo de aire es a menudo la mejor elección.

La bioremediación in situ de el agua subterránea impactada y los sedimentos a través de la adición de agua aereada suministrada con nutrientes y peróxido de hidrógeno muestra una reducción al 95% en los niveles de hidrocarburos disueltos en 5 meses de operación, con lo cuál se concluye que esta mezcla adicionada es muy efectiva tanto para la fase adsorbida como para la fase disuelta.

Mientras que el venteo es un buen método costo-efectivo, este es limitado para tratamiento de la zona vadosa. Consecuentemente, la efectividad de este tratamiento es limitada.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Airgram. United States Embassy in México, February, 1985. EO11652. Toxic Waste Problems in Mexico: Update Report (Post Reporting Program) February 1, 1985.
- 2.- Albert, L.; Badillo, G.F. Determinación de plomo y zinc en sedimentos del Río Blanco, Veracruz. *Revista Sociedad Química de México*, 29(4):200, 1985.
- 3.- Anderson, H. A. "Evolution and Environmental Epidemiologic Risk Assessment", *Environmental Health Perspectives*, 62:389-392, 1985.
- 4.- Biotechnology Bioremediation wast-water, April 1993, Vol. II.
- 5.- Buffler, P. A.; Crane, H.; Key, M.M. "Possibilities of detecting health effects by studies of populations exposed to chemicals from waste disposal sites". *Environmental Health Perspectives*. 62:423-456. 1985.
- 6.- Chaplain, D. G. "The Impact of hazardous Waste: An Overview of One Company's and One Community's Experience". *Economic Development Review* 7(3): 41-44 (1989).
- 7.- *Chemical Engineering*, 87(11):28, 1980.
Chemical Bussines (Supl. Chemical Marketing Reported) Jan. 11:25-30, 1982.
European Chemical News, 39(1058):22, 1982.
Chemical Age (London), 23:3, 1980.
New York Times, Jun 8, 1980.
Tweede Kamer zitting 1979-1980, 16 187, nrs 1-2.
- 8.- Cookson, J. T, *Bioremediation Engineering. Design and application*, McGraw-Hill Inc., 1995.
- 9.- Cortinas de Nava, C. *Cáncer, Herencia y Ambiente*, Fondo de Cultura Económica. México, D.F. (en prensa).
- 10.- *Development Document for Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Metal Finishing Point Source Category*, EPA 4410/1-83/091, June 1983.
- 11.- Doll, R. And Peto, R. "The causes of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today". *Journal of the National Cancer Institute*, 66:1194-1308, 1981.
- 12.- EPA "Hazardous Waste land Treatment" Solid & Hazardous Waste Research Division, Municipal Environmental Research Laboratory, Environmental Protection Agency, SW-874. (1980).
- 13.- EPA "Geographic Information Systems (GIS) Guidelines Document". Environmental Protection Agency, Office of Information and Research Management, ORIM-88-01 (1992)
- 14.- French, J.G.; et al. (Center for Enviromental Health Center for Profesional Development and Centers for Disease Control 1 600 Clifton Road Atlanta, Ga. 30333. USA). *A system for prevention assesment and control of exposures and health effects from hazardous sites. (S. P. A. C. E. For Health)*. 1984. I-81+ Apendices pp.

- 15.- González Cortés, A.; Neri, R.; Quiñones, A. ; Mendoza, J. Posibles daños a la salud de una Comunidad Abierta por Sales de Cromo en el Ambiente. II. Fisiología y patología del cromo. *Salud Pública de México*, 22(1):85-89, 1980.
- 16.- Gordon, A. J. *The Chemist Companion. A Handbook of Practical Data, Techniques and references*. John and Sons. New York, 1972, 537 pp.
- 17.- Harada. M. Minamata Disease: A Medical Report. en: Smith, W. E.; Smith, A. Minamata. An Alskog-Sensorium Book. Hait-Reinhardt and Wiston (Eds). New York, 1975.
- 18.- Hazardous Waste Disposal, House of Lords select Comitte on Science and Technology, July, 1981, en: Barnaby, W. Great Britain. Relying on luck to avert disaster. *Ambio*, 11(1):53-56, 1982.
- 19.- Holmes, G., B. Ramnire, & L. Theodore "Handbook of Environmental Management and Treatment". John Willey & Sons, E.U.A. (1993).
- 20.- INEGI "Nuevo León , Perfil Socioeconómico, XI Censo General de Población y Vivienda, 1990". Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. (1992).
- 21.- J. W. Patterson et al., "Carbonate Precipitación for Heavy metals Pollutants," *J. Water Pollut. Control Fed.*, December 1977.
- 22.- Love Canal: A chronology of events that shaped a movement. Compiled by the Love Canal Homeowners Association, Citizens Clearinghouse for Hazardous Waste Inc. A Grassroots Environmental Crisis Center. Arlington Va. 22216. 1984.
- 23.- Luthy, R. G., Bioremediation Engineering. Carnegie Mellon University. 1995.
- 24 ** Managing the Risks of Hazardous Waste. Chapter 6. Technologies and Management Strategies for Hazardous Waste. Congress of the United States. Office of Technology Assesment. Washington, D. C.: 221-259, 1983.
- 25.- M. Y. Espindola Zepeda; G. Fernández Villagómez. Procesos fisicoquímicos para Estabilización de residuos peligrosos, Centro Nacional de Prevención de Desastres. Marzo de 1994
- 26.- Neri, R. *et. al.* Daños a la salud de los trabajadores de una fábrica de cromatos. *Salud Pública de México*, 22(2): 135-141, 1980.
- 27.- Neri, R.; *et. al.* Posibles daños a la salud de una comunidad abierta por sales de cromo en el ambiente. IV. Investigación en la población de Lechería-San Francisco Chilpan. *Salud Pública de México*, 24(1): 27-31, 1982. Fuente:
- 28.- Neri, R.; González Cortés, A.; Gosset, G.; Quiñones, A. Posibles Daños a la Salud de una comunidad Abierta, por sales de Cromo en el Ambiente. I. Programa de Investigación epidemiológica comprensiva. *Salud Pública de México*. 22(1):81.84, 1980.
- 29.- Neri, R.; González Cortés, A.; Quiñones, A. ; Daños a la Salud de los Trabajadores de una Fábrica de Cromatos. *Salud Pública de México*. 22(2):135-141, 1980.

- 30.- Neri, R.; González Cortés, A.; Quiñones, A. ; Posibles daños a la salud de una Comunidad Abierta por Sales de Cromo en el Ambiente.IV. Investigación en la población de Lechería-San Francisco Chilpan. Salud Pública de México, 24(1):25-32, 1982.
- 31.- Ochoa Solano, A.; Halfter, G.; Ibarra, R. Estudios de la Contaminación en el bajo Río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. Primer seminario sobre evaluación de la contaminación ambiental. Centro de Capacitación de Personal de la CFE Atlhuetzia, Tlax., 21-24 de octubre de 1971. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D.F. 1972, 115-+pp.
- 32.- Odum, E. P. Fundamentals of Ecology. Saunders Philadelphia, 1971.
- 33.- Office of technology Assessment EUA, 1981.
- 34.- O'Leary, P. & P. Walsh "Solid Waste Landfill" Solid and Hazardous Waste Education Center, University of Wisconsin, Lecture 5 & 9. (1991).
- 35.- Ortiz Fernando M., Cortinas Cristina, Maffey María de Lourdes, "Manejo de los Desechos Industriales Peligrosos en México", ed. Universo veintiuno, 1987.
- 36.- Páramo Figueroa, V.H. Contaminación por plomo en la vecindad de una fundidora de baterías. Trabajo presentado en el coloquio sobre evaluación de riesgos derivados de la exposición a plomo. UNAM Inst. de Investigaciones Biomédicas, México, marzo 27-30. 1985.
- 37.- Pérez Zapata, A. J. La contaminación por plomo en Coatzacoalcos. Ciencia y Desarrollo, 9(52):80-86,1983.
- 38.- Proposed Guidelines for Exposure Assessment. (FRL-2706-5). Environmental Protection Agency, Preliminary Draft, 1984.
- 39.- Proposed Guidelines for the Health Risk Assessment to Chemical Mixtures (FRL-2742-8) Federal Register. 50(6): 1170-1176, 1985.
- 40.- Proyecto de reglamento, 1983.
- 41.- Reporte de la atención a la queja presentada por los vecinos de la Delegación de Tlahuac en relación a una fábrica dedicada a la recuperación de solventes. Comisión de Ecología, DDF, 1985.
- 42.- Resource Conservation and Recovery Act of 1976, Public Law 94-580, Environmental Reporter, Bureau of National Affairs, Inc., Washington, D.C. 71: 3101 (1984).
- 43.- Roger D. Griffin, Principles of Hazardous Materials Management, Lewis Publishers.
- 44.- R. K. Dart and R. J. Stretton, Aspectos Biológicos en el control de la contaminación, ed. Eisevier.
- 45.- Schnider, D., Billingsley, R., Bioremediation. A desk Manual for the Environmental Professional. Cahners Publishing Company, 1990.
- 46.- SEDESOL. "Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1991-1992". Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología. México (1993).

- 47.- SEDESOL "Norma Oficial Mexicana- CRP-004-ECOL/93". Secretaría de Desarrollo Social (1993).
- 48.- Shapiro, S. "UK's Waste Dump Laws as less Effective than Other Nations Rules". Business Insurance 23(16):43-44. (1989).
- 49.- Solid Waste Disposal Act, 1984.
- 50.- Stellman, J. M.; Daum, S. M. "The human body and occupational diseases". Work in dangerous for your health. Vintage Books, New York:17-75, 1973.
- 51.- United States Environmental Protection Agency. Seminars. Bioremediation of Hazardous Waste Sites: Practical Approaches to Implementation. EPA/625/K-96/001.1996.
- 52.- Vega, S. Toxicocinética III. Evaluación Epidemiológica de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales. Centro Panamericano de ecología Humana. OPS/OMS. Metepec, 1985, 40 pp.
- 53.- Vega, G.S. Evaluación Epidemiológica de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales. 6. Toxicología III. Aspectos específicos de la toxicología de algunos contaminantes. Centro Panamericano de Ecología Humana. OPS/OMS, Metepec.:35-39, 1985.
- 54.- Vega G.S. Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. 10. Toxicología IV. Carcinogénesis química. Centro Panamericano de Ecología Humana. OPS/OMS.: 27-31, 1985.
- 55.- Weisser, T. Contaminación del Río Blanco y azolvamientos en plantas hidroeléctricas por los desechos sólidos. *Uno más uno*, abril 30, 1984.
- 56.- Weisser, T. Severos daños a ríos del país pese a que la industria aún no se desarrolla. *Uno más uno*, mayo 7, 1984.
- 57.- Zegel, W.C. Hazardous Waste Management. An Overview of Hazardous Waste Issues. Journal of the Air Pollution Control Association, 35(1):51-54, 1985.

FUENTES HEMEROGRÁFICAS

- 1.- Excélsior, junio 4, 1984.
- 2.- Excélsior, septiembre 4, 1984.
- 3.- Uno más uno, marzo 8, 1985.

SIGLAS

CCME

Consejo de Ministros del Ambiente
de Canadá

CDC

Centers for Disease Control.
Centros para el Control de Enfermedades.

CERCLA

Comprehensive Environmental
Responses and Liability Act.
Acta de Respuesta Ambiental,
Compensaciones y Responsabilidad Civil.

CFE

Comisión Federal de Electricidad.

CHEMTREC

Chemical Transportation Emergency Center.
Centro para Emergencias Químicas
durante su Transporte.

CNSNS

Comisión Nacional de Seguridad Nuclear
y Salvaguardas.

DIP

Desechos Industriales Peligrosos.

DOT

Department of Transporte.
Departamento de Transporte

EEC

Economic European Community.
Comunidad Económica Europea.

OSHA

Seguridad Ocupacional y Admi-
nistración Ocupacional.

OSWER

Office of Solid Waste and Emer-
gency Response.
Oficina de Desechos Sólidos
y Respuestas a Emergencias.

PBB

Bifenilos Polibromados.

PCB

Bifenilos Policlorados.

PEMEX

Petróleos Mexicanos.

PNUMA

United Nations Environmental
Programme.
Programa de Naciones Unidas
para el Medio Ambiente.

RCRA

Resources Conservation and
Recovery Act.
Acta para la Conservación de
Recursos y Recuperación.

SCT

Secretaría de Comunicaciones y
Transporte.

SEDESOL

Secretaría de Desarrollo Social.

EPA

Environmental Protection Agency
Agencia de Protección Ambiental.

ERT

Environmental Response Team.
Equipo de Respuesta a Emergencias
Ambientales.

HRSD

Hazardous Response Support División.
División de Apoyo y Soporte a Peligros.

IMSS

Instituto Mexicano del Seguro Social.

INIREB

Instituto Nacional de Recursos Bióticos.

ISSSTE

Instituto de Seguridad y Servicios Sociales
de la Salud para Trabajadores.

LGEEPA

Ley General del Equilibrio Ecológico y
Protección al Ambiente.

LFPA

Ley Federal de Protección Ambiental.

LRACMN

Ley en Materia Nuclear.

LRCNDN

Ley de Responsabilidad Nuclear.

NIH

National Institutes of Health.
Institutos Nacionales de Salud.

OECD

Organization for Economic Cooperation and Development.
Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo.

SEMARNAP

Secretaría del Medio Ambiente
Recursos Naturales y Pesca.

SEDUE

Secretaría de Desarrollo Urbano
y Ecología.

SS

Secretaría de Salud.

TSCA

Acta de Control de Sustancias Tóxicas.

UNAM

Universidad Nacional Autónoma
de México.

UNEP

United Nations Environmental
Programme.
Programa de Naciones Unidas
para el Medio Ambiente.

WHO

World Health Organization.
Organización Mundial de la Salud.

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Absorción (físicoquímica).- La retención de una sustancia dentro de otra generalmente porosa e inerte.

Absorción (fisiología).- La introducción de una sustancia a la corriente sanguínea o al sistema linfático a través de las vellosidades del intestino delgado o de otras membranas.

Adsorción (físicoquímica).- La retención de una sustancia en la superficie de otra generalmente porosa y con la capacidad de formar coloides (por ejemplo: sílica gel, alumina, carbón activado).

Agua desionizada o desmineralizada.- El agua no presenta interferencia en las determinaciones de los constituyentes que se van a analizar.

Ambiente.- El conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinado.

Anoxia.- Falta de oxígeno.

Bioensayo.- Una prueba de la efectividad de una sustancia, comparando su efecto sobre un organismo, contra una preparación estándar.

Carcinogénesis.- La transformación maligna de las células con capacidad de crecer indefinidamente provocando la formación de grandes poblaciones que puedan invadir otros tejidos distintos al del origen. Las células cancerosas tienen características bioquímicas e inmunológicas diferentes de las normales.

Catabolismo.- Fase del metabolismo en la cual las moléculas complejas se rompen y dan lugar a moléculas más simples.

Catálisis.- Modificación de la velocidad de una reacción hecha por una sustancia que permanece inalterable.

CRETIB.- Clasificación de las características que contienen los residuos peligrosos y que significan: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológicos infecciosos.

Esfingolípidos.- Ésteres del alcohol esfingosina que contienen nitrógeno; contienen un enlace de ácido graso tipo amida (ceramida).

Fosfolípidos.- Ésteres de glicerol y ácidos grasos. El tercer grupo hidroxilo está esterificado con ácido fosfórico.

Fuente no específica.- Actividades que generan residuos peligrosos y que pueden aplicarse a diferentes giros o procesos.

Heterótrofo.- Organismo incapaz de elaborar sus nutrientes. Hongos, ciertos protistas, y la totalidad de los animales.

Incompatibilidad.- Reacciones violentas y negativas para el equilibrio ecológico y el ambiente, que se producen con motivo de la mezcla de dos o más residuos peligrosos.

Inocuos.- Lo que no hace daño.

Lípidos.- Compuestos poco solubles en agua, solubles en grasas y solventes no polares, (grasas, fosfolípidos y esfingolípidos)

Liposolubles.- Compuestos solubles en grasas y solventes no polares.

Metabolismo.- Conjunto de reacciones químicas efectuadas en el interior de cada célula de un organismo.

Las reacciones son de dos tipos: anabólicas, que consumen energía, y catabólicas, que liberan energía.

Morfología.- Parte de la biología que trata de la forma de los seres orgánicos y de sus modificaciones y transformaciones.

Mutagénesis.- Las modificaciones en la secuencia de las bases nitrogenadas que constituyen el material genético. Estas modificaciones pueden darse en los genes (unidades de información) o en los agrupamientos de genes denominados cromosomas. Las mutaciones pueden resultar de la acción directa de agentes químicos sobre el material genético o sobre otros componentes celulares ligados a él funcionalmente.

Nivel freático.- Capa de aguas acumuladas en el subsuelo sobre un lecho impermeable, que puede aprovecharse por medio de pozos.

Niveles permisibles.- Se define como la concentración considerada segura y que se expresa como una dosis de exposición en un tiempo promedio.

Por ciento de Sólido.- La fracción de un muestra que se retiene en el filtro al aplicar el procedimiento de filtración.

Proceso.- Conjunto de actividades físicas o químicas relativas a la producción, obtención, acondicionamiento, envasado, manejo y embalado de productos intermedios o finales.

Progenie.- Descendencia.

Protista.- Reino de los seres unicelulares con características de animal y vegetal.

Prueba de Extracción (PECT).- El procedimiento de laboratorio que permite determinar la movilidad de los constituyentes de un residuo, que lo hacen peligroso por su toxicidad al ambiente.

