



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

ANÁLISIS DEL IMPACTO ECOLÓGICO
DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A:
MIGUEL ANGEL SANCHEZ LOPEZ

ASESOR: ING. RAÚL CRUZ ARRIETA

MÉXICO

2004



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.

A DIOS

POR DARME LA VIDA,
POR ESTAR EN CADA MOMENTO DE MI EXISTENCIA,
POR DEJARTE SENTIR EN CADA PASO QUE DOY,
POR QUE SIEMPRE ME ACOMPAÑAS EN MIS TRISTEZAS,
EN MI SOLEDAD. EN MIS ALEGRÍAS, EN MI FELICIDAD.
POR SER PROVEEDOR CONSTANTE DE CADA UNA
DE MIS NECESIDADES.
POR SER TAN MARAVILLOSO. POR SER PORTENTOSO
POR QUE EN CADA MARAVILLA QUE EXISTE EN ESTE
UNIVERSO ESTA EL PODER DE DIOS.
POR QUE SÉ, QUE SIEMPRE ESTARÁS AHÍ.
GRACIAS A DIOS POR DEJARME SENTIR CON
TODO EL AMOR QUE ME HAS DADO QUE
QUE SIEMPRE ESTARÁS CONMIGO.

PARA TI SONY

PARA TI QUE ERES UNA MUESTRA FIEL
DE QUE EL AMOR EXISTE.
PARA TI MI ESPOSA POR SIEMPRE
PARA TI QUE CONOCES MIS MÁS
PROFUNDOS SENTIMIENTOS.
PARA TI QUE HAS APOSTADO TU VIDA POR MÍ
PARA TI QUE DÍA A DÍA ME DEMUESTRAS
TU INMENSO AMOR.
PARA LA MUJER QUE AMO Y RESPETO.

A MIS HERMANAS

ROSY, NINE, YUYIS, LUCHIS.

A USTEDES LAS MUJERES MÁS GRANDES QUE HE CONOCIDO,
POR SU CARÁCTER,
POR SU CONSTANCIA,
POR SU PERSEVERANCIA,
POR SU PACIENCIA
POR SU INTELIGENCIA
POR SU AMOR
POR SUS VALORES Y PRINCIPIOS
POR TODO LO QUE ME HAN APORTADO
POR ESTAR SIEMPRE CONMIGO
POR SER COMO SON
POR TODO ESTO Y MÁS
GRACIAS A DIOS POR PERTENECER
A ESTA FAMILIA

A MIS SUEGROS

POR SER PARTE DE MI FAMILIA
POR APOYARME EN TODAS MIS DECISIONES
POR SUS VALORES
POR SU GRAN AMOR
POR ESTAR JUNTO A MÍ.
GRACIAS POR TODO LO QUE ME HAN DADO

A MIS HIJAS

MIS DOS GRANDES AMORES
GRECIA YARED Y MICHEL AZENETH.

NUNCA PIERDAN EL RESPETO A USTEDES MISMAS,
SEAN FELICES SIEMPRE, RADIEEN TODO EL AMOR QUE PUEDAN
TENGAN EL CARÁCTER SUFICIENTE PARA SALIR ADELANTE
Y PARA SOBREPONERSE A CUALQUIER SITUACIÓN
QUE SE LES PRESENTE EN LA VIDA, NO OLVIDEN
QUE USTEDES PROVIENEN DE UNA FAMILIA EXITOSA.

A MIS SOBRINOS

PARA MIS SOBRINOS QUERIDOS
ALIN, LENIN, VANIA, ALISA, CARLOS, ROBERTO.
CON TODO EL CARIÑO, ESPERANDO QUE SIEMPRE
SE AYUDEN Y CONSERVEN LA INTEGRACION DE ESTA FAMILIA

A MIS AMIGOS

JUAN MARTIN
VICTOR
HUGO
ROBERTO
POR QUE HAN COMPARTIDO MIS EXITOS, Y MIS MALOS RATOS, POR TENER TIEMPO
DISPONIBLE CUANDO LOS HE NECESITADO, POR SER SIEMPRE POSITIVOS, POR SER QUIENES
SON, GRACIAS.

JUSTIFICACION

En el acervo con el que cuenta la biblioteca de la ENEP ARAGON no se tienen libros que traten el tema del presente trabajo, esto es debido a que este tema es bastante especializado, es por esta razón que con este trabajo pretendo dejar un antecedente escrito del tema en la escuela, que pueda servir de consulta a los estudiantes o egresados que busque información sobre el tema y apoyo a los profesores que pretendan dar una conciencia ecológica a sus estudiantes.

OBJETIVO

EL OBJETIVO DE ESTE TRABAJO, APARTE DE CUMPLIR CON EL REQUISITO PARA MI TITILACIÓN ES EL DE DEJAR UN ANTECEDENTE ACADÉMICO EN LA ENEP ARAGÓN SOBRE EL IMPACTO ECOLÓGICO QUE ACTUALMENTE SE TIENEN POR EL USO EN EL PASADO DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS, MEDIANTE UN CASO DE ESTUDIO, ESPERANDO SIRVA DE APOYO A ESTUDIANTES Y PROFESIONISTAS QUE BUSQUEN INFORMACIÓN SOBRE EL TEMA.

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVO	2
ÍNDICE	3
INTRODUCCIÓN	5
1._ ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS	
1.1 ¿Qué son los bifenilos policlorados	9
1.2 Características de los bifenilos policlorados	11
1.3 Efectos en los seres vivos y el medio ambiente derivado de su exposición	15
1.4 Equipo de protección personal para el manejo de los bifenilicos policlorados	23
1.5 Descontaminación de aceites y sólidos	26
2._ ANÁLISIS DE RIESGOS AMBIENTALES	
2.1 ¿Qué es el análisis de riesgos ambientales?	29
2.2 Conceptos básicos	30
2.3 Metodología y técnicas de análisis	31
2.4 Caracterización de riesgos a la salud	48
2.5 Evaluación de la toxicidad	56
2.6 Estimación de riesgos	61
3._ RESTAURACIÓN AMBIENTAL	
3.1 Proyecto de corrección de daños ambientales	66
3.2 Investigación para la restauración	69
3.3 Estudios de viabilidad	71

3.4	Análisis detallado de alternativas	80
3.5	Métodos biológicos	84

4._ CASO DE ESTUDIO DE UNA POSIBLE CONTAMINACIÓN CON BPC'S

4.1	Antecedentes	103
4.2	Planteamiento de la metodología seguida	104
4.3	Procedimiento para las tomas de muestras	105
4.4	Procedimiento para las tomas de muestras	106
4.5	Tablas de resultados	108
4.6	Análisis de resultados	111
	CONCLUSIONES	116
	ANEXO	117
	BIBLIOGRAFÍA	118

INTRODUCCION

EL cuidado de nuestro medio ambiente cada vez es mas importante, y día a día el mundo se enfrenta con la necesidad de crear una conciencia del medio ambiente pues las actividades industriales que se han vuelto necesarias para la vida moderna en los países desarrollados han generado una serie de peligros ambientales. los países en desarrollo, al modernizarse han generado el mismo tipo de problemas, quizá más agudos debido a la falta de recursos económicos, científicos, tecnológicos y humanos con los que cuentan.

durante décadas, el proceso de industrialización en nuestro país, se desarrollo sin que existiesen restricciones legales para el manejo y derrame de materiales y residuos peligrosos, la práctica común era deshacerse de ellos al menor costo, generando una gran cantidad de suelos contaminados que fueron dispuestos indiscriminadamente y otros manejados sin las más mínimas precauciones, dentro de estos materiales se encuentran los bifenilos policlorados, conocidos por su sigla en ingles "**pcbs**", que son un grupo de compuestos químicos orgánicos, utilizados masivamente en todo el mundo, a partir de que se iniciara en 1930, su producción a escala industrial. durante mi formación profesional en la escuela nunca escuche hablar de ellos hasta que inicie mi vida profesional, dando me cuenta de lo importante que debe ser crear en un estudiante de ingeniería una conciencia ecológica, encaminada a crear una armonía entre la tecnología ye l medioambiente .

con este trabajo pretendo dejar un antecedente sobre esta conciencia ecológica que todos los estudiantes deberíamos tener, y tomar en cuenta durante nuestro desempeño profesional. El presente trabajo lo he estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo uno encontraremos los antecedentes históricos así como la descripción química y toxicología de los bifenilos policlorados. Con esto se establece el marco histórico y los conceptos básicos que sirven para comprender los siguientes capítulos.