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

Residuos Peligrosos.- Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológico infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

Solución Acuosa.- Mezcla en la cual el agua es el componente primario y constituye por lo menos el 50% en peso de la muestra.

Teratogénesis.- Cambios provocados por sustancias u organismos, que dañan a las células en desarrollo y se manifiestan como malformaciones congénitas, alteraciones en el desarrollo embrionario o aborto.

ANEXO A

LEGISLACIÓN

AMBIENTAL

NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE

RESIDUOS PELIGROSOS

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Con el avance de la tecnología moderna, el mundo se ha internacionalizado en cuanto a la producción y desecho de mercancías, a tal punto, que los conceptos de Estado y Nación, así como las fronteras entre los países, se vuelven cada día menos claros.

El tráfico internacional de materiales de desecho es extenso en gran parte por la venta de desperdicios a países donde todavía se les considera lo suficientemente valiosos para recuperarlos y se da también por el movimiento transfronterizo hacia países donde se pueden dar tratamientos o realizar disposiciones finales.

El modelo de desarrollo, los estilos de vida y los satisfactores para las necesidades están envueltos en un concepto de *diseño, producción, uso y desecho* dominado por los países industrializados, influido esto por la internacionalización de la producción de empresas multinacionales y por la creciente deuda externa de los países subdesarrollados.

Los países desarrollados como EUA, la URSS, los países centro-europeos y Japón tienen una gran herencia de sitios contaminados, donde se produjeron o desecharon sustancias químicas y han tenido que afrontar la presión pública, cerrar instalaciones y llevar a cabo tareas de limpieza y control de tales sitios. Esto ha dado como resultado que se dicten normas más estrictas para el control y desecho de sustancias tóxicas y que los costos para eliminarlas se eleven considerablemente. De ahí que muchas empresas que tratan de eliminarlas, hayan cambiado los centros de sus operaciones o exportado sus desechos hacia países con legislaciones más flexibles y con costos menores para la disposición de desechos industriales.

Las evidencias de traslado de desechos de un país hacia otro están documentadas en la literatura y se sabe de:

- Desechos provenientes de Holanda encontrados en el Reino Unido
- Desechos de Estados Unidos almacenados en México
- Desechos de Dioxinas provenientes de Seveso, Italia, encontrados en Francia.

Los países subdesarrollados son particularmente susceptibles a recibir desechos provenientes de otros lugares, o de permitir la instalación de plantas con procesos que involucran serios riesgos. Por ejemplo: desechar DIP (Desechos Industriales Peligrosos) en países miembros de la Comunidad Económica Europea cuesta alrededor de 200 dólares por tonelada, mientras que éstos se pueden evacuar en la República Democrática Alemana por 5 dólares/tonelada o en Ghana por sólo 3 dólares/tonelada, en México el costo para la disposición final es de decenas de dólares por tonelada, mientras que en Estados Unidos es de cientos de dólares.

Partiendo de la base de que México tiene una frontera de más de 3000 kilómetros con el país más industrializado y mayor generador de DIP en el mundo y que además la regionalización hecha por la EPA indica que los estados de la Unión Americana que generan más DIP son precisamente los fronterizos con México, es básico comprender que la única manera en que se dé un manejo adecuado de los DIP es por medio de legislaciones que permitan su manejo y control utilizando sistemas compatibles. Ha sido documentado que los DIP son capaces de vencer la "leyes físicas" y que no necesariamente fluyen a los puntos más bajos por gravedad, sino que son transportados a donde es más barata para el emisor su disposición final.

La política de residuos peligrosos buscará principalmente proteger la salud pública y los ecosistemas mediante la prevención de su generación, fomentando políticas de minimización, reciclaje y recuperación de materiales secundarios o de energía. Así mismo, se deberá prever la promoción de inversiones en infraestructura para el manejo y disposición de residuos peligrosos, buscando integrar cadenas productivas en donde los generadores se responsabilicen del costo de su manejo adecuado, así como generar nuevas ramas de actividad económica y oportunidades de empleo.

LEGISLACIÓN MEXICANA Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL

LEGISLACIÓN MEXICANA PARA MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS APLICABLE A LA INDUSTRIA QUÍMICA

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)

Fecha de Expedición: 28 de enero de 1988

TÍTULO IV Protección al ambiente

Capítulo VI Materiales y Residuos Peligrosos

Art. 150.- Los materiales y residuos peligrosos deberán ser manejados con arreglo a la presente ley, su Reglamento y las *normas oficiales mexicanas* que expida la Secretaría, previa opinión de las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, de Comunicaciones y Transporte de Marina y de Gobernación. La regulación del manejo de esos materiales y residuos incluirá según corresponda, su uso, recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje, tratamiento y disposición final.

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

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

Art. 151.- La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera. En el caso de que se contrate los servicios de manejo y disposición final de los residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría y los residuos sean entregados a dichas empresas, la responsabilidad por las operaciones será de éstas independientemente de la responsabilidad que, en su caso, tenga quien los generó.

Quiénes generen, reusen o reciclen residuos peligrosos, deberán hacerlo del conocimiento de la Secretaría en los términos previstos en el Reglamento de la presente ley.

En las autorizaciones para el establecimiento de confinamientos de residuos peligrosos, sólo se incluirán los residuos que no puedan ser técnica y económicamente sujetos de reuso, reciclamiento o destrucción térmica o físico química, y no se permitirá el confinamiento de residuos peligrosos en estado líquido.

Art. 151 BIS.- Requiere autorización previa de la Secretaría:

1.- La prestación de servicios a terceros que tenga por objeto la operación de sistemas para la recolección, almacenamiento, transporte, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos;

II.- La instalación y operación de sistemas para el tratamiento o disposición final de residuos peligrosos, o para su reciclaje cuando éste tenga por objeto la recuperación de energía, mediante su incineración, y

III.- La instalación y operación, por parte del generador de residuos peligrosos, de sistemas para su reuso, reciclaje y disposición final, fuera de la instalación en donde se generaron dichos residuos.

Art. 152.- La Secretaría promoverá programas tendientes a prevenir y reducir la generación de residuos peligrosos, así como a estimular su reuso y reciclaje.

En aquellos casos en que los residuos peligrosos puedan ser utilizados en un proceso distinto al que los generó, el Reglamento de la presente Ley y las normas oficiales mexicanas que se expidan, deberán establecer los mecanismos y procedimientos que hagan posible su manejo eficiente desde el punto de vista ambiental y económico.

Los residuos peligrosos que sean usados, tratados o reciclados en un proceso distinto al que los generó, dentro del mismo predio, serán sujetos a un control interno por parte de la empresa responsable, de acuerdo con las formalidades que establezca el Reglamento de la presente Ley.

En el caso de que los residuos señalados en el párrafo anterior, sean transportados a un predio distinto a aquél en el que se generaron, se estará a lo dispuesto en la normatividad aplicable al transporte terrestre de residuos peligrosos.

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

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente en Materia de Residuos Peligrosos

Fecha de Expedición: 25 de noviembre de 1988

- Art. 10.- Se requiere autorización previa de la Secretaría para la instalación y operación de sistemas para el tratamiento o disposición final de residuos peligrosos.
- Art. 11.- Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación, previo a la autorización deberán presentar a la Secretaría la Manifestación de Impacto Ambiental prevista en el artículo 28 de la Ley, para el proyecto de las obras respectivas, de conformidad con el Reglamento de Impacto Ambiental.
- Art. 12.- Las personas autorizadas deberán presentar previo al inicio de operaciones:
- I. Un programa de capacitación de personal responsable del manejo y equipo relacionado
 - II. Documentación que acredite al responsable técnico, y
 - III. Un programa para atención a contingencias.
- Art. 13.- El generador podrá contratar los servicios de empresas de manejo de residuos peligrosos, que deberán contar con autorización previa de la Secretaría y serán responsables, por lo que toca a la operación de manejo en que intervengan, del cumplimiento de lo dispuesto en el Reglamento y Normas Oficiales Mexicanas.
- Art. 14.- Para el almacenamiento y transporte de residuos peligrosos los deberá envasar de acuerdo a su estado físico, con sus características de peligrosidad, y tomando en consideración su incompatibilidad con otros residuos, en envases:
- que reúnan condiciones de seguridad, e
 - identificados con nombre y características.
- Art. 16.- Áreas de almacenamiento cerradas no deben existir conexiones con drenajes en el piso, válvulas de drenaje, juntas de expansión, albañales o cualquier otro tipo de apertura que pudieran permitir que los líquido fluyan fuera del área protegida.
- Art. 17.- Áreas de almacenamiento abiertas, los pisos deben ser lisos y de material impermeable en la zona donde se guarden los residuos y de material antiderrapante en los pasillos. Éstos deben ser resistentes a los residuos peligrosos almacenados, y no deberán estar localizadas en sitios por debajo del nivel de agua alcanzado en la mayor tormenta registrada en la zona, más un factor de seguridad de 1.5.
- Art. 18.- Áreas abiertas no techadas, no deberán almacenarse residuos peligrosos a granel, cuando éstos produzcan lixiviados.
- Art. 19.- Se prohíbe almacenar residuos peligrosos en cantidades que rebasen la capacidad instalada de almacenamiento, y en áreas que no reúnan las condiciones previstas en los artículos 15 y 16 del reglamento.

- Art. 31.- La disposición final se hará a sistemas específicos para ello:
- I. Confinamientos controlados,
 - II. Confinamientos en formaciones geológicas estables, y
 - III. Receptores de agroquímicos.
- Art. 34.- Una vez depositados en un sistema de disposición final, el generador y la empresa de servicios, deberán presentar un reporte mensual:
- I. Cantidad, volumen y naturaleza,
 - II. Fecha de disposición final,
 - III. Ubicación del sitio de disposición final, y
 - IV. Sistema de disposición final utilizado.
- Art. 39.- Se prohíbe la disposición final de bifenilos policlorados en confinamientos controlados. Sólo podrán destruirse bajo cualquiera de los siguientes métodos:
- I. Químicos catalíticos, bajas concentraciones,
 - II. Incineración, cualquier concentración.
- Art. 42.- Cuando se produzcan derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de residuos peligrosos, se deberá dar aviso inmediato de los hechos a la Secretaría; aviso que deberá ser ratificado por escrito dentro de los tres días siguientes al día en que ocurran los hechos.

DOCUMENTOS LEGALES APLICABLES A RESIDUOS PELIGROSOS

Generalidades

- * Manifiesto para Empresas Generadoras de Residuos Peligrosos
- * Guía ecológica, para todos los Materiales y Residuos Peligrosos Importados y Exportados.
- * Manifiesto de Entrega, Transporte y Recepción de Residuos Peligrosos
- * Encuesta Industrial
- * Normas Oficiales Mexicanas.

NORMAS OFICIALES MEXICANAS ECOLÓGICAS APLICABLES A RESIDUOS PELIGROSOS.

NOM-052-ECOL/93 (NTE-CRP-001/88)

- Expedición: 22 de octubre de 1993.
- Por acuerdo publicado en el D.O.F. el 29 de noviembre de 1994 se reforma la nomenclatura: NOM-CRP-001-ECOL/1993
- Esta norma aboga el acuerdo por el que se expidió la NTE-CRP-001/88 (Norma Técnica Ecológica para la Clasificación y listado de Residuos Peligrosos).

Objetivo

- 1.- Establece las características de los residuos peligrosos, listados de las mismas y los límites que hacen a un residuo peligrosos por su toxicidad al ambiente.
- 2.- Es de observancia obligatoria en la definición y clasificación de residuos peligrosos.

Clasificación

- a.- El procedimiento a seguir por el generador de residuos para determinar si son peligrosos o no.
- b.- En casos específicos y a criterio de la Secretaría de Desarrollo Social * , podrán ser exceptuados aquellos residuos que habiendo sido listados como peligrosos, puedan ser considerados como no peligrosos porque no exceden los parámetros establecidos para ninguna de las características indicadas en el inciso e.
- c.- Los residuos peligrosos, atendiendo a su fuente generadora, se clasifican en residuos peligrosos por giro industrial y por procesos.
- d.- Para fines de identificación y control, los residuos determinados en el inciso e, se denominarán como se indica a continuación:

| Características | No. SEDESOL |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Corrosividad (C) | P-01 |
| Reactividad (R) | P-02 |
| Explosividad (E) | P-03 |
| Toxicidad al ambiente (T) | Correspondiente al contaminante |
| Inflamabilidad (I) | P-04 |
| Biológico-Infecioso (B) | P-05 |

e.- Además de los residuos peligrosos ya mencionados, se considerarán peligrosos aquéllos que presenten una o más de las características mencionadas en la tabla anterior atendiendo a los siguientes criterios:

CORROSIVIDAD

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.

REACTIVIDAD

- Bajo condiciones normales (25°C y 1 atm.), se combina o polimeriza violentamente sin detonación.

En condiciones normales (25°C y 1 atm.) cuando se pone en contacto con agua en relación residuo/agua de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.

* Ahora SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca)

Bajo condiciones normales cuando se ponen en contacto con soluciones de pH; ácido (HCl 1.0N) y básico (NaOH 1.0N), en relación (residuo/solución) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.

Posee en su constitución cianuros o sulfuros que cuando se exponen a condiciones de pH entre 2.0 y 12.5 pueden generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades de 250 mg de HCN/Kg. de residuo o 500 mg de H₂S/Kg. de residuo.

- Es capaz de producir radicales libres.

EXPLOSIVIDAD

- Tiene una constante de explosividad igual o mayor a la del 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).

TOXICIDAD AL AMBIENTE

Al hacer la prueba de extracción para toxicidad, conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-002-ECOL/1993, el lixiviado de la muestra representativa que contenga cualquiera de los constituyentes tóxicos en concentraciones mayores a los límites.

INFLAMABILIDAD

- En solución acuosa contiene más del 24% de alcohol en volumen.

- 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 (a 25°C y 1.03 Kg./cm²).

- se trata de gases comprimidos inflamables o agentes que estimulan la combustión.

BIOLOGICO-INFECCIOSOS

- Cuando el residuo contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección.

- Cuando contiene toxinas producidas por microorganismos que causan efectos nocivos a seres vivos.

* La mezcla de un residuo peligroso conforme a la norma con un residuo no peligroso será considerada residuo peligroso.

MANEJO

Los residuos que hayan sido clasificados como peligrosos y los que tengan las características de peligrosidad conforme a esta norma deberán ser manejados de acuerdo a lo previsto en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, las normas oficiales mexicanas correspondientes y demás procedimientos aplicables.

NOM-053-ECOL/93 (NTE-CRP-002/88)

- Expedición: 22 de octubre de 1993.

- Por acuerdo publicado en el D.O.F. el 29 de noviembre de 1994 se reforma la nomenclatura: NOM-CRP-002-ECOL/1993

- Esta norma abroga el acuerdo por el que se expidió la NTE-CRP-002/88.

Objetivo

- 1.- Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- 2.- Es de observancia obligatoria en la generación y manejo de residuos peligrosos.

Resumen del Método PECT (Prueba de Extracción)

1.- El método PECT se resume en forma simplificada.

1.1.- Para residuos líquidos después de la filtración a través de un filtro de fibra de vidrio de 0.6 a 0.8 micrómetros, el filtrado se define como el extracto PECT.

1.2.- Para residuos que contienen 0.5% o más de sólidos, el líquido se separa de la fase sólida y se preserva para su posterior análisis; el tamaño de la partícula de la fase sólida se reduce en caso de ser necesario. La fase sólida se lleva al proceso de extracción con una cantidad del reactivo de extracción igual a 20 veces el peso de los sólidos. El reactivo de extracción empleado estará en función de la alcalinidad de la fase sólida y del tipo de residuos analizado.

1.3.- Si la fase líquida inicial del residuo y el extracto son compatibles (no forman fases múltiples al combinarse) se pueden mezclar y analizar juntos. Si son incompatibles, se analizan separadamente y los resultados se combinan matemáticamente para obtener una concentración promedio en volumen.

1.4.- Si al efectuarse un análisis físico-químico completo del residuo en cuestión no se encuentran en el mismo los constituyentes regulados en la NOM-CRP-001-ECOL/1993, o están presentes a bajas concentraciones de modo que no rebasan en los límites máximos permisibles, no es necesario llevar a cabo la prueba de extracción.

MUESTREO

1.- Se deben coleccionar en los términos de la NOM aplicable, un mínimo de dos muestras representativas del residuo a analizar; la primera muestra se emplea para las pruebas preliminares, la segunda se emplea para la extracción.

2.- Las muestras y los extractos obtenidos deben ser preparados para el análisis tan pronto como sea posible. Si se requiere preservación, ésta debe ser mediante refrigeración a 4°C y por un periodo máximo de 14 días.

3.- Cuando el residuo va a ser evaluado para compuestos volátiles, se debe tener cuidado para minimizar las pérdidas de éstos. Las muestras deberán ser recolectadas y preservadas de modo que se prevenga la pérdida de compuestos volátiles (p.ej. tomar en frascos sellados y preservar a 4°C).

4.- Los extractos o porción de ellos para la determinación de metales, deben acidificarse con ácido nítrico a un pH menor de 2.

5.- En ningún caso se le deben agregar sustancias para preservar la muestra antes de la extracción.

NOM-054-ECOL/93 (NTE-CRP-003/88)

- Expedición: 22 de octubre de 1993.

- Por acuerdo publicado en el D.O.F. el 29 de noviembre de 1994 se reforma la nomenclatura: NOM-CRP-003-ECOL/1993

- Esta norma abroga el acuerdo por el que se expidió la NTE-CRP-003/88.