En el capítulo dos se desarrolla un análisis de riesgos ambientales, es en este capítulo donde se explican los mecanismos de contaminación principales para cualquier sustancia peligrosa.

En el capítulo tres lo he dedicado a describir la metodología de las principales técnicas de restauración ambiental que hasta la fecha existen, con el objetivo de que estas se conozcan, es este capítulo con el que se abre el escenario al último capítulo, que en lo personal considero de mayor practicidad.

En el último capítulo se muestra la metodología para la determinación de una posible contaminación de una planta industrial, la información que se da en este capítulo es manejada con toda discreción a petición de la empresa, sin que se llegue a ocultar información.

Finalmente expreso mis conclusiones con unas observaciones muy particulares del presente trabajo y dando una recomendación importante sobre las materias que se imparten actualmente en la carrera de Ingeniería.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES HISTÓRICO DEL LOS BIFENULOS POLICLORADOS

1.1 ¿QUÉ SON LOS BIFENILOS POLICLORADOS?

Los bifenilos policlorados (PCB) también conocidos como askareles o PCD's son compuestos químicos formados por cloro, carbono e hidrógeno. Fueron sintetizados por primera vez en 1881 por SCHMITT-SCHULZ en Alemania. Los hidrocarburos aromáticos clorados constituyen una amplia gama de compuestos químicos orgánicos, obtenidos a partir del agregado de átomos de Cl (entre 42 y 51 %) a moléculas de difenilos de origen sintético.

Entre ellos los "difenilos policlorados " (DTC) y "trifenilos policlorados" (TPC); también se los conoce por su denominación en inglés "polichlorynated biphenyls" (PCBs) y "polichlorynated triphenyl" (PCTs). Para simplificar, se los nombra en general como Difenilos Policlorados. Hasta la fecha se han identificado 209 compuestos individuales son líquidos aceitosos o sólidos, incoloros a amarillo claro.

En este trabajo los denominaremos con sus siglas en ingles " "PCBs" o con sus siglas en español "BPC" . Ciertos BPCs pueden existir como vapor en el aire. No tienen olor o sabor especial. En los Estados Unidos, ciertas mezclas comerciales de BPCs se conocen por su nombre industrial registrado, Aroclor..

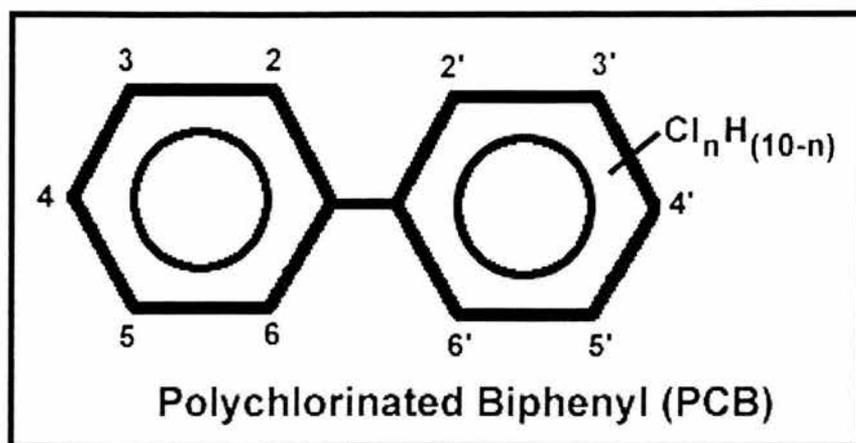


Figura 1.1 MOLÉCULA DE BIFENILO CLORADA

Haciéndose uso de sus propiedades físicas y químicas (gran estabilidad y no corrosividad) fueron utilizados durante décadas por la industria en los más diversos usos: transformadores, condensadores, lubricantes, plastificantes, protectores de la madera, pinturas, papel de copia, aceites de inmersión para microscopia, agente de impregnación en aparatos eléctricos, agente de hinchado en juntas de transmisión, etc.

Estos hidrocarburos aromáticos clorados de origen sintético se identifican por 4 (cuatro) números, siendo los dos primeros "12" que indican que trata de un bifenilo, y los dos últimos que describen el porcentaje de cloro orgánicamente unido. Por ejemplo un 1221 es un bifenilo policlorado con un 21 % de cloro. Los más conocidos por los analistas químicos son: 1221,1232, 1248,1254 y 1260.

Otro nombre utilizado para éstos compuestos es el de "AROCHLOR", es decir Arochlor 1221, etc., atribuyéndoselo a una marca registrada de productos que pueden presentarse de diferentes formas: resinas, líquidos o sólidos. Cuando se los emplea en equipos eléctricos su denominación genérica es de "ASKAREL".

Pero el principal riesgo ocurre si se prenden fuego, en ese caso, el PCB se transforma en un producto químico denominado dioxina. Ésta se produce a través de la combustión de los bifenilos policlorados. Se denominan dioxinas tanto las DIBENZODIOXINAS policloradas (PCDD) como los DIBENZOFURANOS policlorados (PCDF). Las dioxinas son las sustancias más dañinas que se conocen. Son cinco millones de veces más tóxicas que el cianuro y se ha comprobado que son cancerígenas.

El PCB es considerado un "contaminante orgánico persistente", es decir que permanece en el medio ambiente por largos períodos. Está incluido en la "docena sucia", un listado de los doce contaminantes más peligrosos del planeta.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS

Son líquidos con viscosidad variable, de consistencia resinosa por contener cantidades elevadas de cloro; tienen una alta estabilidad química, por lo que son difíciles de destruir, poseen una baja presión de vapor, alta capacidad calorífica, baja conductividad

eléctrica y alta constante dieléctrica, **no son biodegradables**, no son volátiles a temperatura ambiente.

Su estado físico puede ser líquido, encontrándose como un líquido aceitoso con un color amarillo ligero, o en estado sólido en donde los BPC's son un polvo blanco. Su densidad, es más elevada que la del agua por lo cual la solubilidad en ella es limitada debido a ella pueden quedar inmovilizados en los suelos y acumularse en los seres vivos por lo cual se reconoce su persistencia, son solubles en disolventes, la presencia de cloro les brinda una excelente resistencia a la inflamabilidad.