Objetivo

1.- Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más de los residuos considerados como peligrosos por la NOM-CRP-001-ECOL/1993.

2.- Es de observancia obligatoria en la generación y manejo de residuos peligrosos.

Residuos incompatibles. El reglamento de residuos peligrosos define este término como aquel que al entrar en contacto o ser mezclado con otro reacciona produciendo calor o presión, fuego o evaporación, o partículas, gases o vapores peligrosos, pudiendo ser esta reacción violenta.

PROCEDIMIENTO

* Para determinar la incompatibilidad entre dos o más de los residuos considerados como peligrosos de acuerdo con la NOM-CRP-001-ECOL/1993, se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- Se identificarán los residuos peligrosos dentro de alguno de los grupos reactivos.

- Hecha la identificación anterior, con base en la tabla de incompatibilidad, se interceptarán los grupos a los que pertenezcan los residuos.

- Si como resultado de las intersecciones efectuadas se obtiene alguna de las reacciones previstas en el Código de reactividad, se considerará que los residuos son incompatibles.

Residuos peligrosos clasificados por grupo reactivo

| N° de Grupo | Grupo reactivo | Sustancia |
|--------------------|---|---|
| 1 | Acidos minerales no oxidantes | Ácido fosfórico |
| 2 | Acidos minerales oxidantes | Acido nítrico, Ácido sulfúrico |
| 21 | Metales alcalinos, alcalinotérreos, elementales o mezclas | Calcio Mezclas de sodio y potasio |
| 25 | Nitruros | Nitruro de boro Nitruro de cobre |
| 30 | Peróxidos e hidroperóxidos orgánicos | Peróxido de acetilo Percarbonato de isopropilo |
| 107 | Sustancias reactivas al agua | Anhídrido acético Oxido de calcio |

Matriz de incompatibilidad por grupo reactivo

| | | | | | |
|------------------|----------|----------|------|----------|------|
| N° de gr. | | | | | |
| 1 | 1 | | | | |
| 2 | | 2 | | | |
| 21 | gf, H, F | gf, H, F | 21 | | |
| 25 | gf, H, F | H, F, E | E | 25 | |
| 30 | H, G | H, E | H, E | H, gf, F | 30 |
| 107 | | | Nota | Nota | Nota |

CÓDIGO DE REACTIVIDAD

donde:

- H Genera calor por reacción química.
- F Produce fuego por reacciones exotérmicas violentas y por ignición de mezclas o de productos de la reacción.
- G Genera gases en grandes cantidades y puede producir presión y ruptura de los recipientes cerrados.
- gf Genera gases inflamables.
- E Produce explosión debido a reacciones extremadamente vigorosas o suficientemente exotérmicas para detonar compuestos inestables o productos de reacción.
- Nota Extremadamente reactivo. No se mezcle con ningún residuo o material químico.

NOM-055-ECOL/93 (NTE-CRP-008/88)

- Expedición: 22 de octubre de 1993.
- Por acuerdo publicado en el D.O.F. el 29 de noviembre de 1994 se reforma la nomenclatura: NOM-CRP-004-ECOL/1993
- Esta norma aboga el acuerdo por el que se expidió la NTE-CRP-008/88.

Establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radiactivos.

ESPECIFICACIONES

- Geohidrológicos
- Hidrología Superficial
- Ecológicos
- Climáticos
- Crecimiento de Centros de Población
- Sísmicos
- Topográficos
- Acceso

NOM-056-ECOL/93 (NTE-CRP-009/88)

- Expedición: 22 de octubre de 1993.
- Por acuerdo publicado en el D.O.F. el 29 de noviembre de 1994 se reforma la nomenclatura: NOM-CRP-005-ECOL/1993
- Esta norma abroga el acuerdo por el que se expidió la NTE-CRP-009/88.

Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

OBRAS COMPLEMENTARIAS

- Áreas de Acceso y Espera
- Cerca Perimetral y de Seguridad
- Caseta de Vigilancia
- Caseta de Pesaje y Báscula
- Laboratorio
- Caminos
- Área de Almacenamiento Temporal
- Área de Emergencia
- Área de Limpieza

NOM-057-ECOL/93 (NTE-CRP-010/88)

- Expedición: 22 de octubre de 1993.
- Por acuerdo publicado en el D.O.F. el 29 de noviembre de 1994 se reforma la nomenclatura: NOM-CRP-006-ECOL/1993
- Esta norma abroga el acuerdo por el que se expidió la NTE-CRP-010/88.

Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

- Captación de Lixiviados
- Sistemas de Venteo
- Estiba no mayor a 7 m.
- Impermeabilización
- Muros de Contención
- Pendientes de Taludes
- Cubierta de la Celda.

RESTRICCIONES

- Sólo residuos previstos en la norma
- No incompatibles
- Explosivos estabilizados
- Inflamables Estabilizados
- A granel cuando el agua no exceda el 30%

- Contenido de aceite no superior al 5%
- No aceites con más del 25% de humedad.

NOM-058-ECOL/93 (NTE-CRP-011/88)

- Expedición: 22 de octubre de 1993.
- Por acuerdo publicado en el D.O.F. el 29 de noviembre de 1994 se reforma la nomenclatura: NOM-CRP-007-ECOL/1993
- Esta norma abroga el acuerdo por el que se expidió la NTE-CRP-011/88.

Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

REGISTROS

- Bitácora
- Libro de Registro de Pesaje
- Libro de Registro de Laboratorio
- Plano General con Proceso de Áreas y Celdas del Confinamiento
- Libro de Registro de Monitoreo

OPERACIÓN

- Manifiesto
- Pesaje
- Análisis
- Tratamiento
- Asignación de Área y Celdas
- Cierre de Celda

MONITOREO

- * *Monitoreo Permanente*
 - Pozos de Monitoreo
 - Sistemas de Venteo

Lixiviados detectados deberán extraerse para análisis, tratamiento y posterior confinamiento.

Registro de Monitoreo.

TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS INDUSTRIALES PELIGROSOS.

El transporte de materiales y residuos peligrosos, por el riesgo que implica esta actividad, esta contemplado desde la expedición de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente en 1988. Sin embargo el Reglamento de Transporte de Materiales y Residuos Peligrosos se expidió en 1993 y las normas oficiales mexicanas que establecen las características de materiales, envases, embalajes y unidades de transporte en 1994, faltando todavía algunas para completar el total.

La mayor parte de las normas oficiales referentes al transporte han sido expedidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. La mayoría de las normas concuerdan con las recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías peligrosas emitidas por la Organización de las Naciones Unidas.

Salvo contadas excepciones, las normas de transporte no realizan una distinción de los "materiales" y los "residuos" peligrosos, aplicándose para ambos las mismas disposiciones. Debido a esto, las normas de transporte utilizan una clasificación propia para las sustancias y residuos peligrosos.

A continuación se muestra el listado de las normas, reglamentos y disposiciones relacionadas con materiales y residuos peligrosos, organizadas en base al material normado.

| Marco Legal | Fecha en el Diario Oficial |
|--|-----------------------------------|
| - Ley General del Equilibrio Ecológico - Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico en materia de residuos peligrosos. | 28/ene/88 |
| - Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos. | 7/abril/93 |

| Normas Oficiales Mexicanas de la SCT relativas a las sustancias y residuos peligrosos | Fecha en el Diario Oficial |
|--|-----------------------------------|
| - NOM-002-SCT2/1994 (listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados). | 30/Oct/95 |
| - NOM-009-SCT2/1994 (Compatibilidad de sustancias de la clase 1 explosivos). | 25/Ago/95 |
| - NOM-025-SCT2/1994 (Disposiciones para sustancias de la clase 1 explosivos). | 22/Sep/95 |
| - NOM-027-SCT2/1994 (Disposiciones para las sustancias de la división 5.2 peróxidos orgánicos). | 23/Oct/95 |
| - NOM-028-SCT2/1994 (Disposiciones para las sustancias de la clase 3 Líquidos inflamables) | 4/Oct/95 |
| - NOM-087-ECOL-1994 (Establece los requisitos para el manejo de los residuos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica) | 19/Ago/94 |
| - NOM-021-SCT2-1994 (Transporte de bienes diferentes en unidades destinadas al transporte de sustancias y residuos peligrosos. | 25/Sep/95 |

| Normas Oficiales Mexicanas de la SCT relativas con envases y embalajes | Fecha en el Diario Oficial |
|--|-----------------------------------|
| - NOM-003-SCT2/1994 (Características de las etiquetas de envases y embalajes para el transporte de materiales y residuos peligrosos) | 21/Ago/95 |
| - NOM-007-SCT2/1994 (Marcado de envases y embalajes) | 18/Ago/95 |
| - NOM-024-SCT2/1994 (Especificaciones para la construcción y reconstrucción y métodos de prueba de envases y embalajes) | 16/Oct/95 |

| Normas Oficiales Mexicanas de la SCT relativas a las unidades de transporte. | Fecha en el Diario Oficial |
|--|-----------------------------------|
| - NOM-004-SCT2/1994 (Sistema de identificación de unidades para transporte terrestre). | 13/Sep/95 |
| - NOM-EM-008-SCT2-1995 (Inspección de equipo de arrastre ferroviario) | 4/Sep/95 |
| - NOM-010-SCT2-1994 (Compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte) | 25/Sep/95 |
| - NOM-011-SCT2-1994 (Condiciones para el transporte en cantidades limitadas) | 25/Sep/95 |
| - NOM-018-SCT2/1994 (Carga, acondicionamiento y descarga en unidades de arrastre ferroviario) | Ago/95 |
| - NOM-019-SCT2-1994 (Limpieza y control de remanentes en unidades de transporte) | 25/Sep/95 |
| - NOM-EM-020-SCT2/1995 (Requerimientos para el diseño y construcción de autotankes especificaciones SCT 306, SCT 307 y SCT 312) | 30/Ago/95 |
| - NOM-023-SCT2-1994 (Información técnica que debe contener la placa que portarán autotankes, recipientes metálicos intermedios y envases de más de 450 litros) | 25/Sep/95 |
| - NOM-030-SCT2/1994 (Especificaciones para la construcción y reconstrucción de contenedores cisterna para el transporte multimodal de gases licuados refrigerados) | 30/Oct/95 |
| - NOM-043-SCT2/1994 (Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos). | 23/Oct/95 |

| Disposiciones y acuerdos internacionales | Fecha en el Diario Oficial |
|--|----------------------------|
| Convenio entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre cooperación para la protección y mejoramiento del medio ambiente en la zona fronteriza (Convenio de la Paz) | 22/mar/84 |
| Acuerdo de cooperación entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y sustancias peligrosas (Anexo III al Convenio de la Paz.) | |
| Plan Integral Ambiental Fronterizo | |
| Acuerdos de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico. | |
| Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Convenio de Basilea) | |

TRANSPORTE

Ley General del Equilibrio Ecológico y protección al Medio Ambiente.

Capítulo V Materiales y residuos peligrosos.

Art. 151.- El transporte de residuos peligrosos requiere de autorización previa de la Secretaría.

Art. 153.- La importación y exportación de residuos peligrosos queda sujeta a las restricciones impuestas por el Ejecutivo Federal.

Deberán observarse las siguientes disposiciones.

I Corresponde a la Secretaría de Desarrollo Social la vigilancia ecológica de materiales peligrosos a importarse y exportarse.

II La importación para su tratamiento, reciclaje o reuso sólo se podrá hacer conforme a las leyes y reglamentos vigentes.

III No se autorizará la importación cuyo único objeto sea disposición final, almacenamiento o confinamiento.

IV Se prohíbe el tránsito de materiales y residuos peligrosos del extranjero hacia un tercer país.

V La exportación de residuos peligrosos hacia el extranjero quedará sujeta a consentimiento expreso del país receptor.

VI Los residuos generados bajo el régimen de importación temporal deberán ser retornados al país de procedencia en el plazo fijado por la Secretaría.

VII La autorización para importación o exportación de residuos peligrosos queda sujeta a que se garantice la presente ley y las demás disposiciones aplicables.

VIII Los permisos de importación-exportación de residuos peligrosos pueden revocarse cuando:

- los materiales constituyan un riesgo mayor al previsto.
- cuando la operación de importación - exportación no cumpla los requisitos fijados por la guía ecológica que expide la secretaría.
- los materiales ya no posean los atributos conforme a los cuales se autorizaron.
- se presenten solicitudes con datos falsos u omisiones importantes.

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

Capítulo I Disposiciones Generales

- Art. 5.- Son responsables del cumplimiento de este reglamento toda persona física o moral que manejen, importen o exporten residuos peligrosos.
- Art. 14.- Compete a la Secretaría:
- IV Autorizar el transporte de residuos peligrosos
 - VII Autorizar la importación y exportación de residuos peligrosos.

Capítulo II De la generación de residuos peligrosos

- Art. 8.- El generador de residuos peligrosos deberá:
- VII Transportar los residuos peligrosos en los vehículos que determine la Secretaría de Comunicaciones y Transportes bajo las condiciones previstas en este reglamento y las normas técnicas correspondientes.

Capítulo III Del manejo de residuos peligrosos

- Art. 10.- Se requiere autorización de la Secretaría para el transporte de residuos peligrosos.
- Art. 12.- Las personas autorizadas en el artículo 10 deberán presentar:
- I Programa de capacitación del personal.
 - II Documentación que acredite al personal técnico.
 - III Programa de atención de contingencias.
- Art. 13.- El generador podrá contratar los servicios de empresas para cualquiera de las operaciones que comprende el manejo. Estas empresas deben tener autorización previa de la Secretaría y serán responsables del cumplimiento del Reglamento y normas que de él se deriven en las operaciones de manejo en que intervengan.
- Art. 14.- El generador deberá enviar los residuos peligrosos en recipientes adecuados para el transporte.
- Art. 22.- La recolección de residuos peligrosos fuera de las instalaciones donde se generen y el transporte de los mismos, deberá realizarse conforme a este Reglamento.

- Art. 25.- *El transportista contratado deberá:*
- I Contar con autorización de la Secretaría
 - II Solicitar al generador el original del manifiesto correspondiente al volumen de residuos a transportarse.
 - III firmar el original y recibir dos copias
 - IV Verificar que los residuos peligrosos recibidos estén envasados e identificados correctamente.
 - V Sujetarse a las disposiciones sobre seguridad e higiene en el trabajo, tránsito y comunicaciones y transportes.
 - VI Remitir un informe semestral a la Secretaría sobre los residuos peligrosos recibidos para transporte.
- Art. 27.- *Los vehículos destinados al transporte de los residuos peligrosos deberán contar con registro de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y reunir los requisitos que ésta señale.*
- Los vehículos registrados para transporte de residuos peligrosos solo podrán ser utilizados con ese fin, con excepción de barcos y vehículos como tractocamiones, que no entren en contacto directo con los residuos peligrosos.
 - Se prohíbe el transporte de residuos peligrosos por vía aérea.
- Art. 29.- *Quienes recolecten y transporten residuos peligrosos están obligados a:*
- I Observar los programas de mantenimiento de equipo.
 - II Contar con el equipo de protección personal para los operarios, de acuerdo al tipo de residuos transportados.
- Art. 42.- *Cuando se presenten derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de residuos peligrosos durante su manejo, el generador y la empresa que preste el servicio de manejo deberá dar aviso de inmediato a la Secretaría y ratificarlo por escrito dentro de los 3 días siguientes.*

REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS.

TÍTULO PRIMERO

DISPOSICIONES GENERALES

- Art. 3 a 5.- *La aplicación de este reglamento corresponde a la SCT.*
- Art. 5.- *Se necesita permiso previo de la SCT para el transporte de materiales o residuos peligrosos.*
- Art. 6.- *- En las unidades autorizadas para transporte de materiales y residuos peligrosos se prohíbe el transporte de personas, animales, productos alimenticios o de uso personal y residuos sólidos municipales.*
- El transporte de otro tipo de bienes en estas unidades se ajustará a la norma correspondiente. En la norma NOM-021-SCT2/1994 se indican las disposiciones generales para transportar otros bienes.

Capítulo I Clasificación de las sustancias peligrosas

Art. 7.- Clase Clasificación

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

Art. 8.- Clase I (explosivos)

I Substancias explosivas: Aquellas que de manera espontánea o por reacción química desprenden gases a una temperatura, presión y velocidad que causen daños a los alrededores.

II Substancias pirotécnicas: Aquellas que producen un efecto calorífico, luminoso, sonoro o fumígeno como consecuencia de reacciones químicas exotérmicas autosostenidas no detonantes.

III Objetos explosivos: Objetos que contienen una o varias sustancias explosivas.

Atendiendo al tipo de riesgo se clasifican en:

| División | Descripción |
|----------|-------------|
|----------|-------------|

1.1 Substancias y objetos que presentan riesgo de explosión de la totalidad de la masa.

1.2 Substancias y objetos que presentan riesgo de proyección pero no de explosión de la totalidad de la masa.

1.3 Substancias y objetos que presenten un riesgo de incendio y/o efectos pequeños de onda expansiva, pero no de explosión en la totalidad de la masa. Se incluyen:

a) Aquéllos cuya combustión libera radiación térmica considerable.

b) Aquéllos que arden sucesivamente con pequeños efectos de onda expansiva.

1.4 Substancias y objetos que no presentan un riesgo considerable.

1.5 Substancias poco sensibles que presentan riesgo de explosión en la totalidad de la masa, pero que es muy improbable su iniciación o transición de incendio a detonación bajo condiciones normales de transporte.