Tomando como base los criterios y procedimientos del Programa de Gestión Ambiental de Sustancias Tóxicas de atención prioritaria elaborado por el Instituto Nacional de Ecología (INE) , para clasificar a las sustancia como tóxicas y prioritarias, se sabe, que si una sustancia cumple con los dos primeros de los siguientes puntos, será considerada de nivel de prioridad 1, y si cumple con los cuatro, será de nivel de prioridad 2.

Los puntos son los siguientes:

- 1) Que sea predominantemente de origen antropogénico
- 2) Que sea tóxico
- 3) Que sea persistente
- 4) Que sea bioacumulable

CAPITULO 1 ANTECEDENTES HISTÓRICO DEL LOS BPC's

Los BPC's presentan dichas características por lo cual están considerados como sustancias de nivel de prioridad 2 sus principales características y datos de referencia podemos resumirlos en las tablas 1 , 2, 3.

NOMBRE REGISTRADO:	BIFENILOS POLICLORADOS
SINÓNIMOS, NOMBRE COMERCIAL:	BIFENILOS CLORADOS, CLOROBIFENILOS, PCB, ASCARELOS, CLOFEN,TRICLORODIFENIL,AROCLORO, FENCLORO, KANECLORO, MONTA, NONFLAMOL,
NOMBRE QUÍMICO (ALEMÁN):	POLYCHLORIERTE BIPHENYLE
NOMBRE QUÍMICO (FRANCÉS):	POLYCHLORURE DE BIPHÉNYLE
NOMBRE QUÍMICO (INGLÉS):	POLYCHLORINATED BIPHENYLS, PCB
ASPECTO GENERAL:	LOS MONOCLOROBIFENILOS Y DICLOROBIFENILOS PUROS SON COMPUESTOS CRISTALINOS INCOLOROS; LOS PCB CON MÁS DE 3 ÁTOMOS DE CLORO SON LÍQUIDOS INCOLOROS, DE VISCOSIDAD ENTRE MODERADA Y ALTA. TODAS LAS MEZCLAS INDUSTRIALES SON LÍQUIDAS.

TABLA 1. 1 NOMBRES Y GENERALES

FÓRMULA EMPÍRICA:	$C_{12}H_{10-n}Cl_n$ n = 1-10, principalmente 2-7
MASA MOLECULAR RELATIVA:	189-499 g
DENSIDAD:	1,2 - 1,6 g/cm ³
PUNTO DE EBULLICIÓN:	320-420° C
PRESIÓN DE VAPOR:	0,2-133 x 10 ⁻³ Pa
SOLVÓLISIS:	SÓLO LIGERAMENTE SOLUBLES EN AGUA; SON LIPOSOLUBLES Y SE DISUELVEN EN LA MAYORÍA DE LOS SOLVENTES ORGÁNICOS.

TABLA 1. 2 PROPIEDADES

CAPITULO 1 ANTECEDENTES HISTÓRICO DEL LOS BPC'S

Marca conocida	Fabricante
Aroclor	Monsanto Company St. Louis , MO
Chlorextol	Allis-Chalmers Milwaukee, WI
Clophen	Farbenfabriken Bayer GmbH Germany
Dykanol	Federal Pacific Electric Co. Newark , NJ
Fenclor	Caffaro S.P.A. Italy
Inerteen	Westinghouse Electric Corp. Pittsburgh , PA
Kanechlor	Kanegafuchi Chemical Industry Co., Ltd. Japan
Noflamol	Wagner Electric Corporation Newark , NJ
Phenoclor	Prodelec France
Pyralene	Prodelec France
Pyranol	General Electric Co. Schenectady , NY
Santotherm	Mitsubishi-Monsanto Japan
Therminol*	Monsanto Co. St. Louis , MO

TABLA 1. 3 FABRICANTES MUNDIALES DE PCBS

Por las ventajas de sus características físicas y químicas, abarcaron usos de aislantes térmicos en transformadores, capacitores y equipos de transferencia de calor diversificándose su campo de aplicación, encontrándolos más tarde en fluidos hidráulicos, pigmentos para pinturas, barnices, tintas para impresión, balastras (al 100%), ceras de pisos, plastificantes en resinas y hules, papel para copia libre de carbón, interruptores de alta tensión y bobinas reguladoras. Asimismo la diferencia principal entre los BPC's comerciales utilizados en capacitores y transformadores, es que en los primeros se utilizaban puros y en los segundos se diluían con triclorobenceno.

1.3 EFECTOS EN LOS SERES VIVOS Y EL MEDIO AMBIENTE DERIVADO DE SU EXPOSICIÓN

Los BPCs entraron al aire, al agua, y al suelo durante su manufactura, uso y disposición; a través de derrames accidentales y escapes durante su transporte; y por escapes o incendios de productos que contenían BPCs. Los BPCs aun pueden liberarse al medio ambiente desde sitios de residuos peligrosos que los contienen, por disposición ilegal o inapropiada de residuos industriales y productos de consumo, en escapes de transformadores antiguos que contienen BPCs, y al quemar ciertos residuos en incineradores.

Los BPCs no se degradan fácilmente en el ambiente por lo que pueden permanecer ahí por largo tiempo. Los BPCs pueden viajar largas distancias en el aire y ser depositados en áreas distantes del lugar de liberación. En agua, una pequeña porción de los BPCs puede permanecer disuelta, pero la mayor parte se adhiere a partículas orgánicas y a sedimentos del fondo. Los BPCs también se adhieren fuertemente al suelo. Los BPCs se acumulan en pequeños organismos y peces en el agua. También se acumulan en otros animales que se alimentan de organismos acuáticos. Los BPCs se acumulan en peces y mamíferos acuáticos, alcanzando niveles que pueden ser miles de veces mayores que los niveles de BPCs en el agua.

Usando tubos fluorescentes antiguos y artefactos como televisores y refrigeradores fabricados hace 30 años o más. Estos artículos pueden dejar escapar pequeñas

cantidades de BPCs al aire cuando se calientan durante su funcionamiento y así constituir una fuente de exposición de la piel. Comiendo alimentos contaminados. Las principales fuentes de BPCs en la dieta son pescados (especialmente aquellos cogidos en lagos o ríos contaminados), carne y productos lácteos.

Respirando aire cerca de sitios de desechos y tomando agua de pozo contaminada.

En el trabajo durante reparación o mantenimiento de transformadores con BPCs; accidentes, incendios o escapes de transformadores, luces fluorescentes, y otros artículos eléctricos antiguos; y desecho de materiales con BPCs.

El efecto que se observa más comúnmente en gente expuesta a grandes cantidades de BPCs son efectos a la piel como acné o salpullido. Estudios en trabajadores expuestos han observado alteraciones en la sangre y la orina que pueden indicar daño al hígado. Es improbable que el nivel de exposición del público en general a los BPCs produzca efectos a la piel o al hígado. La mayoría de los estudios sobre efectos de los BPCs en seres humanos han evaluado a niños de madres expuestas a los BPCs

Animales que comieron alimentos con grandes cantidades de BPCs por poco tiempo sufrieron leve daño del hígado y algunos murieron. Animales que comieron alimentos con cantidades de BPCs más pequeñas durante semanas o meses manifestaron varios tipos de efectos incluyendo anemia; condiciones de la piel similares al acné; y daño del hígado, el estómago y la glándula tiroides. Otros efectos descritos en animales incluyen alteraciones del sistema inmunitario, de comportamiento y deterioro del sistema reproductivo. No hay evidencia de que los PCBs causen defectos de nacimiento.