1.6 Objetos extremadamente insensibles que no presentan riesgo de explosión en toda la masa.

Art. 9.- Clase 2 (gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión)

Son aquéllos que tienen una presión de vapor mayor a 300 Kpa (2.96 atm) a 50°C. Se definen de la siguiente manera:

- Gas comprimido es aquel que bajo presión es totalmente gaseoso a 20°C.

- Gas licuado, el que es parcialmente líquido a 20°C.
 - Gas licuado refrigerado, el que es parcialmente líquido debido a su baja temperatura.
 - Gas en solución, aquél que está comprimido y disuelto en un disolvente.
- Atendiendo al riesgo, la Clase 2 se divide en:

División Descripción

2.1 Gases inflamables: Aquéllos que arden a 20°C, presión de 101.3 KPa (1atm) y una mezcla en aire de 13% por volumen o menos.

2.2 Gases no inflamables, no tóxicos: Aquéllos que son transportados a una presión mayor o igual a 280 KPa a 20 °C, o como líquidos refrigerados y que:

- a) Son asfixiantes (diluyen o reemplazan al oxígeno de la atmósfera).
- b) Son oxidantes (pueden contribuir más que el aire a la combustión de otro material).
- c) No incluidos en a) y b).

2.3 Gases tóxicos:

a) Aquéllos que se conoce que son tóxicos o corrosivos a los seres humanos.

b) Aquéllos sospechosos de ser tóxicos por tener un CL (concentración letal) igual o mayor a 5000 ppm.

Art. 10.- Clase 3 (líquidos inflamables)

Son líquidos, mezclas de líquidos o líquidos y sólidos que despiden vapores inflamables a una temperatura no superior a 60.5°C.

Las sustancias de esta clase son:

- Líquidos que presentan un punto de ebullición inicial igual o menor a 35°C.
- Líquidos que presentan un punto de inflamación (en copa cerrada) menor a 23°C y un punto inicial de ebullición mayor de 35°C.
- Líquidos con punto de inflamación (en copa cerrada) mayor o igual a 23°C, menor o igual a 60.5°C y punto inicial de ebullición mayor de 35°C.

Art. 11.- Clase 4 (sólidos inflamables)

Son sustancias con riesgo de combustión espontánea o que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.

Atendiendo al tipo de riesgo se dividen en:

División Descripción

4.1 Sólidos inflamables: sólidos no clasificados como explosivos, pero que por las condiciones de transporte se inflaman con facilidad o pueden provocar o activar incendios.

4.2 Sustancias que presentan riesgo de combustión espontánea: Aquéllas que pueden calentarse espontáneamente en las condiciones normales de transporte o al contacto con el aire y entonces se inflaman.

4.3 Sustancias que en contacto con agua desprenden gases inflamables.

Art. 12.- Clase 5 (oxidantes y peróxidos orgánicos)

Se dividen en:

División Descripción

5.1 Sustancias oxidantes: aquellas sustancias que al liberar oxígeno pueden causar o facilitar la combustión de otras.

5.2 Peróxidos orgánicos: Sustancias del tipo R-O-O-H o R₁-O-O-R₂ donde R, R₁ y R₂ representan radicales orgánicos. Los peróxidos son sustancias inestables que reaccionan exotérmicamente. Son susceptibles de descomposición explosiva, arden rápidamente y reaccionan peligrosamente con otras sustancias.

Art. 13.- Clase 6 (tóxicos agudos y agentes infecciosos)

División Descripción

6.1 Tóxicos agudos (venenos): aquellas sustancias que pueden causar la muerte o ser nocivas para la salud humana si se ingieren, inhalan o entran en contacto con la piel.

6.2 Agentes infecciosos: Los que contienen microorganismos que se conocen o se cree que pueden provocar enfermedades en el hombre o en animales.

Art. 14.- Clase 7 (radiactivos)

Aquellos cuya actividad específica es superior a 70 kBq/kg.

Art. 15.- Clase 8 (corrosivos)

Sustancias líquidas o sólidas que por reacción química pueden dañar los tejidos vivos, mercancías transportadas o a las unidades de transporte.

Art. 16.- Clase 9 (varios)

Sustancias no incluidas en las clases anteriores cuya *transportación* presente riesgo potencial a la salud, al ambiente, la seguridad, a los usuarios o a la propiedad de terceros.

En la NOM-002-SCT2/1994 se indican algunas sustancias específicas que corresponden a esta clasificación (ej. abonos de nitrato de amonio, acumuladores de litio) y cuatro rubros generales para la clase 9.

Art. 17.- La identificación de las sustancias peligrosas deberá ajustarse a las *normas que contengan la lista de sustancias peligrosas.*

En la NOM-002-SCT2/1994 se indica una lista de las sustancias más comunes (aproximadamente 3200).

TÍTULO ENVASE Y EMBALAJE SEGUNDO

Capítulo I Características

Art. 18.- - El envase y embalaje de las sustancias de la clase 7 (radiactivos) se sujetará a las normas que expida la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal por conducto de la Comisión de Seguridad Nuclear y Salvaguardas.

- El envase y embalaje de gases comprimidos se regirá por la norma respectiva. En la NOM-030-SCT2/1994 se indican las disposiciones para el transporte en contenedores cisterna de gases licuados refrigerados.

- Los envases y embalajes que excedan a 400Kg o a 450 litros, se deberán apegar a las normas correspondientes para recipientes intermedios a granel. En la NOM-023-SCT2/1994 se indica la información que debe contener la placa que obligatoriamente deben portar estos recipientes.

Art. 20.- Los envases y embalajes para todas las clases, exceptuando las clases 1 y 2 y las divisiones 5.2 y 6.2 se clasifican en los grupos:

Grupo I Para sustancias muy peligrosas.

Grupo II Para sustancias medianamente peligrosas.

Grupo III Para sustancias poco peligrosas.

La asignación a cada grupo se indicará en la norma correspondiente.

Para los líquidos inflamables se indica en la norma NOM-028-SCT2/1994.

Art. 21 a 26.- - El envase deberá ser revisado por el expedidor antes de ser llenado para cerciorarse que no presenta corrosión u otro tipo de deterioro.

- Se prohíbe adicionar en el exterior de los envases sustancias incompatibles con el contenido.

- Los envases y embalajes interiores deberán estar colocados en un envase o embalaje exterior.

- Los envases interiores que contengan sustancias incompatibles no deberán colocarse en el mismo envase exterior.

Art. 27 a 30.- - Los envases exteriores deberán tener la resistencia suficiente de acuerdo a la norma correspondiente. En la norma NOM-024-SCT2/1994 se indican algunas de las características que deben tener los envases exteriores.

- Todo envase vacío que haya contenido sustancias o residuos peligrosos y los remanentes se consideran sustancias o residuos peligrosos.

- Las características de construcción de los envases deberá sujetarse a la norma correspondiente. En la norma NOM-024-SCT2/1994 se indican las características de los diferentes tipos de envase y las pruebas que deben hacerse. Los envases que resulten defectuosos en su construcción no deberán ser reacondicionados para uso en residuos peligrosos.

- Las especificaciones de los envases destinados a las clases excluidas en el artículo 18 se establecerán en las normas respectivas.

Capítulo II Etiquetado y marcado del envase y embalaje.

Art. 31 y 32 - Cada envase y embalaje deberá contar con la etiqueta correspondiente. Las características se indicarán en la norma correspondiente. La NOM-003-SCT2/1994 indica las características de las etiquetas.

- Los envases y embalajes deberán llevar marcas indelebles, visibles y legibles que certifiquen que están fabricados conforme a las normas respectivas. La NOM-007-SCT2/1994 indica las características de las marcas de envases y embalajes.

**TÍTULO CARACTERÍSTICAS, ESPECIFICACIONES Y EQUIPAMIENTO
TERCERO DE LOS VEHÍCULOS MOTRICES Y UNIDADES DE ARRASTRE
A UTILIZAR**

Capítulo I Características y especificaciones

Art. 33 a 36.- - Las unidades motrices, autotanques, unidades de arrastre, recipientes intermedios para granel y contenedores cisterna destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos deberán cumplir las especificaciones adicionales que se indiquen en las normas correspondientes. Estas unidades deberán contar con aditamentos de emergencia y protección, de conformidad a la norma correspondiente.

Capítulo II Identificación de unidades

Art. 37 a 40 - Los camiones, unidades de arrastre, contenedores cisterna y recipientes intermedios para granel deberán tener para identificación una placa de metal inoxidable.

- Los camiones, unidades de arrastre, contenedores cisterna y recipientes intermedios para granel deberán tener cuatro carteles identificando al material transportado. Si las unidades transportan remanentes, deberán seguir portando los cuatro carteles. En la NOM-004-SCT2/1994 se indican las características de identificación de las unidades de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.

**TÍTULO CONDICIONES DE SEGURIDAD
CUARTO**

Capítulo I Inspección de las unidades

Art. 41 a 45.- - Las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos deberán someterse a revisiones periódicas técnicas y de operación por parte de la SCT.

- Los transportistas están obligados a proporcionar y llevar un control de mantenimiento preventivo y correctivo de las unidades así como un registro de materiales y residuos peligrosos transportados. La SCT podrá requerir estos controles y registros en cualquier momento.

Capítulo II Acondicionamiento de la carga

Art. 46 a 49.- - El transportista debe verificar que las unidades se encuentren en condiciones mecánicas óptimas antes de cargar los materiales y residuos peligrosos.

- El material deberá ser cargado, distribuido y sujeto en las unidades de acuerdo a las normas que expida la SCT. En la NOM-018-SCT2/1994 aparecen algunas disposiciones de carga acondicionamiento y descarga para las unidades de arrastre ferroviario. El transportista deberá rechazar el material que no esté debidamente acondicionado para su transportación.
- El transporte de cantidades limitadas de materiales y residuos peligrosos deberá cumplir las condiciones indicadas en la norma correspondiente. En la NOM-011-SCT2/1994 se indican las condiciones del transporte de materiales y residuos peligrosos en cantidades limitadas. En la NOM-018-SCT2/1994 se indican algunas condiciones para el transporte en unidades de arrastre ferroviario cuando la carga ocupa menos de un carro entero.
- Las unidades deberán llevar la información de emergencia para cada uno de los materiales transportados que indique las acciones a seguir, así como el registro de su ubicación en la unidad.

Capítulo IV Sistema Nacional de Emergencia en Transportación de materiales y residuos peligrosos.

- Art. 54 a 57** - Se establecerá el Sistema Nacional de Emergencia con el objeto de asistencia técnica sobre medidas y acciones a tomarse en accidentes durante el transporte de materiales y residuos peligrosos. El sistema funcionará 24 horas al día. En caso de derrame se alertará a la Policía Federal de Caminos y Puertos, Gobierno de la Entidad Federativa y las autoridades municipales.

TÍTULO TRÁNSITO EN VÍAS DE JURISDICCIÓN FEDERAL

QUINTO

Capítulo I Autotransporte

- Art. 58 a 68** - Se prohíbe transportar a personas no relacionadas con las operaciones de la unidad.
- No deben abrirse envases o embalajes entre el origen y el destino, salvo cuando se presuma riesgo. En este caso se deberá actuar en base a la "Información de emergencia en la transportación"
 - Se deberán evitar las paradas injustificadas y circular por áreas centrales de ciudades y poblados cuando esto sea posible.
 - Las unidades no podrán circular en convoy, excepto las que transporten sustancias de la clase 7 (radiactivos).
- Se prohíbe purgar o ventear innecesariamente o en instalaciones no diseñadas para tal efecto.
- En caso de congestionamiento vehicular, el conductor deberá solicitar al encargado de la vigilancia vial prioridad para continuar el viaje.

- En caso de descompostura mayor, la unidad deberá ser sustituida a la brevedad posible por otra en condiciones adecuadas. Cuando sea necesario trasvasar el generador de los residuos peligrosos deberá supervisar que la maniobra se realice bajo estrictas condiciones de seguridad.
- Para estacionarse en la vía pública, el conductor deberá cuidar que la carga esté debidamente protegida. Bajo ningún motivo deberán estacionarse junto a fuego abierto o incendio.
- Cuando las condiciones meteorológicas disminuyan la visibilidad a menos de 50 m, el conductor deberá estacionar la unidad en un lugar que no presente peligro para la carga. Si se requiere estacionar la unidad durante la noche se deberán colocar triángulos de seguridad adelante y detrás de la unidad.

Capítulo II Ferrocarril

Art. 69 a 86.- - La empresa ferroviaria deberá establecer rutas troncales para el tránsito de residuos peligrosos.

- Se prohíbe el transporte por ferrocarril de nitroglicerina, fulminantes (con la excepción de fulminantes de mercurio en cápsulas, explosivos cebados y dinamita exudada) o de sustancias que puedan reaccionar espontáneamente.
- Los trenes permanecerán el menor tiempo posible en las estaciones.
- Se prohíbe adicionar al convoy materiales incompatibles a los transportados. En las normas NOM-009-SCT2-1994 y NOM-010-SCT2-1994 se indican las disposiciones de compatibilidad de sustancias y residuos peligrosos. *Se prohíbe el transporte de materiales o residuos peligrosos en trenes asignados al servicio de pasajeros o servicio mixto.*
- Los trenes deberán contar con servicio de radiocomunicación operando. Todos los tripulantes deberán contar con equipo portátil de radiocomunicación.
- No deberán abrirse ningún envase o embalaje entre el origen y el destino, salvo cuando se presuma riesgo, en cuyo caso se deberá actuar en base a la "Información de emergencia en transportación".
- En condiciones meteorológicas adversas, antes de iniciar la marcha se deberá asignar un motor explorador que alerte sobre los posibles peligros.
- En los patios la velocidad máxima es de 25 km./hr. En pendientes ascendentes mayores de 1.5% y curvaturas mayores de 10°, las velocidades deberán ser las mínimas recomendadas en los manuales de las locomotoras. *En áreas pobladas la velocidad máxima es de 30 km/hr.* Deberán utilizar los libramientos ferroviarios existentes para evitar el tránsito en zonas urbanas.
- La empresa ferroviaria deberá identificar con placas especiales los puntos en los que se restrinja la velocidad de tránsito para trenes que transportan residuos peligrosos.

- Los trenes deberán transitar con su sistema de frenos de aire, freno de mano y herrajes de freno en condiciones adecuadas de operación. En caso de fuertes pendientes o radios críticos de curvatura, deberán tener en óptimas condiciones el sistema de freno dinámico.

Art. 87 a 101.- - Sólo se transportarán materiales y residuos peligrosos en trenes de flete. En caso de explosivos de la Clase 1, se admitirán remesas no mayores de 5000 kg por tren.

- Los trenes deberán tener el equipo de protección y accesorios de seguridad establecido en la normatividad aplicable. En la NOM-EM-009/SCT2/1995 se señalan las disposiciones para la inspección del equipo de arrastre.

- Para los movimientos de acoplamiento entre unidades la velocidad no deberá exceder 5 km/hr.

- Los carros tanque que manejen gases Clase 2 (comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión) que sean cortados en tránsito, deberán ser manejados en cortes de no más de dos carros.

- El manejo de estacionamiento, embarque o desembarque de materiales y residuos peligrosos deberá realizarse fuera de áreas pobladas.

- Si se necesitan movimientos de patio, se deberán utilizar dos unidades de protección entre la locomotora y la unidad que contenga los materiales. Deberá usarse el sistema de frenos de aire acoplados.

- Las unidades de arrastre vacías que manejen materiales y residuos peligrosos no deberán permanecer en los patios después de descargarse.

- Las maniobras y mantenimientos de unidades en espuelas particulares deberán realizarse de preferencia a la luz del día.

La empresa ferroviaria deberá verificar las condiciones físicas de las vías particulares.

Las unidades que se entreguen en espuelas particulares deberán ser aseguradas aplicando el freno de mano en cada una y cuando exista, deberá colocarse el descarrilador sobre la vía.

TÍTULO OCTAVO

OBLIGACIONES ESPECÍFICAS

Capítulo I Del expedidor y destinatario del material y residuo peligroso.

Art. 114.- Las obligaciones del expedidor son:

I Cerciorarse que los recipientes cumplan las normas correspondientes.

II Identificar los envases y embalajes con etiquetas y carteles de acuerdo a las normas respectivas.

III Proporcionar la "Información de Emergencia en transportación del material transportado.

IV Indicar al transportista el equipo de seguridad adecuado.

V Proporcionar al transportista los carteles que deberá instalar en las unidades.

VI No efectuar el envío de materiales y residuos peligrosos en unidades que no cumplan este reglamento o las normas correspondientes.

VII Contar con las autorizaciones necesarias.

VIII Proporcionar al destinatario todos los datos relativos al embarque de los materiales.

IX Verificar que las maniobras se realicen exclusivamente por personal capacitado y éste cuente con el equipo de seguridad apropiado.

Art. 115 a 117 El destinatario deberá:

- Descargar los materiales y residuos peligrosos en lugares destinados especialmente para ello, verificando que las maniobras las realice personal capacitado que cuente con equipo de protección adecuado.

- Una vez notificado, realizar los trámites correspondientes para que las unidades sean remolcadas a sus instalaciones o para transportar a sus bodegas los materiales y residuos peligrosos.

- Cuando así se estipule, deberá dejar libres de remanentes las unidades. El transportista deberá exigir el cumplimiento de este requisito.

NORMAS OFICIALES MEXICANAS RELACIONADAS CON EL TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS.

NOM-002-SCT2/1994, Listado de las sustancias y materiales peligrosos más ampliamente transportados.

Contiene la clasificación de cerca de 3200 sustancias identificadas como materiales peligrosos. Para cada sustancia se indica la clase (de acuerdo al Reglamento para el Transporte de Materiales y Residuos Peligrosos), división de riesgo, riesgo secundario, número asignado por la Organización de las Naciones Unidas y se indican las disposiciones a que debe sujetarse el transporte, método de envase y embalaje.

La información está contenida en seis tablas, cuyo contenido se señala a continuación:

Tabla 1 Contiene el listado alfabético de las sustancias peligrosas más comunes..

Tabla 2 Contiene el listado por orden numérico de las sustancias y materiales peligrosos sugerido por la Organización de las Naciones Unidas.

Tabla 3 Se indican disposiciones especiales para el manejo de la sustancia o material determinado (*concentraciones límite, compuestos normados, etiquetado, etc.*).

Tabla 4 Contiene nombres genéricos de sustancias correspondientes a grupos de sustancias o materiales no especificados de otro modo (**N.E.O.M**).

Esta tabla se utiliza cuando se desean transportar sustancias no incluidas en la tabla 1 o 2.

Previamente deben analizarse las propiedades peligrosas de la sustancia y clasificarla en base a las clases y criterios de prueba en cuestión. En seguida debe seleccionarse en la tabla 2 o en la tabla 4 el nombre de la sustancia que mejor represente las características de la sustancia transportada.

Tabla 5 Esta tabla contiene el orden de preponderancia de las características de riesgo para una mezcla con componentes que presente más de un tipo de riesgo.

Tabla 6 Contiene la lista de sustancias de reacción espontánea catalogadas hasta el momento.

NOM-003-SCT2/1994, Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.

Contiene la descripción y características de las etiquetas que deben utilizarse (tamaño, símbolos, combinación de colores, texto, etc.). La clasificación coincide con la indicada en el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos. Esta norma concuerda con las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para el Transporte de Mercancías Peligrosas.

Los símbolos de que se componen las etiquetas son:

| Símbolo | Significado |
|---|---|
| <u>Símbolos básicos</u> | |
| Bomba | Peligro de explosión |
| Flama | Peligro de incendio |
| Calavera y tibias cruzadas | Peligro de envenenamiento |
| Trébol esquematizado | Peligro de radiactividad |
| Líquidos goteando de dos tubos de ensayo sobre una mano y una plancha de metal. | Peligro de corrosión |
| <u>Símbolos complementarios</u> | |
| Flama sobre círculo | Oxidantes o peróxidos orgánicos |
| Cilindro de gas | Gases comprimidos, no inflamables, no tóxicos |
| Tres medias lunas sobre un círculo | Sustancias infecciosas |
| Siete franjas verticales | Sustancias peligrosas varias |

NOM-004-SCT2/1994, Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.

Contiene las características de los rótulos que deben portar las unidades de transportación terrestre (autotransporte y ferrocarriles). La simbología utilizada es la misma que se utiliza en la NOM-003-SCT2/1994. Esta norma coincide con las recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas de las Naciones Unidas.

NOM-007-SCT2/1994, Mercado de envases y embalaje destinado al transporte de sustancias y residuos peligrosos.

Contiene las características que debe cumplir el mercado de envases y embalajes para el transporte terrestre de los residuos peligrosos. Esta norma coincide con las recomendaciones de Naciones Unidas para el transporte de sustancias peligrosas. Todos los envases y embalajes deben tener marcas claras, visibles, indelebles y legibles. Esta norma no aplica a los envases destinados a los siguientes materiales peligrosos:

- a) Clase 7 (materiales radiactivos)
- b) Clase 2 (gases comprimidos, licuados, o disueltos a presión)
- c) Envases cuyo peso neto excede 400 kg o su capacidad 450 litros.

Las principales características indicadas en esta norma son:

* El símbolo de envase y embalaje de las Naciones Unidas (un círculo con las letras minúsculas *u n*), que indica que el envase cumple la NOM-024-SCT2/1994 de especificaciones de construcción.

* La clave de la designación, consistente en:

- una cifra numérica correspondiente al tipo de envase (tambor, barril, porrón, caja, saco, envase y embalaje compuesto y recipiente a presión), de acuerdo a la tabla 1 contenida en la misma norma:

| | |
|----------|-------------------------------|
| 1 Tambor | 5 Saco |
| 2 Barril | 6 Envase y embalaje compuesto |
| 3 Porrón | 7 Recipiente a presión |
| 4 Caja | |

- una o varias letras mayúsculas indicando el material del envase y embalaje, de acuerdo a la tabla 1 de la misma norma. Tratándose de envases o embalajes compuestos la primer letra corresponde al envase interior y la segunda al exterior.

| | |
|------------------------|------------------------------------|
| A Acero | H Plástico |
| B Aluminio | L Tela |
| C Madera natural | M Papel de varias hojas |
| D Madera contrachapada | N Metal (excepto acero y aluminio) |
| F Madera reconstruida | P Vidrio o porcelana |
| G Cartón | |

- una cifra arábica que indique la subdivisión de cada material.

* Una clave consistente en:

- Una letra (**X, Y, Z**) indicando el grupo de envase y embalaje (I, II, III) según se indica en el artículo 20 del Reglamento de Transporte.

- La densidad relativa si se trata de líquidos o el peso si se trata de sólidos.

* La letra "S" si se transportan sustancias sólidas o la presión de prueba hidrostática si se trata de líquidos.

* Los dos últimos dígitos del año de fabricación del envase y embalaje.

* El signo del país de fabricación del envase (MEX, en caso de México).

* Un nombre o marca que identifique al fabricante del envase.

* Si el envase o embalaje es un barril de metal deberá llevar además en forma permanente el espesor del metal usado en el cuerpo del barril.

Todo envase o embalaje que para su reuso deba ser sometido a un proceso de *reacondicionamiento que pudiera borrar las marcas, debe llevar las marcas de forma permanente (en relieve o embutidas) para soportar el reacondicionamiento.*

Los envases reacondicionados deben llevar marcas adicionales indicando : signo del país donde se haya hecho el reacondicionamiento, nombre del reacondicionador y año del reacondicionamiento.

NOM-EM-008-SCT2/1995, Disposiciones para efectuar la inspección de equipo de arrastre ferroviario asignado al transporte de materiales y residuos peligrosos.

Contiene las disposiciones que deben observarse por el personal encargado de la inspección de unidades de arrastre ferroviario para comprobar si son buenas las condiciones físicas de las unidades. Esta norma coincide con las recomendaciones de la Asociación Americana de Ferrocarriles.

Las partes y componentes que deben revisarse son:

Bastidor, acopladores y aparejos de tracción, equipo de frenos, trucks, cuerpo de furgones, carrostanque, tolvas, plataformas.

Señala el procedimiento que deben seguir para la revisión los usuarios y las empresas ferroviarias.

NOM-009-SCT2/1995, Compatibilidad para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 explosivos.

En esta norma se indica el grado de compatibilidad que existen entre los 13 grupos de compatibilidad existentes en la clase 1 explosivos (grupos de compatibilidad A - S). Esta norma coincide con las recomendaciones de las Naciones Unidas para el transporte de mercancías peligrosas.

En la tabla 1 de esta norma se indican:

* los grupos de explosivos cuya compatibilidad se permite (espacios en blanco)

* los grupos de explosivos cuya compatibilidad se prohíbe (letra X)

* los explosivos que sólo pueden transportarse con un explosivo idéntico (número 1)

* explosivos compatibles que al transportarse juntos se les asigna un grupo de compatibilidad E (número 2)

* explosivos compatibles que al transportarse juntos se les asigna un grupo de compatibilidad N (número 3)

- * explosivos que no deben transportarse junto a un iniciador primario (número 4) salvo en condiciones especiales.
- * explosivos que no deben transportarse junto a fuegos artificiales (número 5).

Salvo en los casos que se haya indicado explícitamente lo contrario, los explosivos del mismo grupo de compatibilidad, pero diferente división pueden transportarse juntos.

NOM-010-SCT2/1995, Disposiciones de compatibilidad y segregación, para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

Contiene la información de compatibilidad para las clases de materiales y residuos peligrosos. Esta norma contiene la tabla llamada Tabla de Segregación para Sustancias, Materiales y Residuos Peligrosos. Esta tabla en forma de matriz tiene en el eje vertical y horizontal las ocho clases de materiales peligrosos. En cada intersección puede contener la siguiente información:

| Símbolo | Significado |
|-----------------------|--|
| (Ausencia de símbolo) | No aplica ninguna restricción de segregación |
| * | Materiales explosivos. Debe consultarse la NOM-009-SCT2/1995 para determinar la compatibilidad. |
| X | Indica que las sustancias no deben transportarse juntas, en el mismo vehículo de transporte o instalación de almacenamiento durante el transporte. |
| O | Sustancias que para transportarse juntas en el mismo vehículo de transporte deben cumplir condiciones de separación y seguridad especiales. |
| A | Elimina la restricción de segregación para el fertilizante de nitrato de amonio en las divisiones 1.1 y 1.5. |

Además de las disposiciones de la tabla, los cianuros o mezclas de cianuros no deben almacenarse con ácidos.

NOM-011-SCT2/1995, Condiciones para el transporte de las sustancias, materiales y residuos en cantidades limitadas.

Contiene las características de materiales y residuos peligrosos de las clases 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 9 que por transportarse en cantidades pequeñas no están obligados a cumplir las normas relacionadas con etiquetado.

No están incluidos en esta norma las siguientes clases:

- * Explosivos (Clase 1)
- * Gases de la Clase 2 que presentan riesgo secundario inflamable, corrosivo, oxidante o tóxico
- * Sustancias autorreactivas de la División 4.1
- * Sustancias propensas a combustión espontánea, de la división 4.2
- * Peróxidos orgánicos, división 5.2
- * Sustancias infecciosas, división 6.2
- * Material radiactivo, clase 7
- * Materiales del grupo I de envase y embalaje

En la tabla 1 "Limitaciones en Cantidad para las Clases 2, 3, 4, 5, 6 y 8" se indica la cantidad máxima por envase o embalaje interior para que aplique esta norma. La cantidad máxima depende de:

- * la clase o división del material o residuo peligroso
- * el grupo de envase y embalaje
- * el estado físico del material.

En la tabla 2 "Limitaciones en cantidad para la clase 9" se indica la cantidad máxima para dos materiales: dibromofluorometano y nitrato de amonio.

En caso de recipientes elásticos ajustables, la cantidad máxima de la masa total del envase no deberá exceder 20 kg.

En caso de transportar materiales en cantidad limitada, la hoja de embarque debe indicarlo.

Los envases y embalajes que satisfagan lo especificado en esta norma están exentos de etiquetado. Tampoco es requisito segregar los materiales peligrosos en una unidad o contenedor.

Las sustancias transportadas en cantidades limitadas que se venden para consumo individual, con propósitos de uso para el cuidado personal o del hogar estarán exentas de portar carteles, etiquetas de identificación, marcas de transporte y el número de Naciones Unidas en el envase y embalaje y requisitos de documentación para el transporte de sustancias y materiales peligrosos.

NOM-018-SCT2/1995, Disposiciones para la carga, acondicionamiento y descarga de materiales y residuos peligrosos en unidades de tipo ferroviario.

Contiene diferentes disposiciones relacionadas con:

- * Distribución y sujeción de la carga: transporte de explosivos, líquidos o gases inflamables, envases vacíos, estibado, sólidos inflamables, gases tóxicos, etc.
- * Distribución y sujeción de la carga para transporte en menos de un carro.
- * Transporte de contenedores, remolques y trailers: características de las unidades, elementos de sujeción, seguros para contenedores.
- * Carga y descarga de carros tanque: Uso del freno de mano, señales, procedimiento de apertura y cierre de válvulas.

NOM-019-SCT2/1995, Disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes de sustancias y residuos peligrosos en las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos.

Las situaciones en que será obligatoria la limpieza interna y externa del contenedor son:

- * Incompatibilidad del remanente con los productos a transportar.
- * Reparación de la unidad.
- * Cambio de producto.
- * Adaptación de sistemas o accesorios dentro de la unidad, si esto representa riesgo de derrame o siniestro.
- * Derrame accidental de unidades.

Contiene esta norma además:

- * las obligaciones que corresponden al expedidor (verificar que la limpieza siga un procedimiento de acuerdo a la normatividad vigente).
- * los requisitos mínimos que debe cumplir el procedimiento de limpieza y control de remanentes (condiciones de seguridad, equipo de protección personal, procedimiento de despresurización, sustancias a utilizar para la limpieza, procedimiento de secado, etc.).
- * las disposiciones que debe observar el transportista (debe contar con un procedimiento de limpieza por cada producto, debe portar en la unidad el certificado de limpieza de la misma).
- * las disposiciones que deben observar los centros de limpieza (contar con autorización de la unidad competente y llevar un registro con los datos del certificado que se entregan a las unidades, procedimientos de limpieza y control de remanentes).

NOM-EM-020-SCT2/1995, Requerimientos generales para el diseño y construcción de autotanques destinados al transporte de materiales y residuos peligrosos, especificaciones SCT 306, SCT 307 y SCT 312.

En esta norma se detallan las características que debe cumplir la fabricación de autotanques. Se indica:

- * Material de construcción (aleaciones permitidas)
- * Integridad estructural (valores de esfuerzo, cargas)
- * Uniones (método de unión, resistencia de las uniones)
- * Soportes y anclajes
- * Refuerzo circunferencial
- * Protecciones contra daños por accidentes
- * Bombas para carga y descarga
- * Certificación

Se señalan las especificaciones mínimas que son requeridas por los autotanques SCT 306, SCT 307 y SCT 312. Se señalan:

- * Presión de diseño

- * Espesor del cuerpo, tapas, mamparas y rompeolas
- * Aperturas para llenado y domos (entrada pasahombre)
- * Ventiladas y válvulas de desfogue
- * Control de emergencia de flujo
- * Descargas o salidas
- * Indicadores de medición
- * Método de prueba (prueba de fugas y prueba de deformación o falla)

NOM-023-SCT2/1995, Información técnica que debe contener la placa que portarán los autotankes, recipientes metálicos intermedios para granel (RIG) y envases de capacidad mayor a 450 litros que transportan materiales y residuos peligrosos.

- * Todo autotankes, cisterna o recipiente de capacidad mayor de 450 litros que esté sometido a una presión mayor a la atmosférica debe portar una placa de identificación fijada permanentemente y en un lugar accesible para su revisión.
- * En caso de ausencia de la placa, el expedidor deberá negarse a cargarlo.
- * Las marcas de identificación de la placa deben estar grabadas en troquel o un método similar.

NOM-024-SCT2/1994, Especificaciones para la construcción reconstrucción así como los métodos de prueba de envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos.

Esta norma contiene las características que deben cumplir los diferentes envases.

No se incluyen en esta norma los envases utilizados para las clases 2 (gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión) y 7 (radiactivos).

Se indican en esta norma para cada tipo de envase (tambores, porrones, sacos, etc.) y cada material de construcción permitido (acero, aluminio, madera, etc.) las características que debe cumplir su fabricación y reconstrucción. Entre las principales se encuentran:

- * material del cuerpo, tapa y fondo.
- * características de las costuras y rebordes
- * dimensiones de las aperturas de llenado, vaciado y ventilación
- * capacidad máxima permitida (volumen)
- * masa neta máxima permitida
- * material de forros interiores

Se presentan además los procedimientos de prueba que deben realizarse a los envases. Las pruebas a realizarse son:

- * pruebas de caída
- * prueba de hermeticidad
- * prueba de presión interna (hidráulica)

- * prueba de apilamiento
 - * prueba de carga para los barriles de prueba
 - * prueba de hermeticidad para los aerosoles y recipientes pequeños para gases
- Para cada una de las pruebas se indica el número de muestras, las condiciones de la prueba y el criterio de superación de la prueba.

NOM-025-SCT2/1994, Disposiciones especiales para las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 explosivos.

Esta norma contiene el conjunto de definiciones de los términos relacionados con el material asociado a explosivos (cerca de 120 definiciones). En la tabla 1 de esta norma aparece el número o números de Naciones Unidas (NU) asociados a cada término.

* Se indica que la clasificación de un material como clase 1 tiene prioridad sobre el resto de las clases.

* Sólo los materiales que aparecen en la NOM-02-SCT2/1994 dentro de la clase 1 podrán ser presentadas directamente para transporte. Las sustancias clase 1 que no aparezcan en esa norma deberán someterse a un proceso de clasificación.

* En la tabla II de esta norma se indica el esquema de clasificación de explosivos mediante una combinación del tipo riesgo (1.1, 1.2, ... 1.6) y el grupo de compatibilidad (A, B, C, ..., S).

* En la tabla III de esta norma se indica la descripción de los grupos de compatibilidad para explosivos (A, B, C, ..., S) y la clave de su clasificación.

* En la tabla IV se indican los métodos de envase a utilizar para explosivos. Se indica la clasificación del método, el tipo de envase/embalaje interior, el tipo de envase/embalaje exterior y los requisitos especiales de envase o embalaje. Se debe consultar la norma NOM-02-SCT2/1994 para asignar a una sustancia peligrosa el tipo de envase que aparece en esta norma.

NOM-027-SCT2/1994, Disposiciones generales para el envase, embalaje y transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la división 5.2 peróxidos orgánicos.

Los peróxidos son sustancias con un enlace entre dos átomos de oxígeno (O-O). Los peróxidos orgánicos pueden descomponerse desprendiendo energía. La descomposición puede deberse a impurezas, calor, fricción o choques. La descomposición varía según la temperatura y la composición del peróxido. Algunos peróxidos pueden producir explosiones.