Unos pocos estudios de trabajadores han asociado exposición a BPCs con ciertos tipos de cáncer tales como cáncer del hígado y del tracto biliar. Ratas que comieron alimentos con altos niveles de BPCs por dos años contrajeron cáncer del hígado. **El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS)** ha determinado que es razonable predecir que los BPCs son carcinogénicos. **La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC)** y la EPA han determinado que los BPCs son probablemente carcinogénicos en seres humanos.

Mujeres que estuvieron expuestas a niveles relativamente altos de BPCs en el trabajo o que comieron grandes cantidades de pescado contaminado con BPCs tuvieron niños con peso ligeramente menor que niños de mujeres que no sufrieron exposición. Los niños de mujeres que comieron pescado contaminado con BPCs también exhibieron alteraciones en exámenes de comportamiento infantil. Ciertas alteraciones tales como problemas de habilidad motora y de memoria de corta duración duraron varios años. Otros estudios sugieren que el sistema inmunitario puede afectarse en niños que nacieron y fueron lactados por madres expuestas a niveles de BPCs mayores que lo normal. No hay evidencia de que los BPCs causen defectos físicos de nacimiento o de que tengan efectos adversos sobre la salud en niños mayores. La manera más probable de que los niños se expongan a los BPCs es a través de la leche materna. Transferencias a través de la placenta también se han descrito. En la mayoría de los casos, los beneficios de lactar contrarrestan cualquier riesgo de exposición a los BPCs en la leche materna.

Si alguien está expuesto a BPCs en el trabajo, es posible que lleve estas sustancias al hogar en su ropa, cuerpo o herramientas. En ese caso, dúchese y cámbiese de ropa antes de dejar el trabajo, y su ropa debe mantenerse y lavarse separada de otra ropa.

Hay exámenes para medir BPCs en la sangre, tejido graso y leche materna, aunque no están disponibles rutinariamente. La mayoría de la gente normalmente tiene bajos niveles de BPCs en el cuerpo ya que casi todo el mundo ha estado expuesto a los BPCs en el ambiente. Estos exámenes pueden demostrar si sus niveles de BPCs son elevados, lo que indicaría exposición en el pasado a niveles de BPCs mayores que lo normal, pero no pueden determinar cuando o por cuanto tiempo estuvo expuesto, o si le afectará la salud.

Hasta hoy se sabe que aproximadamente el 40 % de la producción de BPC's ha entrado al ambiente. Se han encontrado niveles altos de ellos en las cadenas alimenticias. Este proceso ecológico se inicia por el transporte de los BPC's por aire, suelo y agua que a su vez es generado por el mal manejo de los mismos; de esta manera llega hasta los mares hasta entrar en contacto con el plancton, de ahí pasa a los peces, a los pájaros, hasta llegar a los humanos.

Los bifenilos policlorados entran en el aire de forma indirecta dado que derivado de una inadecuada combustión pueden generarse como productos de combustión dioxinas y furanos mismos que son 100 veces más tóxicos que los mismos bifenilos policlorados.

En el agua se sabe que un litro de bifenilos policlorados crea una capa superficial de más de 8,000 m² y contamina aproximadamente un millón de litros de agua potable; en lagos, lagunas, ríos y mares afectando a la fauna presente, biomagnificándose en la cadena alimenticia, esto es, que su movimiento a través de la misma genera incrementos de concentración.

Dada la alta densidad de los mismos en los derrames al suelo tienden a depositarse en la superficie de los mismos y por su condición de persistencia permanecen en ellos durante años ya que la fauna microbiana presente no es capaz de degradarlos.

El ser humano al ser expuesto a dosis bajas causa daños fatales ya sea inhalado, ingerido o al ingresar al organismo a través de la piel, puede provocar efectos agudos o crónicos, incluyendo cáncer; los efectos adversos en la salud se presentan de acuerdo el período de exposición, dosis, ruta de exposición (inhalación, oral y dermal), que pueden causar efectos: sistémicos (respiratorio, cardiovascular, sanguíneo, hepático, renal), inmunológico, neurológico, de desarrollo, reproductivo, genotóxico y cancerígenos.

La forma de identificar los PCBS en transformadores es mediante la placa de identificación en la que debe aparecer el tipo de fluido aislante y su cantidad. Si el nombre de éste corresponde a los arriba mencionados, o si la especificación de este líquido empieza con la letra "L" (como LFAF, LFAN, LFWN, LNP, LNS, LNW y LNWN) dicho transformador contiene BPC's. Si el fluido aislante empieza con "O" indica que el transformador contiene aceite.

Los primeros efectos de las dioxinas sobre la salud que se observaron se debieron a accidentes que motivaron la exposición de personas a dosis muy altas, como por ejemplo los afectados en Japón en 1968 en Yusho, que ingirieron grandes dosis.

También los afectados de Seveso en Italia, en 1976 (escape de 34 a 126 kilos de dioxinas en la planta de Hoffman La Roche),, tuvieron una exposición elevada y presentaron una toxicidad aguda que se manifestó con alteraciones dérmicas, como la presencia de acné o hiperpigmentación, y con una sintomatología general formada por cansancio, dolores de cabeza, vértigos y por edemas de los miembros inferiores con signos de afectación nerviosa. Además los hijos nacidos de madres expuestas presentaron bajo peso al nacer y un años después de la exposición se informó del nacimiento predominante de niñas respecto a niños.

1981. Transformador con PCB explota y se incendia en edificio más alto ciudad de Binghampton. Trece años después seguía clausurado.

1985. Autopista Trans Canadá: derrame de PCB de transformador a lo largo de más de 100km. Hubo que romper y reemplazar pavimento.

1988. Gran pila de residuos de PCB se incendió. Hubo que evacuar toda la población de Saint Basille Prov. de Quebec.

1988. Se descubre que pérdidas de otra pila abandonada en la ciudad de Smithville, (Ontario) había contaminado acuífero que la abastece. Alto costo de limpieza.

1989. Embarque de residuos de PCB (provenientes del incendio de 1988) enviado a Gran Bretaña para su destrucción no pudo ser descargado por negativa de los obreros portuarios ingleses

1990. Se descubre una partida de tambores de PCB en barcaza hundida en Golfo de San Lorenzo.

1991. Choque de automóvil contra columna de distribución aérea: provoca falla sistema abastecimiento Universidad Estatal New Paltz. Explota y se incendia transformador con PCB.

Las personas físicas o morales, públicas o privadas que con motivo de sus actividades generen residuos, están obligadas a determinar si éstos son peligrosos. Para la determinación de bifenilos policlorados, se pueden emplear algunos de los siguientes métodos:

A) Método de Prueba No. EPA-8080

B) Método de Prueba EPA No. 8081

C) Método ASTM 4059-D

Mantener buenas PRÁCTICAS EN EL TRABAJO puede reducir el riesgo a las exposiciones. Se recomiendan las siguientes prácticas:

- * Los trabajadores cuya ropa ha sido contaminada por los bifenilos policlorados deben cambiarse inmediatamente y ponerse ropa limpia.

- * No lleve a su casa la ropa de trabajo contaminada. Podría exponer a los miembros de su familia.

- * La ropa de trabajo contaminada debe hacerse lavar por personas que estén informadas acerca de los peligros de la exposición a los bifenilos policlorados.

- * El área inmediata de trabajo debe estar provista de fuentes de provisión de agua para el enjuague de los ojos en caso de emergencia.

- * Si existe la posibilidad de exposición de la piel, deben suministrarse instalaciones para duchas de emergencia.