En esta norma se clasifican los peróxidos de 8 tipos (A, B, C, D, E, F, G, y H) de acuerdo a su peligrosidad, siendo A el más peligroso y H el menos peligroso.

Los peróxidos tipo A son explosivos, por lo que deben sujetarse a las disposiciones de la NOM-009-SCT2/1994 en lugar de las disposiciones de esta norma. Los peróxidos tipo H son inertes y no tienen obligación de sujetarse a esta norma.

En la tabla 1 de esta norma se indica la clave del método de envasado y embalado (OP1A - OP8A para peróxidos líquidos y OP1B - OP8B para peróxidos sólidos). Se indica para cada clave de envase, el tipo y material permitido y la capacidad máxima de envasado.

La tabla 2 de esta norma contiene la lista de peróxidos catalogados hasta el momento. Para cada sustancia se indica:

- * la máxima concentración permitida
- * el porcentaje mínimo de diluyente o de sólidos inertes que debe contener
- * el método de envase y embalaje
- * las temperaturas de regulación y de emergencia
- * la clave de los riesgos secundarios asociados

La tabla 3 contiene el método de cálculo de las temperaturas de regulación y de emergencia para sustancias que no están catalogadas todavía.

La tabla 4 presenta los peróxidos orgánicos catalogados hasta el momento que pueden transportarse en recipientes intermedios a granel (RIG). Para cada sustancia se indica el tipo de RIG, la cantidad máxima a transportar y las temperaturas de regulación y emergencia.

La tabla 5 presenta los peróxidos orgánicos catalogados hasta el momento que pueden transportarse en contenedores cisterna y carros tanque.

NOM-028-SCT2/1994, Disposiciones generales para los materiales y residuos peligrosos de la clase 3 líquidos inflamables transportados.

Para propósito de esta norma se definen líquidos inflamables a aquellos que:

- * despiden vapores inflamables a menos de 60.5°C en copa cerrada y menos de 65.6°C en copa abierta.
- * líquidos a temperatura igual o superior a su temperatura de inflamación. No es necesario considerar inflamables a aquellos con punto de inflamación superior a 35°C que no sustenten combustión.
- * líquidos que despidan vapor inflamable a temperatura menor o igual a la temperatura máxima de transporte.

En la tabla 1 de esta norma se asigna un grupo de envase y embalaje (I, II y III) a los líquidos inflamables a partir del punto de inflamación y el punto de ebullición inicial.

Se indican en esta norma las características que deben cumplir los líquidos viscosos para que se les pueda asignar el grupo III de envase y embalaje.

Se citan en esta norma los nombres de los métodos para determinación del punto de inflamabilidad y se describen las pruebas de viscosidad, separación del solvente y combustibilidad.

NOM-087-ECOL-1995, Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.

En lo referente a transporte, en esta norma:

- * se identifican los residuos peligrosos generados en los hospitales (sangre, cultivos, instrumentos y aparatos, tejidos, muestras biológicas, etc.)
- * para los diferentes residuos generados se indica en la tabla 2 los envasados permitidos y el color de los recipientes. Se indica en esta norma las características de resistencia que deben tener los envases.
- * se indica la leyenda que debe contener la etiqueta y el símbolo que debe contener, identificando a los residuos biológico-infecciosos.
- * Se debe evitar compactar los residuos para su recolección o transporte.
- * Los contenedores deberán ser lavados y desinfectados después del ciclo de recolección.
- * Se prohíbe mezclar los residuos biológico infecciosos con otro tipo de residuos durante su transporte.
- * Los vehículos recolectores deberán ser de caja cerrada, hermética, tener sistemas de captación de escurrimientos y sistemas mecanizados de carga y descarga.

Normatividad para Confinamientos.

En México, se aplican cuatro normas ecológicas para regular la disposición de residuos peligrosos en confinamientos de alta seguridad que garanticen el manejo seguro de residuos peligrosos sin riesgos a la salud o al medio ambiente.

Las cuatro normas que se aplican son:

NOM-055-ECOL-1993, es la norma oficial mexicana que establece los requisitos básicos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de los residuos peligrosos, excepto los radiactivos.

Requisitos del sitio de confinamiento según la norma NOM-055-ECOL-1993

Los requerimientos **geohidrológicos** o estudio de las aguas subterráneas bajo el contexto del marco geológico que las sostiene en la cercanía del sitio destinado al confinamiento.

Los requerimientos de **hidrología superficial** o estudio del comportamiento de las aguas superficiales de la cuenca hidrográfica donde se ubique el sitio destinado al confinamiento.

Los requerimientos **climáticos** del conjunto de condiciones atmosféricas de un lugar determinado, constituido por factores físicos y geográficos.

Los requerimientos de **crecimiento de la población**.

Los requerimientos **sísmicos** o la frecuencia e intensidad de los fenómenos sísmicos que tienen lugar en el sitio de confinamiento.

Los requerimientos **topográficos**, o las características de configuración de la superficie que presenta el área del sitio y las características de acceso.

NOM-056-ECOL-1993, es la norma que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

Requisitos del sitio de confinamiento según la norma NOM-056-ECOL-1993

- Áreas de acceso y espera
- Cerca perimetral y de seguridad
- Caseta de vigilancia
- Caseta de pesaje y báscula
- Laboratorio
- Caminos
- Área de almacenamiento temporal
- Área de emergencia
- Área de limpieza
- Drenaje
- Instalaciones de energía eléctrica
- Señalamientos
- Pozos de monitoreo
- Área de amortiguamiento
- Taller de mantenimiento
- Área administrativa
- Servicio de primeros auxilios
- Servicios sanitarios
- Colocación de accesos

NOM-057-ECOL-1993, es la norma oficial mexicana, que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

Requisitos del sitio de confinamiento según la norma NOM-057-ECOL-1993

- Requisitos del **diseño y construcción** de celdas de confinamientos o del espacio cerrado natural o artificial dentro de un confinamiento controlado, apto para recibir residuos peligrosos compatibles y restricciones de diseño y construcción de celdas.
- Los requisitos de diseño y construcción de **sistemas de captación de lixiviados**.
- Los requisitos de diseño y construcción del **sistema de venteo**.
- Los requisitos de **cubierta** o el material que se coloca en forma de capas en la parte superior de la celda, para aislar a los residuos peligrosos de la intemperie.
- Los **requisitos de operación** de la celda de confinamiento, además de los requisitos de diseño de la celda.

NOM-058-ECOL-1993, norma oficial mexicana, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

Requisitos del sitio de confinamiento según la norma NOM-058-ECOL-1993

Recepción
Pesaje
Análisis.

Requisitos de generación, tratamiento, almacenamiento y disposición.

El derecho ambiental mexicano establece una diferencia entre dos tipos de actividades sobre residuos peligrosos: **generación y manejo**. Esta distinción implica responsabilidades diferentes, principalmente en cuanto al sistema de permisos y manifiestos establecido en el Reglamento de residuos peligrosos.

Generadores de residuos peligrosos. Los generadores de residuos peligrosos son las personas físicas o morales que como resultado de sus actividades, produzcan **residuos peligrosos**. Los generadores deben obtener un permiso de la SEMARNAP para producir residuos peligrosos. Además, son responsables de determinar si sus residuos son peligrosos o no así como de cumplir con las NOM sobre clasificación y extracción.

El reglamento de residuos peligrosos impone también responsabilidades sobre los generadores de informar acerca de fallas en el sistema de control de manifiestos a la SEMARNAP. El generador es el responsable final de garantizar que el transporte y disposición final de sus residuos peligrosos cumplan con el Reglamento de residuos peligrosos y las NOM aplicables, y de que todas las personas que participen en el manejo de los mismos se registren debidamente ante la SEMARNAP.

Manejo de residuos peligrosos. Bajo el reglamento de residuos peligrosos, el manejo de los mismos incluye todas las operaciones relacionadas con el almacenamiento, recolección, transporte, confinamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos. Se requiere un permiso especial de la SEMARNAP para manejar residuos peligrosos con base en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) de la SEMARNAP.

Tratamiento. se define el término tratamiento como la acción de transformar los residuos, por medio de lo cual se cambian sus características. El tratamiento de residuos peligrosos pertenece a la categoría de "manejo de residuos peligrosos", y toda actividad de tratamiento debe ser autorizada por la SEMARNAP.

Almacenamiento. El almacenamiento de residuos peligrosos se define como la acción de retener temporalmente residuos en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección, o se dispone de ellos. Se define disposición final de manera independiente al almacenamiento. En virtud de este último pertenece a la categoría de manejo de residuos peligrosos, deben obtenerse los permisos respectivos de manejo antes de operar una instalación de almacenamiento temporal.

Contenedores. En términos generales, los contenedores para el almacenamiento temporal deben cumplir con las condiciones establecidas en las normas técnicas, debiendo estar debidamente etiquetados. Los contenedores deben estar debidamente diseñados para evitar pérdidas y vertimientos durante la descarga, carga y transporte, prevenir que los operadores se vean expuestos a los residuos peligrosos y estar debidamente etiquetados. Si bien no se han establecido NOM que regule los contenedores de almacenamiento de residuos peligrosos, se han promulgado NOM relacionadas con los contenedores de transporte.

Instalaciones de almacenamiento. El almacenamiento temporal de residuos peligrosos tanto en áreas cerradas como abiertas, debe cumplir con las condiciones mínimas de los reglamentos y normas técnicas.

Disposición. La disposición de residuos peligrosos es la acción de depositar en forma permanente en sitios adecuados y condiciones apropiadas a fin de evitar daños al ambiente. Como la disposición pertenece a la categoría de manejo, debe obtenerse el permiso respectivo antes de operar una unidad de disposición final. Las personas físicas o morales dedicados a la disposición final de residuos peligrosos son responsables de el tratamiento previo a los mismos que sea necesario

La disposición final puede ser de tres tipos: (1) confinamiento controlado; (2) confinamiento en formaciones geológicas estables; y (3) receptores de agroquímicos. El confinamiento controlado, o tiradero no natural, se define como la obra de ingeniería para la disposición final de residuos peligrosos que garantice su aislamiento definitivo. El confinamiento en formaciones geológicas estables es la obra de ingeniería para la disposición final de residuos peligrosos en estructuras naturales impermeables que garanticen su aislamiento definitivo.

Reducción de residuos

La reducción de residuos bajo el derecho ambiental mexicano se presenta como reciclaje o reuso. Ambas actividades pertenecen a la categoría de manejo de residuos peligrosos y requieren de permisos. La reducción de residuos forma parte integral de los Planes Nacionales de Desarrollo.

Ubicación

La selección de el sitio de una instalación de disposición final debe cumplir con las normas técnicas y ecológicas respectivas, así como con las políticas y disposiciones generales sobre contaminación del suelo y uso de terrenos.

Responsabilidad y aplicación

De acuerdo con los términos generales de la Ley de Ecología y el Reglamento de residuos peligrosos, toda infracción a las leyes sobre residuos peligrosos está sujeta a sanciones administrativas. El reglamento no hace una distinción entre propietarios y operadores presentes y pasados en cuanto a la asignación de responsabilidades. Las sanciones administrativas por infracciones a las disposiciones sobre residuos peligrosos incluyen las siguientes:

1. multas de 20 a 20,000 veces el salario mínimo diario general en el Distrito Federal;
2. clausura temporal o definitiva, total o parcial por infracciones a las leyes sobre residuos peligrosos;
- 3.- arresto administrativo de hasta de 36 horas.

Además, a discreción de la SEMARNAP, todos los permisos de operación están sujetos a revocación por infracciones graves o reincidencia. El no cumplir con los recursos administrativos para subsanar las infracciones dará lugar a multas adicionales por cada día que continúen dichas violaciones. En caso de cometer una infracción dos veces en el mismo año, podrá imponerse una multa del doble de la originalmente impuesta. Por otra parte, las sanciones civiles y penales a que hubiera lugar bajo la ley mexicana son independientes de las penalizaciones administrativas señaladas en el Reglamento de residuos peligrosos.

CONVENIOS Y REGLAMENTACIONES INTERNACIONALES RELACIONADAS CON TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS.

Convenio entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre cooperación para la protección y mejoramiento del medio ambiente en la zona fronteriza (Convenio de la Paz). (en vigor a partir de febrero de 1984)

Pretende establecer las bases para prevenir y controlar la contaminación en la zona fronteriza (100 km de cada lado de la frontera). El anexo III de este convenio contiene los acuerdos sobre transporte de sustancias y residuos peligrosos.

Plan Integral Ambiental Fronterizo (Monterrey, N.L., Noviembre 1990)

El Plan Integral Ambiental Fronterizo:

- * Delinea las características ambientales de la zona fronteriza y describe el estado actual de diversos problemas significativos de carácter ambiental en la frontera.
- * Resume los logros en materia de cooperación ambiental fronteriza, alcanzados a la fecha por los organismos ambientales bilaterales, nacionales, estatales y locales.
- * Articula el compromiso de todos los organismos ambientales, mexicanos y estadounidenses, de manera que trabajen cooperando para una mejor comprensión de los aspectos ambientales de la zona fronteriza, estableciendo prioridades y desarrollando mecanismos para instrumentar las soluciones.
- * Establece programas que fortalecen la cooperación de ambos gobiernos a todos los niveles e involucra al sector privado en la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales prioritarios de la zona fronteriza.
- * Establece recomendaciones generales para realizar y para ayudar a hacer completamente viable este Plan Integral Ambiental Fronterizo.
- * Entre los grupos de trabajo, se designa uno dedicado a residuos peligrosos.

Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)

- * En marzo de 1992 los países miembros (México incluido) adoptaron la decisión C(92)39 para controlar el movimiento transfronterizo de los residuos.
- * En esta organización se clasifican los residuos en tres grupos de acuerdo a su peligrosidad: verdes (G), rojos (R) y ámbar (A). Los residuos rojos y ámbar se consideran peligrosos, proponiéndose la necesidad de regulación de sus movimientos transfronterizos. Los verdes no se consideran peligrosos, por lo que no se regulan en base a su peligrosidad.
- * Los 25 países miembros de la OCDE acordaron la prohibición inmediata del movimiento transfronterizo de residuos peligrosos para disposición final hacia países no miembros de la organización, dando plazo hasta 1997 para cesar el movimiento de estos residuos.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Convenio de Basilea)

Dentro del Convenio de Basilea una sección se titula "Control de los Movimientos Transfronterizos de los desechos peligrosos". En los anexos I y II de este documento se establecen los acuerdos para el transporte de desechos, clasificados en base al tipo de desecho. Se establecen 47 categorías para los desechos controlados (Y1 a Y47).

LEGISLACIÓN DE ESTADOS UNIDOS

Importancia de la legislación de los E.U. para reducir la contaminación.

El problema de los residuos peligrosos es un subproducto de el rápido crecimiento económico y de la expansión industrial (plásticos, automóviles, y otros importantes sectores manufactureros).

Previo a el nacimiento de la RCRA (Acta de Recuperación y conservación de Recursos) existían pequeñas legislaciones para los residuos sólidos, practicaban aquellas tecnologías permitidas para remover contaminantes eficientemente de las corrientes de aire y agua.

No fue hasta 1970 que se aprobó el RCRA como el mejor y el primer documento regulatorio de residuos peligrosos y su efectiva disposición.

En 1970 se registró un acta concerniente a los efectos adversos a la salud , y el departamento de salud, educación y bienestar dirigió el estudio del problema de almacenamiento y disposición de residuos peligrosos.

ACTA DE RECUPERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS DE 1976 (RCRA).

Vino para reemplazar el previo lenguaje de el acta de disposición de residuos sólidos de 1965. Debido al enorme crecimiento en la producción de residuos. Los objetivos de esta acta son para promover la protección de la salud y el medio ambiente y para conservar los valiosos recursos materiales y de energía junto a:

- Promover técnicas y ayuda financiera a los gobiernos estatales y locales y agencias interestatales para el desarrollo de diseños de manejo de residuos sólidos (incluyen sistemas de recuperación y conservación de recursos) esa promoción mejora las técnicas de manejo de residuos sólidos (incluyendo medidas organizacionales más efectivas), métodos nuevos y mejorados para colección, separación y recuperación de residuos sólidos y disposición segura para el medio ambiente de residuos no recuperables.

- Proveer de entrenamiento en ocupaciones relacionadas con el diseño, operación y mantenimiento de sistemas de disposición de residuos sólidos.

- Prohibir futuras aberturas de descarga sobre la tierra y requerimiento de la conversión de vertederos existentes para no dañar el medio ambiente o la salud.

- Regulaciones para el tratamiento, almacenamiento, transporte y disposición de residuos peligrosos para proteger de los efectos adversos sobre la salud y el medio ambiente.

- Promover la promulgación de manuales para colección de residuos sólidos. transporte, separación, recuperación y disposición de prácticas y sistemas.

- Promover la investigación nacional, desarrollo de programas para mejorar el manejo de residuos sólidos y las técnicas de conservación de recursos, una medida organizacional más efectiva, nuevos y mejores métodos de colección, separación, recuperación y reciclaje de residuos sólidos y disposición de residuos no recuperables.

- Promover la demostración, construcción y aplicación del manejo de residuos sólidos, recuperación de recursos, y sistemas de conservación de recursos, preservar y acrecentar la calidad del aire, agua y recursos de la tierra.

- Establecer un esfuerzo cooperativo entre los gobiernos federales, estatales y locales y empresas privadas en orden para recuperar valiosos materiales y energía para residuos sólidos.

La RCRA está dividido en 8 subtítulos, estos subtítulos son:

(A) Provisiones generales

(B) Oficio de residuos sólidos
autoridades de la administración.

(C) Manejo de residuos peligrosos.

(D) Planos estatales y regionales de residuos sólidos.

(E) Deber de la secretaría de comercio en recursos y recuperación.

(F) Responsabilidades federales.

(G) Provisiones diversas y

(H) Investigación, desarrollo, demostración e información.

Porciones de los subtítulos A y C son discutidos aquí:

En el subtítulo A, son definidos clave de palabras y términos usados; en el subtítulo C se encuentra un armazón para la RCRA para el programa de manejo de residuos peligrosos.

SUBTÍTULO A

Sección 1004 Términos usados en el manejo de residuos.

Residuo peligroso: es definido como residuo sólido que puede causar un aumento en la mortalidad, serias enfermedades o puede causar peligros substanciales a la salud o a el medio ambiente cuando hay un manejo inadecuado.

Generación de residuos peligrosos: el acta o proceso de producción de residuos peligrosos.

Manejo de residuos peligrosos: el control sistemático de colección, fuente de separación, almacenamiento, transportación, procesamiento, tratamiento, recuperación y disposición de residuos peligrosos.

Residuo sólido: Cualquier basura, lodo, desecho para plantas de tratamiento de residuos, plantas de tratamiento de suministro de agua, y facilidad de control de contaminación de aire y otros materiales descartados, incluyendo sólidos, líquidos, semisólidos o materiales que contienen gases que resultan por operaciones industriales, comerciales, minería, agricultura y de actividades comunitarias, no son incluidos materiales disueltos en aguas domésticas o sólidos o materiales disueltos en irrigaciones de flujos de retorno, o descarga industrial cuando son señalados como fuente sujetas a permiso bajo el acta federal de control de contaminación de agua.

Almacenamiento: Cuando se usa en unión de residuos peligrosos, los envases que contienen residuos peligrosos, otros que los contienen temporalmente o por un período de años.

Disposición: Hay que poner atención especial en el almacenamiento, depósito, inyección, descarga, o derrame de cualquier residuo peligroso en cualquier tierra o agua, así ese residuo sólido, peligroso o cualquier constituyente de este no podrá entrar en el medio ambiente o ser emitido en el aire o descargado en agua o tierra.

Tratamiento: Cuando se usa en unión de residuos peligrosos, los recursos de cualquier método, técnica o proceso, incluyendo la neutralización destinada a variar el carácter físico, químico o biológico y/o la composición de cualquier residuo peligroso así como para neutralizar tal residuo, para seguridad en el transporte, tratable para recuperación, o reducir su volumen. Tales términos incluyen cualquier actividad de procesamiento destinado a el cambio de forma en la composición física o química de residuos peligrosos, y no peligrosos.

SUBTÍTULO C

Manejo de residuos peligrosos.

Los subtítulos C y D generan el armazón para los programas de control regulatorios para el manejo de residuos peligrosos y residuos sólidos no peligrosos, respectivamente.

El programa de residuos peligrosos bajo el subtítulo C., el cual está en 11 subsecciones, cada una de las cuales es resumida aquí; usando mucho el lenguaje contenido en el documento original.

Sección 3001 Identificación y listado de residuos peligrosos.

Sección 3001 requirió la EPA para promulgar los criterios para ser considerado como peligroso un residuo en particular. Factores tales como inflamabilidad, corrosividad, toxicidad, persistencia y degradabilidad en el medio ambiente, como fuente así como por acumulación potencial en los tejidos. En resumen, otras características peligrosas pueden ser añadidas a la lista en el futuro por nuevas necesidades.

Sección 3002 Standares aplicables a generadores de residuos peligrosos.

El administrador EPA es requerido para promulgar regulaciones, después de la consulta con agencias estatales y federales apropiadas., estableciendo estándares para generadores de residuos peligrosos. Estos estándares son establecidos en una acta, las cuales contienen:

- prácticas exactas para identificar las corrientes de residuos, constituyentes y cantidades.
- la disposición de los residuos.
- clasificar los residuos para almacenamiento, transporte, o identificación de disposición.
- uso de contenedores apropiados.
- proveer de información sobre la composición química de residuo para un fácil tratamiento, almacenamiento y disposición.
- presentar reportes a la EPA respecto a las cantidades de residuos generados durante este periodo de reporte.
- y la disposición de todos los residuos peligrosos durante este mismo periodo.

Sección 3003 Standares aplicados a transportadores de residuos peligrosos.

Bajo esta sección son establecidos los Standares para los transportadores de residuos peligrosos. Los standares incluyen:

- transporte de residuos.
- incluyen fuentes de origen.
- propósitos de rescate.
- una propia clasificación de los residuos.
- cumplimiento con el sistema prescrito.
- y límites de transportación de todos los residuos peligrosos.

Esta sección también estipula que la EPA debe coordinar esos esfuerzos con el departamento de transportación en estos casos en donde los residuos peligrosos caen bajo el acta de transportación de materiales peligrosos.

Sección 3004 Standares aplicables a dueños y operadores de tratamiento, almacenamiento y facilidades de disposición de residuos peligrosos. Esta sección provee el establecimiento de standares y regulaciones para facilitar el tratamiento y almacenamiento de residuos peligrosos. Estos standares y regulaciones corresponden a mantener relacionados a todos los residuos peligrosos. Tratados con respecto a el tratamiento, almacenamiento y disposición; relación, monitoreo e inspección de:

- mantenimiento y operación en conformidad con procedimiento satisfactorios a la EPA.
- designar la localización, diseño y construcción de facilidades.
- proveer de instrucción y entrenamiento, continuidad de dominio y para proveer standares para responsabilidad financiera.

Sección 3005 Permisos para tratamiento, almacenamiento y disposición de residuos peligrosos.

Esta sección cubre permisos para el tratamiento, almacenamiento y disposición de residuos peligrosos. La aplicación de un permiso debe incluir estimados de cantidades, composiciones y concentraciones de los residuos anticipados, como el tiempo, frecuencia y/o proporción de verter, de recibir y tratar el residuo, y descripción del sitio.

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (EPA)

La acción ambiental efectiva se materializó por medio de la creación de la agencia de protección ambiental de Estados Unidos(EPA), establecida el 2 de diciembre de 1970. Previo a la creación de la EPA, diversos programas y organizaciones trataron el problema de la contaminación. EPA trabaja junto con diversos programas y organizaciones ambientales, cuyo presupuesto reciente es en billones de dólares.

La EPA realiza 3 trabajos de acuerdo a esta acta :

- 1.- Definir cuales son las características de un residuo peligroso (toxicidad, flamabilidad, etc.)
- 2.- Desarrollar estándares de todos los aspectos de manejo, transportación y disposición de residuos peligrosos.
- 3.- Hacer cumplir las regulaciones de residuos peligrosos tales programas son equivalentes a el programa federal.

En noviembre de 1984, La enmienda de residuos sólidos y peligrosos (HSWA) y RCRA convinieron leyes.

La agencia de protección ambiental ,EPA, define los residuos peligrosos sobre las bases de 4 características para que sean probadas, estas son: corrosividad, reactividad, inflamabilidad y procedimiento tóxico de extracción (EP).

Un generador de residuos peligrosos es responsable por lo siguiente:

- 1.- Determinar si los residuos generados son peligrosos .
- 2.- Usar los contenedores apropiados.
- 3.- Preparar una demostración para señalar los residuos peligrosos.
- 4.- Presentar un sumario anual de actividades.

Los standares para todos los dueños y operadores que tratan, almacenan y disponen de residuos peligrosos son:

- 1.- Efectuar un tratamiento característico, almacenamiento y métodos de disposición.
- 2.- Proveer estados con standares mínimos
- 3.- Proveer de programas de manejo de residuos peligrosos con ayuda técnica.

La disposición de residuos sólidos establecida en el acta de 1965 por la oficina de administración de residuos sólidos hoy en día funcionan bajo la EPA. Esta es responsable de:

- 1.- Iniciación y/o aceleración de investigaciones y desarrollo de programas enfatizando su recuperación y reuso.
- 2.- Técnicas y financiamiento de ayuda a estados, comunidades, y agencias privadas en el desarrollo de programas para almacenamiento, transportación, procesamiento, reciclaje y en otro caso la disposición de residuos sólidos.

SEGURIDAD OCUPACIONAL Y ADMINISTRACIÓN DE SANIDAD (OSHA)

Es creada en 1970 y operada dentro del departamento de trabajo de U.S. Esta legislación previene el daño y enfermedades en el lugar de trabajo. La seguridad y salud en trabajos duros, ya que el trabajo es un campo en promoción de la seguridad y salud, la OSHA coopera ampliamente con el instituto nacional de seguridad ocupacional y salud (NIOSH), la cual es una agencia de investigación federal y con la agencia de protección ambiental (EPA) creada para la salud de los obreros.

La tasación de los riesgos son establecidos por OSHA y cuando los obreros son expuestos a riesgos o daños la OSHA toma acción.

ACTA NACIONAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE 1970.

Sentó leyes el 1 de enero de 1970 y estableció una política nacional para mantenimiento de las condiciones bajo las cuales el hombre y la naturaleza pueden existir en productiva armonía, y cumplir en lo social, económico y otros requerimientos de presentes y futuras generaciones de americanos.

A través de esta ley, el presidente nombró un consejo consultivo sobre calidad ambiental (CEQ) para la iniciación de un largo rango de proyectos, avisar y coordinar el esfuerzo ambiental a nivel federal.

ACTA DE CONTROL DE SUSTANCIAS TÓXICAS (TSCA) 1976

Esta acta da la autorización a la EPA para regular el desarrollo, distribución, y tráfico en el mercado de productos químicos. Fabricantes y procesadores deben de notificar a la EPA antes de 90 días de introducir nuevos químicos a el mercado para que se realicen pruebas para determinar su toxicidad.

Planes regionales y estatales de manejo de desechos sólidos. El gobierno federal brinda asistencia técnica y financiera a los estados y regiones que adopten e instrumenten planes generales de manejo de desechos sólidos que cumplan con ciertos principios federales.

Vertederos de desechos sólidos. La EPA ha emitido normas específicas para la operación y diseño de todos los vertederos de desechos sólidos. Todo vertedero que no cumpla con dichas normas se considera un "vertedero abierto" y queda prohibido. La eliminación de desechos sólidos no peligrosos, incluyendo desechos domésticos, no puede realizarse en vertederos abiertos. Se aplican requisitos especiales a los vertederos de desechos sólidos municipales que reciben desechos peligrosos de uso doméstico o generadores de bajo volumen, los cuales están excluidos de la cobertura de desechos peligrosos de la RCRA. Los reglamentos de vertederos municipales incluyen normas detalladas para la ubicación, diseño, operación mantenimiento, cierre y postcierre, aseguramiento financiero, monitoreo de aguas del subsuelo y acciones correctivas.

Incineradores de desechos sólidos. Las reformas a la ley de aguas limpias de 1990 establecen limitaciones específicas sobre emisión que exigen esencialmente una tecnología de control máximo alcanzable igual a la exigida por el programa de normas nacionales de emisión para los contaminantes del aire (NESHAPs) y otros requisitos tanto para los nuevos como para los viejos incineradores de desechos sólidos. La instrumentación de estas normas queda de parte de los estados, los cuales deben presentar sus planes de instrumentación a la EPA para su aprobación.

Transporte de desechos sólidos en aguas costeras. La ley de protección de las costas de 1988, prohíbe el transporte de cualquier desecho sólido municipal o comercial en las aguas costeras sin un permiso de la Secretaría de Transporte. La ley también exige precauciones racionales en la carga, aseguramiento y descarga de desechos comerciales o municipales y exige la limpieza de cualquier desecho que se haya depositado en las aguas costeras. La secretaría de transporte está autorizada para revisar los buques que transportan desechos y negar la entrada a cualquier lugar de los Estados Unidos si un buque no dispone del permiso requerido. La operación sin un permiso esta sujeta a sanciones civiles de hasta \$10,000 por día por violación. Hay sanciones civiles de hasta \$25,000 por la violación de esta ley.

Esfuerzos estatales en la prevención de la contaminación. Más de veinte estados han adoptado algún tipo de programa de prevención de la contaminación. El enfoque de cada estado es diferente, pero todos exigen el uso de un plan de reducción o prevención de la contaminación y reportes periódicos de progreso.

Reciclaje. No existe requisito federal sobre el reciclaje para la mayoría de los desechos sólidos. Los estados y los gobiernos locales han establecido programas de reciclaje para ciertos desechos, generalmente botellas y latas, baterías de plomo y periódicos.

Problemas de ubicación. Los problemas de dónde se ubican los vertederos de desechos sólidos o incineradores son generalmente decisiones de los estados y las autoridades sobre el uso de tierras locales.

RESPONSABILIDAD Y APLICACIÓN

Responsabilidad. De acuerdo con las reformas a la RCRA de 1984, la EPA puede exigir a las plantas que generan desechos peligrosos la limpieza de cualquiera unidad de manejo de desechos sólidos ubicados en la planta, independientemente de si los lugares específicos contienen o no un desecho peligroso según la RCRA.

Aplicación. La aplicación de la prohibición sobre vertederos abiertos y otras exigencias en el manejo de desechos sólidos no peligrosos queda de parte de los estados. El gobierno federal brinda asistencia técnica y financiera para la instrumentación de los planes de manejo de desechos sólidos por los estados.

Demandas ciudadanas. Se admiten demandas legales de ciudadanos contra personas que descarguen desechos sólidos en un vertedero abierto. Los ciudadanos que demandan la prohibición de prácticas que representen un peligro sustancial e inminente deben remitir notificación en el término de 90 días y cumplir con ciertos requisitos. Otras demandas de ciudadanos no pueden entablarse sin antes brindar notificación con 60 días de antelación al acusado, ni se puede seguir juicio si ya la EPA o un estado están manejando de manera diligente acciones civiles en el caso.

LEGISLACIÓN CANADIENSE (RESIDUOS PELIGROSOS)

La ley de protección al ambiente de Canadá (CEPA). Establece requisitos para la exportación e importación de desechos peligrosos por medio de los reglamentos sobre la exportación e importación de desechos peligrosos. Bajo el encabezado "Exportación e importación de sustancias tóxicas y materiales de desecho", la CEPA establece tres listas de identificación en las que se prohíben o monitorean sustancias peligrosas y tóxicas: "lista de sustancias prohibidas", "lista de sustancias tóxicas que requieren notificación de exportación" y la "lista de desechos peligrosos que requiere notificación de exportación o importación". El gobierno federal y el Ministerio del medio ambiente de Canadá han elaborado políticas para tratar el problema del almacenamiento y disposición de materiales peligrosos. Igualmente, se han publicado lineamientos nacionales a través del CCME (Consejo de Ministros del Ambiente de Canadá) para el tratamiento y disposición de desechos peligrosos.

La ley de transporte de productos peligrosos y sus reglamentos rigen el movimiento transfronterizo de todos los productos peligrosos que cruzan las fronteras provinciales o internacionales, incluyendo los desechos peligrosos transportados por carretera, ferrocarril, barco o aeronave.

Provincias y territorios. Se aplican requisitos adicionales al manejo de desechos peligrosos. El término desecho peligroso se define a menudo en la legislación provincial, de acuerdo con una lista de tipos de desechos que aparece en forma de anexo. Estas listas son amplias y precisas en cuanto al tipo de sustancias que se identifican como desecho peligroso, estando sujetas a requisitos legales más severos. Tales requisitos incluyen el registro ante las autoridades respectivas de el generador, del desecho, así como llenar un manifiesto de envío de desechos. Los desechos biomédicos están regulados por la legislación específica solo en algunas provincias.

Criterios para establecer categorías a los desechos peligrosos.

Federal. La CEPA define el término desecho peligrosos como cualquier bien que se considere como desecho según el significado adscrito en la *ley de transporte de productos peligrosos* de 1992, o cualquier sustancia especificada en la "lista de desechos peligrosos que requieren notificación de exportación o importación".

Provincias y territorios. La mayor parte de la legislación provincial y territorial ha establecido una lista de tipos de desechos identificados como peligrosos. Los generadores de desechos peligrosos generalmente deben registrarse ante las autoridades respectivas.

Requisitos de tratamiento, almacenamiento y disposición

Las autoridades provinciales, territoriales y municipales se encargan de estos aspectos. Por lo general, estas jurisdicciones cuentan con disposiciones que regulan, por medio de un permiso o licencia, la disposición de desechos en tiraderos, incineradores, instalaciones empleadas para el procesamiento de desechos y otros tipos de sitios para la eliminación de desechos (sitios de mezcla de basuras, vertederos, pulverizadoras, estaciones de transferencia y sitios de llantas usadas).

Reducción de desechos

Las iniciativas sobre reducción de desechos peligrosos se realizan a nivel provincial, pero generalmente no se contemplan en el esquema regulador tradicional sobre administración de desechos. Existen aún unas cuantas normas para el funcionamiento de instalaciones de reciclaje que las sujetan a los mismos requisitos que las instalaciones convencionales de disposición.

Aspectos de ubicación

El consejo de ministros del ambiente de Canadá (CCME) elaboró en abril de 1991 los Lineamientos Nacionales para el Depósito en Tiraderos de Desechos Peligrosos. Estos lineamientos consideran los siguientes aspectos: elección del sitio; diseño y construcción; cierre y medidas de precaución posteriores al cierre; y la operación y monitoreo del depósito en tiraderos de desechos peligrosos. Los lineamientos tienen el propósito fundamental de aplicarse a nuevas instalaciones de depósito, no a las ya existentes. No se dirigen al depósito en tiraderos de desechos radioactivos, según se regulan por el Consejo de Energía Atómica.