- * Si se produce el contacto de los bifenilos policlorados con la piel, lávese o dúchese inmediatamente para quitarse la sustancia química. Al final de la jornada de trabajo, lávese cualquier parte del cuerpo que pueda haber estado en contacto con los bifenilos policlorados, aunque Ud.

* No coma, fume o beba donde se manipula, procesa o almacena los bifenilos policlorados, pues se puede tragar la sustancia química. Lávese cuidadosamente las manos antes de comer, beber, fumar o ir al baño.

1.4 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA EL MANEJO DE LOS BIFENILICOS POLICLORADOS

Planear sistemas de control en el lugar de trabajo es mejor que usar equipo de protección personal. Sin embargo, para ciertos trabajos (tales como trabajos al aire libre, trabajos en un área encerrada, trabajos realizados sólo de vez en cuando, o trabajos realizados mientras se instalan los elementos de control) puede resultar apropiado usar un equipo de protección personal.

La norma OSHA 1910.132 requiere que los empleadores determinen el equipo de protección personal apropiado para cada situación de riesgo y provea entrenamiento a los empleados sobre cómo y cuándo debe usarse el equipo de protección. Las siguientes recomendaciones son sólo a modo de guía y quizás no se apliquen en todas las situaciones.

VESTIMENTA

Evite el contacto de la piel con los bifenilos policlorados. Use ropa y guantes de protección. Los proveedores y/o fabricantes de equipos de seguridad pueden

suministrar recomendaciones acerca del material para guantes y vestimenta que provea mayor protección para operar con esta sustancia.

Toda la ropa de protección (trajes, guantes, calzado, gorros y cascos) debe estar limpia, disponible cada día y debe ponerse antes de comenzar a trabajar.

PROTECCIÓN DE LOS OJOS

Cuando trabaje con líquidos, use gafas a prueba de salpicaduras de las sustancias químicas y un escudo de protección de la cara, a menos que use protección respiratoria con pieza facial de cara completa.

Cuando trabaje con polvo, use gafas a prueba de polvo y un escudo de protección de la cara, a no ser que use protección respiratoria con pieza facial de cara completa.

PROTECCIÓN RESPIRATORIA

El uso incorrecto de los respiradores (máscaras protectoras) es peligroso. Este equipo sólo debe usarse cuando el empleador tenga un programa por escrito que tome en cuenta las condiciones en el lugar de trabajo, los requisitos para el entrenamiento de los trabajadores, pruebas del ajuste de los respiradores y exámenes médicos, como los que se describen en OSHA 1910.134.

Donde exista un potencial de exposiciones por encima de $0,001 \text{ mg/m}^3$, use un respirador de línea de aire con pieza facial de cara completa, aprobado por MSHA/NIOSH, que funcione a presión-demanda u otro modo de presión positiva. Para una protección mayor, úselo en combinación con un aparato respirador auto contenido que funcione a presión-demanda u otro modo de presión positiva, la forma adecuada de vestimenta puede verse en la foto 1.1.



Foto 1.1 EQUIPO ADECUADO PARA EL MANEJO DE PCB'S.

1.5 DESCONTAMINACIÓN DE ACEITES Y SOLIDOS

Los aceites contaminados pueden ser tratados actualmente mediante la extracción de átomos de Cloro de las moléculas de Bifenilos Policlorados, Diclorobenceno, Triclorobenceno y de cualquier otro compuesto químico órganoclorado.

El objetivo de este tratamiento es el de disminuir la concentración de elementos colorados presentes en el aceite dieléctrico para ser reutilizado preferentemente en el reemplazo de los fluidos pertenecientes a transformadores que hubieran contenido PCB y cuya vida útil se pueda extender más allá del año 2010.

Los aceites contaminados son sometidos a la acción de un agente químico basado en un metal alcalino. El proceso se desarrolla a baja temperatura (entre 130 y 160 °C) y a presión atmosférica. Debido a que opera con temperaturas bajas no se forman dioxinas y furanos. El Cloro extraído de las moléculas de PCB, DCB y TCB se combina con el metal alcalino, formando su Cloruro que precipita debido a la insolubilidad y mayor peso específico; los gases que se liberan son Anhídrido Carbónico y vapor de agua, los cuales son retenidos por un filtro de Carbón Activado.

Las moléculas de PCB, DCB y TCB que han cedido total ó parcialmente sus átomos de Cloro, saturan las valencias que les van quedando libres con átomos de Hidrógeno entregados por los radicales orgánicos; las moléculas que quedan con valencias sin saturar se unen formando un polímero que básicamente es un Hidrocarburo. Luego del

tratamiento se obtiene un aceite con menos de 2 ppm de PCB (medidas con método analítico ASTM D4059).

INCINERACIÓN

La incineración de líquidos con PCB debe realizarse en hornos especiales diseñados exclusivamente para la eliminación de estos compuestos. El problema principal es evitar la formación de dioxinas y furanos y para ello la Planta de TREDI en St. Vubas utiliza la inyección de agua para bajar la temperatura de 1200°C a 80°C en 25 milisegundos, a razón de 150 litros de agua por cada litro de PCB tratado. Este proceso genera gran cantidad de residuos (sales) que deben ser tratados en la Planta. Esta tecnología no existe en Mexico, siendo muy costosa la reconversión de los hornos pirolíticos existentes para tratar líquidos con PCB.

CAPITULO 2

ANÁLISIS DE RIESGOS AMBIENTALES

2.1 ¿QUÉ ES EL ANÁLISIS DE RIESGOS AMBIENTALES?

El análisis de riesgos es una disciplina relativamente nueva con raíces antiguas, Como campo del conocimiento se organizó en las últimas tres décadas y su auge se debe a que varios países han aprobado leyes para proteger, tanto a la salud humana como a la biota, de los peligros que puede acarrear la exposición a sustancias peligrosas presentes en el medio ambiente en base a la prevención y reducción de riesgos. El análisis de riesgos es una técnica multidisciplinaria que utiliza conceptos desarrollados en varias ciencias en las que se incluyen a la toxicología, epidemiología, ingeniería, psicología, higiene industrial, seguridad ocupacional, seguridad industrial, evaluación del impacto ambiental, etc. El análisis de riesgos sirve para:

- Identificar y evaluar los problemas ambientales y de salud producidos por la realización de actividades peligrosas y el manejo de sustancias tóxicas.
- Comparar tecnologías nuevas y tradicionales que se usan en la determinación de la efectividad de los diferentes controles y técnicas de mitigación diseñadas para reducir riesgos.
- Localización de instalaciones potencialmente peligrosas.
- Selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales

2.2 CONCEPTOS BÁSICOS

Los términos riesgo y peligro se definieron como se dice que riesgo es la posibilidad de sufrir un daño por la exposición a un peligro y peligro es la fuente del riesgo y se refiere a una sustancia o a una acción que puede causar daño. Evaluación de riesgos se refiere a la técnica para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo. El término análisis de riesgo se ha usado frecuentemente como un sinónimo de evaluación de riesgos. Debe de interpretarse que además de la evaluación, el análisis incluye los métodos para hacer un mejor uso de los resultado de la evaluación. En el manejo de los riesgos se diseña la respuesta de control, reducción o eliminación de riesgos utilizando la información producida por la evaluación y el análisis, en el contexto de los recursos técnicos, valores sociales, económicos y políticos.