LEGISLACIÓN EUROPEA

En contraste con las practicas de los Estados Unidos, la disposición de residuos peligrosos en Europa, históricamente, favorece la destrucción y tratamiento de algunas de las tierras de relleno.

Europa esta con un buen adelanto sobre los Estados Unidos en el área ambiental.

Dinamarca: Durante todo 1970, la incineración fue preferida como una alternativa de disposición , en 1972, Dinamarca aprobó el Acta de Disposición de aceites y residuos químicos que ofrece poder para regular la disposición de residuos a lo largo de el país.

La Agencia Nacional de Protección Ambiental aprobó las regulaciones diseñadas para prevenir la contaminación causada por aceites peligrosos y residuos químicos. Estas regulaciones cubren todos los tipos de almacenamiento, transportación y disposición de residuos peligrosos. Para implementar este programa en el año de 1970 Dinamarca estableció las estaciones de transferencia intermunicipales, las estaciones de *transferencia que están bajo la jurisdicción de los municipios locales.*

Francia: En Francia la legislación ambiental aprobada en 1975 autorizó a la industria SARP, cerca de París , para proveer incineración a residuos líquidos peligrosos y tratamientos físicos y químicos como neutralización, reducción y fijación del proceso. Desde entonces la SARP estableció plantas de incineración en las regiones de Bordeaux y Bretaña y plantas de tratamiento químico y físico cerca de Lyon y Lorraine.

Suecia: Suecia permitió una central única para tratamiento de residuos peligrosos y fácil disposición en Norrtorp la cual es operada por *Svensk Avfalls Konvertering AB (SAKAB).*

La mayoría de las operaciones de la SAKAB son de el gobierno sueco.

Finlandia: En 1980, Finlandia aprobó una legislación creada con un sistema central para la colección, transportación, tratamiento y disposición de residuos peligrosos.

Bélgica: En 1985, una compañía privada, INDAVER, N.V., dio la autorización para tratar y disponer de muchos de los residuos químicos peligrosos en la ANTWERP región de Bélgica.

España: En 1986, cuando España unió a la Comunidad Económica Europea, la legislación fue aprobada lo cual obligó a la industria de España al manejo y disposición *de residuos peligrosos.*

ANEXO B

Lista Federal de 403 sustancias químicas muy tóxicas, con efectos en la salud humana.

La siguiente lista compilada por la Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A. (EPA) de 403 sustancias manufacturadas, usadas y almacenadas en los E.U.A., poseen un peligro inmediato para la vida y la salud en un eventual accidente en una instalación química.

La separación de categorías fue hecha por The New York Times basándose en manuales de referencia y consultando a expertos, quienes también proporcionaron la descripción de los efectos tóxicos. Algunas sustancias pertenecen a diferentes categorías: la correspondiente a su uso primario o su efecto en la salud fue la elegida.

1. Ácidos - 5

Reactivos, corrosivos. Producen quemaduras en piel, ojos, vías nasales, al contacto.

2. Cianuros - 16

Evitan la absorción del oxígeno por el cuerpo, algunos son altamente tóxicos. Algunos se usan para fabricación de plásticos; los productos terminados pierden su toxicidad. Otros se usan en la extracción de metales de películas fotográficas o minerales.

3. Gases industriales - 17

Piezas fundamentales para muchos productos químicos. Debido a que son gases, pueden dispersarse fácilmente fuera de la planta cuando hay un escape.

4. Productos farmacéuticos - 25

Destinados para atacar ciertos organismos, tales como bacterias, en pequeñas dosis. En dosis mayores son altamente tóxicos para los humanos.

5. Intermediarios químicos - 91

Hechos de sustancias químicas básicas, usados para producir compuestos químicos comerciales más complejos. Muchas veces son más tóxicos que los productos terminados.

6. Plaguicidas - 147

Designados para matar ciertos organismos específicos en dosis pequeñas. Dañinos para los humanos en dosis mayores.

7. Plastificantes, compuestos - 26

Algunos son cianuros. Estas son pequeñas moléculas, mucho más peligrosas que los productos terminados, que se polimerizan para formar plásticos estable o hules sintéticos.

8. Metales y compuestos - 29

Usados ampliamente, desde sustancias fotoquímicas y plaguicidas, a aditivos de gasolina. Típicamente interfieren con las enzimas humanas, inhibiendo el metabolismo de alimentos y otras sustancias.

9. Solventes - 6

Usados ampliamente en pinturas y productos de limpieza. Causan daño al hígado, sistema nervioso y otros sistemas.

10. Productos usados en guerra química - 7

A menudo, compuestos químicos semejantes a los plaguicidas; se usan para causar daño a los humanos. Algunos afectan seriamente el sistema respiratorio; otros causan daño al sistema nervioso. Algunos han sido diseñados por el Departamento de Defensa de los EUA y son almacenados en sitios clasificados.

11. Saborizantes y aromas - 3

Usados en la manufactura y procesado. Como las medicinas, son beneficiosos en pequeñas dosis pero dañinos a dosis mayores.

12. Catalizadores y reactivos - 12

Usados para acelerar o llevar a cabo reacciones químicas.

13. Misceláneos - 19

Sustancias químicas para las que no hay un uso conocido; algunos son usados en investigación y otros tienen un uso único.

1. Ácidos

Ácido Clorhídrico
Ácido Cloroacético
Ácido Nítrico
Ácido Sulfúrico
Fluoruro de Hidrógeno

2. Cianuros

Ácido Cianhídrico
Acrilnitrilo
Adiponitrilo
Bencilo cianuro
Cianógeno Bromuro
Cianógeno Yoduro

6. Plaguicidas

1,3-Ditiofano
-2-carboxialdehído 2,4
dimetil-,o (metilcarbamoil) oxima
2-Exo-sloro-6-endociano-
2-norboranona
o-(metilcarbamoiloxima)
Aldicarb
Aldrin
Aluminio fosfuro
Aminopterín
Amitón
Amitón oxalato
Antimicina

Butadieno
Dibutilftalato
Dimetil diclorosilano
Dimetilftalato
Diocetilftalato
Ditiobiuret
Isoforona di-isocianato
Metacriloloxietil
isocianato
Metil 2-cloroacrilato
Metil vinilcetona
Metiltriclorosilano
Oxetano, 3, 3-Bis
(clorometilo)

Formaldehído-cianohidrina
Isobutironitrilo
Lactonitrilo
Malononitrilo
Metacrilonitrilo
Potasio Argento Cianuro
Potasio Cianuro
Propionitrilo
Propionitrilo, 3-cloro
Sodio Cianuro

3. Gases industriales

Amoniaco
Arsina
Azufre tetrafluoruro
Bromo Cloro
Diborano
Dióxido de Azufre
Flúor
Metil Mercaptano
Óxido Nítrico
Óxido Nitroso
Ozono
Seleniuro de Hidrógeno
Bencilo cloruro
Sulfuro de Hidrógeno
Telurio Hexafluoruro
Trióxido de Azufre

4. Fármacos

Anfetamina
Bacitracina
C.I. Verde básico
Cantaridina
Carbacol Cloruro
Colchicina
Digitoxina
Digoxina
Diltiazanina yoduro
Emetina dicloruro
Ergocalciferol
Ergotamina tartrato
Feniltiourea
Filoquinona
Fisostigmina
Fisostigmina salicilato
Fluoracilo
Indometacina
Mecloroetamina
Mitomicina C
Muscimol
Oubaina
Picrotoxina
Tris (2 cloroetil) amina

Antu
Arsenioso óxido
Arsenioso pentóxido
Arsenioso tricloruro
Azinphos-metilo
Bifoscanato
Bromediolona
Calcio arseniato
Camphechlor
Carbofenotión
Carbofurano
Cianofos
Cicloheximida
Clordano
Clorfenvinfos
Clormefos
Clorofacinona
Cloromequat cloruro
Clorotiofos
Cloroxurón
Coumafos
Coumafurilo
Crimidina
Cuomate trailil
Demetón
Demetón-s-metilo
Dialifos
Diclorobenzalconico cloruro
Diclorvos
Dicrotofos
Diepoxibutano
Dietilcarbamacina citrato
Dietilo clorofosfato
Difacinona
Difosforamida.
Octametil-
Dimefox
Dimetil
fosforocloroditioato
Dimetilán
Dimetoato
Dinitri cresol
Dinoseb
Dinoterb
Dioxatión
Disulfotón
Endosulfán
Endotión
Endrín
EPN
Estano tetraetilo
Estano trifenil cloruro

Piridina, 2- metil -5-vinil
Propilenglicol, aetil éter
Silano, (4-aminobutil)
diétoxi metil-
Tolueno, 2, 4-di-isocianato
Tolueno, 2, 6-di-isocianato
Tricloro(clorometil) silano
Tricloro(diclorofetil) silano
Terbufos
tiocianico ácido.
(2-Benzotiazolilitio)-metil ester
Tricloroetilsilano
Triclorofenilsilano
Trietoxisilano
Trimetilclorosilano
Vinilhorbomeno
Vinilo acetato monomero

8. Metales

Cadmio estearato
Cadmio óxido
Cobalto
Cobalto carbonilo
Crómico cloruro
Etil mercurico fosfato
Fenilmercurio acetato
Fierro pentacarbonilo
Galio tricloruro
Iridio tatracloruro
Mercurico acetato
Mercurico cloruro
Mercurico óxido
Metilmercurico
dicianoamida
Metoxietilmercurico
acetato
Niquel
Niquel carbomilo
Osmio tetróxido
Platino tetracloruro
Platinoso cloruro
Plomo tetraetilo
Plomo tetrametilo
Rodio tricloruro
Talio óxido
Talio carbonato
Talio cloruro
Talio malonato
Talisulfato
Telurio

9. Solventes

Carbono disulfuro

| | | |
|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Valinomicina | Estano trimenil cloruro | Ciclopentano |
| 5. Intermediarios | Estricnina | Cloroformo |
| Acetona Cianohidrina | Estricnina sulfato | Cumeno |
| Acetona tiosemicarbacida | Eti6n | Isopropanol |
| Acrililo Cloruro | Etoprofos | Metanol |
| Acroleina | Fenamifos | 10. Guerra quimica |
| Alil amina | Fenarsacina 6xido | Etilbis (2-cloroetil) |
| Alilico Alcohol | Fenitroti6n | amina (nitrogeno gas de mostaza) |
| Anilina | Fenol, 2,2'-tiobis | Gas mostaza |
| Anilina 2,4,6-trimetil- | (4- cloro-6-metil) | Isofluorato |
| Bencenamina, | Fenol,2,2; -tiobis (4,6 dicloro)- | Lewisita |
| 3-(trifluorometilo) | Fenol,3-(1-metiletil), | Sarln |
| Benceno, 1-(clorometil) | metilcarbamato | Tabun |
| 4-nitro | Fensulfoti6n | Tetranitrometano |
| Bencensulfonil cloruro | Fluenetil | (gas lacrim6geno) |
| Benzal cloruro | Fluoroacetamida | 11. Sabores y aromas |
| Bencilo cloruro | Fluoroac6tico 6cido | Butilo isovaleriato |
| Benzotricloruro | Fonofos | Carvona (menta piperita) |
| Bis (clorometil) cetona | Forato | Or6tico 6cido |
| Buteno-2,1,4-dicloro. | Formetnato | |
| (E)- | Fosatecim | |
| Bulil vinil 6ter | Fosfamid6n | 12. Catalizadores |
| Cian6rico fluoruro | Fosfol6n | Amonio cloroplatinato |
| Ciclohexilamina | Fosfonoti6ico 6cido | Antimonio pentafluoruro |
| Cloroacetaldehido | metil, o-(4-nitrofenil) o- | Bencenoars6nico 6cido |
| Cloroetanol | fenil ester | Boro trifluoruro |
| Cloroetilcloroformato | Fosfonoti6ico 6cido, metil-,o-etil | Boro trifluoruro |
| Clorometil metil 6ter | o-(-4-(metiltio) fenil) ester | compuesto |
| Clorometil6ter | Fosfonoti6ico 6cido. | con metil 6ter |
| Cresilico 6cido | Metil s- | Boro tricloruro |
| Crotonaldehido | (2-diisopropilano) etil | Litio Hidruo |
| Dicloroetil 6ter | o-etil ester | Perac6tico 6cido |
| Diclorometilfenil silano | Fosf6rico 6cido dimetil | Piridina 4-amino- |
| Dietil - P - fenilendiamina | 4-(metiltio) fenil ester | Sodio azida |
| Diglicidil 6ter | Fosmet | Titanio tetracloruro |
| Dimetil sulfato | Fostiet6n | Vanadio pent6xido |
| Dioxolano | Fuberidazol | |
| Epiclorohidrina | Hexaclorociclopentadieno | 13. Miscel6neos |
| Etanol, 1,2-Dicloro, acetato | Isobenz6n | Cobalto (II), N,N' |
| Etansulfonil cloruro-2 cloro | Isodrln | -Etilenbis (3-fluorosalicil- |
| Etil Tiocianato | Isopropilmetilprazolil- | lideniminato) |
| Etilen fluorhidrina | deimetilcarbamato | Decaborano (14) |
| Etilendiamina | Laptofos | Dimetil hidracina |
| Etilenimina | Lindano | Fenilcloro arsina |
| Etileno 6xido | Mefosfol6n | Fenisilatran |
| Fenilhidracina clorhidrato | Metamidofos | Hexacloronaftaleno |
| Fenol | Metidiati6n | Isopropilo formato |
| Fluoracetil cloruro | Metil bromuro | Manganeso tricarbonil |
| Formaldehido | Metilfenkapt6n | metilciclopentadienilo |
| F6sforo | Mellocarb | Nitrosodimetilamina |
| F6sforo oxiclururo | Metolcarb | organo rodio complejo |
| F6sforo pentacloruro | Metomil | Pentaborano |
| F6sforo pent6xido | Mevinfos | Pireno |
| | Mexocarbamato | |

| | | |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| <i>Fósforo triclóruo</i> | <i>Monocrotofos</i> | <i>Pentacloretano</i> |
| <i>Fosgeno</i> | <i>Nicotina</i> | <i>Piridina, 4 - nitro,</i> |
| <i>Furano</i> | <i>Nicotina sulfato</i> | <i>1 - óxido</i> |
| <i>Hexametilendiamina,</i> | <i>Norbromuro</i> | <i>Salcomina</i> |
| <i>N,N'dibutilo</i> | <i>Oxamil</i> | <i>Sodio antraquinona - 1-</i> |
| <i>Hidracina</i> | <i>Paraquat</i> | <i>sulfonato</i> |
| <i>Hidroquinona</i> | <i>Paraquat metosulfato</i> | <i>Sulfóxido, 3-cloropropilóctilo</i> |
| <i>Isocianico ácido, 3, 4-</i> | <i>Paratión</i> | <i>Trimetilopropano fosfita</i> |
| <i>diclorofenil ester</i> | <i>Paratión metilo</i> | <i>Xileno dicloruro</i> |
| <i>isopropil cloroformato</i> | <i>París verde</i> | |
| <i>Mesítleno</i> | <i>Pentaclorofenoil</i> | |
| <i>Metacrílico anhídrido</i> | <i>Perclorometilmercaptano</i> | |
| <i>Metacrilóil Cloruro</i> | <i>Piprotal</i> | |
| <i>Metacroleína diacetato</i> | <i>Piriminil</i> | |
| <i>Metansulfonil fluoruro</i> | <i>Primofos-etilo</i> | |
| <i>Metil disulfuro</i> | <i>Potasio arsenito</i> | |
| <i>Metil fosfórico dicloruro</i> | <i>Promecarb</i> | |
| <i>Metil hidracina</i> | <i>Protoato</i> | |
| <i>Metil isocianato</i> | <i>Sodio arseniato</i> | |
| <i>Metil isotiocianato</i> | <i>Sodio arsenito</i> | |
| <i>Metil tiocianato</i> | <i>Sodio cacodilato</i> | |
| <i>Metilcloroformato</i> | <i>Sodio fluoroacetato</i> | |
| <i>Nitrobenceno</i> | <i>Sodio pentaclorofenoato</i> | |
| <i>Nitrociclorohexano</i> | <i>Sodio warfarina</i> | |
| <i>Pentadecilamina</i> | <i>Sulfotep</i> | |
| <i>Piperidina</i> | <i>TEPP</i> | |
| <i>Propargil bromuro</i> | <i>Tiofanox</i> | |
| <i>Propil cloroformato</i> | <i>Tiometon</i> | |
| <i>Propilenimina</i> | <i>Tionacín</i> | |
| <i>Propileno óxido</i> | <i>Tiourea. (2-Metilfenil)-</i> | |
| <i>Propiolactona, beta-</i> | <i>Tiourea. (2- clorofenil)-</i> | |
| <i>Pseudocumeno</i> | <i>Triamifos</i> | |
| <i>Selenio oxiclóruo</i> | <i>Triazofos</i> | |
| <i>Selenioso ácido</i> | <i>Triclorfón</i> | |
| <i>Semicarbácida clorhidrato</i> | <i>Tricloronato</i> | |
| <i>Sodio seleniato</i> | <i>Warfarina</i> | |
| <i>Sodio telurito</i> | <i>Zinc dicloro (4,</i> | |
| <i>Tiocarbácida</i> | <i>4-Dimetil) -5-</i> | |
| <i>Tiofenol</i> | <i>(((metilamino) carbonil)oxy)imino)</i> | |
| <i>Tiosemicarbácida</i> | <i>Zinc fosfuro</i> | |
| <i>Tricloroacetil cloruro</i> | 7. Plastificantes | |
| | <i>Acrlamida</i> | |