La diferencia entre evaluación y manejo de riesgos no es muy clara. La controversia se centra en el grado en el cual la evaluación se puede mantener libre de los juicios y valores que típicamente corresponden a las decisiones de manejo.

Las percepciones de los riesgos son factores importantes que influyen tanto a la evaluación como al manejo. Los riesgos se perciben en forma diferente, dependiendo de quiénes son los afectados, qué tan probable es que los daños se produzcan, las características de los daños, tal cómo qué tan catastróficos son, qué tan acostumbrada está la población a ese tipo de daño, qué tan grande es la fracción de la población afectada, cómo se afecta a los individuos en forma personal y si éstos han aceptado en forma voluntaria enfrentar los riesgos. Las percepciones de los riesgos están influenciadas por los beneficios que se obtienen de enfrentar tales riesgos.

2.3. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Las técnicas de análisis se pueden aplicar a un amplio rango de situaciones de riesgo para la salud y el medio ambiente, incluyendo:

- La introducción o el descubrimiento de una sustancia en el ambiente
- La exposición ocupacional a una sustancia o radiación.
- Contaminación del aire, tanto en espacios interiores como en el ambiente exterior
- Disposición de residuos peligrosos
- Presencia de sustancias peligrosas en la cadena alimentaria
- Instalaciones que manejan o crean sustancias tóxicas
- El análisis de riesgos también se puede aplicar a muy diferentes situaciones, por ejemplo, el riesgo asociado al uso de un producto farmacéutico o tratamiento médico, a la construcción de obras tales como presas y puentes etc.

El análisis de riesgos usa una serie de técnicas que se aplican cuando las respuestas no son obvias y la información es ambigua e incierta. Se utilizan las herramientas de la ciencia, la ingeniería y la estadística para analizar la información relacionada con los riesgos y, para estimar y evaluar la probabilidad y magnitud del riesgo ambiental y de la salud. El análisis de riesgos no proporciona una fórmula para tratar la problemática de riesgos. No resuelve las complicadas negociaciones políticas y sociales que se tienen que hacer en la toma de decisiones sobre riesgos. Lo que sí mejora es la capacidad de los científicos y tomadores de decisiones en la identificación, evaluación, control y reducción de riesgos asociados con actividades del hombre. El proceso de análisis de

riesgos se puede pensar como formado de cuatro fases interrelacionadas, cada una con ciertos métodos y técnicas. Identificación del Peligro En esta fase la pregunta que se trata de contestar es: ¿existe el peligro? Para contestar esta pregunta se tiene que recurrir a la toxicología, la cual hace uso de estudios epidemiológicos, estudios in vivo en modelos animales, pruebas realizadas in vitro utilizando cultivo de células y de tejidos, así como estudios de estructura/actividad.

Evaluación de riesgos

Esta fase tiene como meta estimar la severidad y probabilidad de que se produzca un daño para la salud humana y el ambiente por una actividad o exposición a una sustancia, que bajo circunstancias es probable que pueda causar daño a la salud humana o al ambiente. Se usan cuatro técnicas, aunque distintas, están muy relacionadas: evaluación de la fuente/mecanismo de emisión, evaluación de la exposición, evaluación de dosis/respuesta y caracterización del riesgo.

La fase involucra juicios y negociaciones para resolver la cuestión de qué nivel de riesgo es tolerable. Se cuenta con varias técnicas para contestar esta pregunta, incluyendo el análisis de la percepción del riesgo, el análisis de costo/beneficio y análisis de decisiones. Como en el caso de la evaluación de riesgos estas técnicas proporcionan un mejor conocimiento del fenómeno pero también involucran incertidumbres. Sin embargo, de todas maneras la decisión de considerar un riesgo como aceptable genera controversia. Se tiene que negociar, formar consenso y usar

otros medios para ampliar el involucramiento en el proceso de declarar un riesgo como aceptable.

Comunicación de Riesgos

En esta fase los actores involucrados transfieren o intercambian información acerca de los niveles de riesgos para la salud o el ambiente, la importancia de esos riesgos, tipos de decisiones, acciones o políticas con que se cuenta para controlar o manejar los riesgos. El principal canal para la comunicación de riesgos son los medios de comunicación, los cuales han sido criticados por exagerar los riesgos y poner más énfasis en los dramas que en los datos científicos. Los problemas en la comunicación provienen de lo numeroso que son las fuentes de información, causando frustración tanto a los comunicadores de riesgos como a los grupos que se pretende sean los receptores de la información. El análisis de riesgos tiene sus virtudes y sus debilidades. Entenderlas puede ayudar a los tomadores de decisiones en la búsqueda del mejor uso posible de la información y de las suposiciones y juicios de experiencia involucrados en el tratamiento de los riesgos para la salud y el ambiente. En el resto del presente capítulo se presenta la metodología para hacer la evaluación de riesgos y la determinación de la significancia del riesgo.

Los métodos descritos son los utilizados por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, a la que llamaremos por sus siglas en inglés EPA, para caracterizar los riesgos para la salud humana en sitios contaminados con sustancias peligrosas.

Estimación de la exposición

Los tóxicos que interesan son aquellos que tienen probabilidad de llegar a estar en contacto con poblaciones humanas, en cualquier lugar que éstas se encuentren. Se estudian los desplazamientos de los tóxicos en el medio ambiente, desde el punto en que se emiten hasta el lugar en que contactan las poblaciones. Como se mencionó anteriormente, a este desplazamiento se le conoce como ruta de exposición. No se consideran relevantes los desplazamientos de tóxicos que no dan lugar a exposiciones humanas efectivas.

La corroboración de que en un sitio están ocurriendo exposiciones efectivas es la determinación del tóxico, o sus manifestaciones, en los organismos expuestos y la presencia del tóxico en el punto de contacto entre los medios ambientales y las poblaciones de interés. En esta sección se describe la selección de las rutas relevantes de exposición, y el cálculo de la dosis suministrada por cada ruta. Se tratarán también los aspectos relacionados con el tiempo de exposición en función de su duración y frecuencia.

Escenario de exposición

Al área física que comprende el lugar donde se derraman o emiten los tóxicos al ambiente, donde se transportan y donde las poblaciones entran en contacto con los medios contaminados recibe el nombre de escenario de exposición.

El estudio del escenario consta de dos partes fundamentales; la descripción físico química del sitio y la descripción de las poblaciones que es probable que sufran la exposición. Las características del sitio y de las poblaciones que interesan serán aquellas que son útiles para estimar las exposiciones.

Descripción del sitio

El sitio se describe en función de las variables que puedan tener influencia sobre la movilidad de los tóxicos y los niveles de contaminación. Las variables físicas y químicas que se evalúan son las que se utilizan para alimentar los modelos de transporte y destino y estimar las dosis suministradas. Las características físicas importantes del escenario de exposición son: clima, vegetación, topografía, edafología (composición y estructura de suelos) y geohidrología (estratos en el subsuelo, acuíferos subterráneos y corrientes superficiales). En lo que se refiere al suelo y al subsuelo es conveniente describirlos en función de la humedad, pH, contenido de carbono orgánico y presencia de otros intercambiadores de iones. Los modelos para representar el desplazamiento de los tóxicos en este estrato incluyen tales variables. El conocimiento del tipo de suelo puede ayudar a predecir la producción de polvos transportables. La posición de los acuíferos con respecto al nivel de la superficie es también una variable importante. Un nivel frático muy somero puede incrementar la probabilidad de que un tóxico presente en el suelo emigre hacia el acuífero.

Los datos climatológicos permiten estimar la persistencia de los tóxicos en el ambiente, los posibles desplazamientos por acarreo de polvos y gases por los vientos y junto con la topografía los desplazamientos en corrientes superficiales.

Las características químicas importantes son: la identificación y cuantificación de las sustancias que se saben o se sospecha que son tóxicas para los humanos, que se encuentren en uno o más medios de los que integran el sitio o que pueden salir del mismo. Los datos se obtienen experimentalmente en trabajo de campo, analizando los distintos medios con los que puede entrar en contacto la población. A esta actividad se le denomina "Muestreo o Monitoreo Ambiental." La recopilación de información y el muestreo se deben de planear para que al principio del trabajo se generen datos que permitan desarrollar una comprensión general del sitio, y así poder dirigir los esfuerzos subsiguientes para obtener sólo los datos que sirvan para llenar las lagunas remanentes de información. En esta forma se minimizará la recolección de datos innecesarios y se maximizará la calidad de los datos obtenidos. La información físico química del sitio se utiliza para identificar las posibles rutas y vías de exposición, así como para calcular las dosis suministradas.

Descripción de las poblaciones

En la descripción de las poblaciones se consideran los asentamientos humanos dentro del sitio y sus cercanías, así como los que pudieran quedar expuestos en el futuro, aunque se encuentren localizados en sitios alejados de la fuente de contaminación.

Las poblaciones lejanas que no están en contacto con los medios contaminados, pero que es conveniente incluirlas en un estudio de evaluación de riesgos, son aquellas que se consideran que podrían quedar expuestas; tanto por sus actividades o hábitos, o bien porque los tóxicos pudieran emigrar en el futuro hasta localidades donde esas poblaciones constituirían un nuevo escenario de exposición. Como en el caso de la descripción del sitio, las poblaciones se describen especificando aquellas características que influyen en la exposición y sus consecuencias. Estas características son las siguientes:

- Localización relativa al sitio
- presencia de subpoblaciones sensibles
- patrones de actividad.

Localización En lo referente a la localización de los asentamientos humanos, la información más importante es su posición relativa con respecto a la fuente de contaminación y a la dirección de los desplazamientos más probables de los tóxicos.

Hay mayores probabilidades de estar expuesto a los tóxicos si el lugar de trabajo o residencia está localizado:

- Cerca de la fuente
- En la dirección de los vientos dominantes
- Aguas abajo de las corrientes superficiales
- En la dirección del flujo de los acuíferos subterráneos.

También son importantes:

- Las poblaciones que consumen productos generados o que se contaminaron en el sitio, independientemente de su posición geográfica
- Las poblaciones que en el futuro pudieran estar expuestas a sustancias que hayan emigrado del sitio. Sub poblaciones especiales Las sub poblaciones especiales son las más susceptibles de sufrir un daño al quedar expuestas a un determinado agente debido que tienen una mayor sensibilidad, tales como, niños, ancianos, mujeres embarazadas o en período de lactancia y personas con enfermedades crónicas que presentan un patrón de comportamiento que puede dar lugar a una mayor exposición.

Un ejemplo son las personas que consumen cantidades grandes de alimentos producidos en el sitio. Otro ejemplo son los niños quienes tienen una probabilidad más alta que los adultos de entrar en contacto directo con el suelo, etc. quienes se han sensibilizado por exposiciones anteriores o, que experimentan exposiciones simultáneas provenientes de otras fuentes. Por ejemplo; individuos expuestos a sustancias químicas en su trabajo y residen o residieron en sitios contaminados. Actividades humanas Las exposiciones están asociadas a los patrones de actividad de los individuos en el escenario y éstos, a su vez están determinados por el tipo de uso del suelo en el escenario de exposición. Así pues, para caracterizar las exposiciones es necesario primero identificar los usos del terreno en el escenario de exposición. Para el propósito de evaluación de riesgos los usos del suelo se clasifican en , Residencial, Comercial/industrial/agropecuario y recreativo.

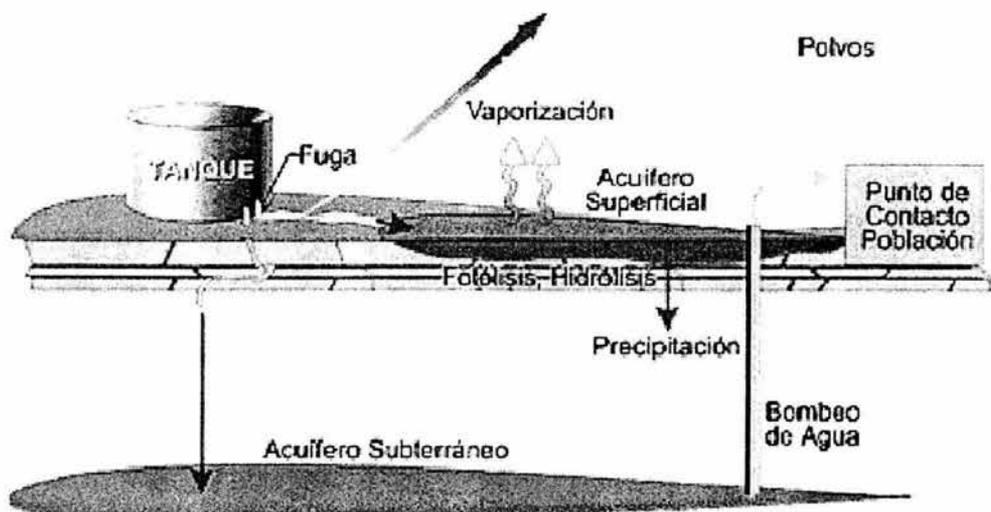
Las mejores fuentes de información para determinar los usos actuales del suelo son la visita al sitio y el examen de fotos aéreas identificando las áreas pobladas, las áreas de juego, parques, negocios e industrias, explotaciones agrícolas, ganaderas y pesqueras. Puede ser que algunos de los terrenos tengan un uso múltiple y pudieran quedar clasificados en más de una categoría. La clasificación del uso del suelo sirve para caracterizar el patrón de actividades y su efecto sobre la intensidad, frecuencia y duración de las exposiciones. Al analizar el uso del suelo se debe de determinar si es probable que cambie en el futuro y si este cambio va a repercutir en el patrón de actividades que se llevan a cabo en el sitio. Para determinar la posibilidad de cambios futuros es conveniente consultar los reglamentos oficiales sobre el uso del suelo, los mapas de zonificación, etc.

Ruta de exposición

La trayectoria que sigue un tóxico desde la fuente de emisión hasta el contacto con las poblaciones previamente seleccionadas como potencialmente expuestas, incluyendo la vía de ingreso del tóxico a los organismos expuestos, como ya se especificó, se denomina ruta de exposición. Una ruta está completa si hay una liberación de una sustancia desde una fuente, un escenario de exposición donde pueda ocurrir un contacto y una vía de exposición o ingreso.

A continuación se describen cada uno de los elementos que integran una ruta de exposición típica completa. Fuente. Las características fundamentales de la fuente son su localización y los mecanismos de emisión. Se localiza y describe utilizando los datos

de muestreo y la información preliminar que se tenga acerca del sitio. Se localizan los lugares dónde se están liberando, se liberaron o se espera que se liberen los tóxicos, identificando todos los mecanismos posibles de liberación y de medios receptores. Por ejemplo; la presencia de suelo contaminado cerca de un tanque puede indicar que el tanque con rupturas (fuente) presentó fugas (mecanismo de liberación) hacia el suelo (medio receptor). La fuente puede ser también punto de contacto si los organismos receptores entran en contacto directo con la fuente. Por ejemplo; con recipientes abiertos, suelo contaminado, residuos apilados, etc.



ESCENARIO DE EXPOSICIÓN

Figura 2.1

Un medio contaminado puede ser a su vez fuente de contaminación para otro medio. Por ejemplo; una zona del subsuelo contaminada por un derrame previo puede ser la

fuente de contaminación de un acuífero subterráneo Transporte y destino. Después de que la sustancia ha sido liberada le puede pasar lo siguiente:

- Acumularse en uno o más medios incluyendo el de recepción
- Transportarse por una corriente de agua, disuelto o suspendido en algún sedimento, o por los vientos, en estado gaseoso o en los polvos
- Transformarse físicamente (volatilización, precipitación), químicamente (fotólisis,

hidrólisis, oxidación, reducción, etc.) o biológicamente (biodegradación) Para estudiar la distribución de una sustancia en el ambiente es necesario conocer sus propiedades físicas y químicas y las del medio y/o medios en los que se desplaza. Estos datos se alimentan en modelos que representan el transporte dentro del medio de recepción, las transferencias de este medio a otros y los transportes dentro de los medios a los que fue transferido. Los modelos incluyen términos para representar cada uno de los procesos que sufre la sustancia en el ambiente. Con los modelos se puede estudiar la cinética de los tóxicos en cualquier lugar de la ruta, especialmente se pueden estimar las variaciones de la concentración del tóxico en el punto de contacto, cuando no se disponga de datos completos de muestreo ambiental en este lugar. Uno de los propósitos del análisis de destinos y transportes es predecir las exposiciones futuras y para servir de base en el diseño de estrategias de prevención de la contaminación.

El análisis del proceso de transporte de tóxicos en el medio ambiente permite esclarecer las ligas existentes entre las fuentes y los medios contaminados y contestar las siguientes preguntas sobre los tóxicos:

- ¿Cuáles especies químicas están presentes en las fuentes dentro del sitio?
- ¿En qué medios, dentro y fuera del sitio, y en qué formas químicas se encuentran los tóxicos?
- ¿En qué medios y en qué localizaciones se podrán encontrar en el futuro?

Punto de exposición. Cualquier contacto potencial entre los pobladores con un medio contaminado es un punto de exposición. Para puntos de exposición potenciales fuera del sitio, se espera que la concentración de contacto será mayor en los puntos más cercanos al sitio o donde los gradientes de altura y dirección del viento lo favorezca. En algunas ocasiones se pueden encontrar puntos de contacto de mayor concentración a distancias grandes, esto puede suceder si en el transporte de los tóxicos se incluyen pasos en los que pueda ser bioconcentrado. Por ejemplo; si una sustancia originada en el sitio se transporta hasta un cuerpo de agua donde es bioconcentrada por los organismos acuáticos y la población entra en contacto con esos organismos. Vías de exposición. El último elemento de la ruta de exposición es la vía de exposición, que es el mecanismo por medio del cual el tóxico entra al organismo. En el caso de exposiciones ambientales las vías de exposición son ingestión, inhalación y contacto cutáneo. La selección de cuáles vías se deben de estudiar, depende de los medios en los que se encuentre el tóxico en el punto de contacto. Si se encuentra en el agua potable, en los alimentos o en el suelo la vía de exposición será la ingestión, si se encuentra en el aire, sea como gas, vapor o partículas suspendidas, el ingreso será por la vía respiratoria (inhalación) y si se encuentra en el agua o aire ambiente que entra en contacto con la piel, el ingreso será por vía cutánea.

El equipo de protección tiene por propósito evitar que exista una vía de exposición aunque se presente un punto de contacto. Por ejemplo el uso de guantes, máscaras y botas son barreras que impiden el ingreso del tóxico al organismo contactado.

Identificación de las rutas significativas Sólo se consideran como significativas y merecen ser evaluadas las rutas completas de exposición que produzcan exposiciones efectivas, es decir que el tóxico además de llegar a hacer contacto con un individuo encuentra la forma de ingresar al interior del organismo. Los datos de muestreo biológico y/o biomarcadores en la población supuestamente expuesta que indiquen que hay acumulación de alguna sustancia o efectos relacionados con alguna sustancia, en miembros de la población considerada, es una información muy valiosa para identificar una ruta como significativa. Esta información indica que han existido exposiciones efectivas, puesto que se identifica la presencia del tóxico o sus manifestaciones dentro de los organismos expuestos. Los resultados positivos de los análisis de fluidos biológicos indican cuáles rutas son significativas, pero los datos negativos en individuos de una población no se pueden usar para concluir que una ruta está incompleta. No siempre se analizan todas las rutas completas. En algunas ocasiones no se pueden cuantificar las exposiciones en rutas completas por falta de datos. Es posible que los datos de muestreo no sean suficientes para estimar las características de las fuentes, las concentraciones ambientales o las dosis suministradas. En estos casos se puede recurrir al uso de modelos para complementar la información disponible, pero al usar modelos en lugar de datos se incrementa la incertidumbre. Si no se tienen datos suficientes para validar el modelo, entonces puede ser que no se justifique el análisis cuantitativo de la ruta.

Cuantificación de la exposición

El estudio de la ruta de exposición tiene por objeto llegar a determinar la cantidad de sustancia tóxica que contacta un organismo durante el periodo de exposición y poder estimar las exposiciones futuras. La cuantificación de la exposición consiste en determinar la magnitud, frecuencia y duración de las exposiciones de los individuos miembros de la población por cada una de las rutas significativas. Si la exposición ocurre durante un determinado periodo, la exposición total se divide entre el tiempo de ocurrencia para calcular la tasa de exposición promedio por unidad de tiempo y frecuentemente esta tasa promedio de exposición se expresa por unidad de masa corporal.

$$D_s = (CTFD)/(MP)$$

A esta exposición normalizada se le denomina Dosis Suministrada. Hay tres categorías de variables que se usan para calcular este valor y son: una variable relacionada con la sustancia (concentración de exposición); las variables que describen la población expuesta (tasa de contacto, frecuencia y duración de la exposición, peso corporal) y una variable determinada por el proceso de evaluación (el tiempo de premedicación). Cada una de estas variables puede tomar valores dentro de determinados rangos y se seleccionan los valores cuya combinación resulte en una estimación de la Exposición Máxima Razonable (EMR). La estimación de un valor "razonable" no siempre está basada totalmente en información cuantitativa sino también en la experiencia y juicio profesional.

Cálculo de la dosis suministrada

La Dosis Suministrada (DS) se calcula para todas las sustancias en el punto de contacto de todas las rutas seleccionadas como significativas. Se expresa en términos de la cantidad de la sustancia (mg) en contacto con el cuerpo por unidad de masa corporal (Kg) por unidad de tiempo (día). La DS se calcula utilizando la siguiente ecuación Donde:

C = concentración promedio durante el período de exposición

T= tasa de contacto, la cantidad de medio contactado por unidad de tiempo

F = frecuencia de exposición

D = duración

M = masa corporal

P = tiempo de premediación

Para calcular la Dosis Absorbida (DA) se multiplica la DS por un factor de absorción.

Concentraciones de exposición. La concentración de exposición C se calcula en base a los datos de muestreo ambiental. El término C es el valor del límite superior de confianza, percentil 95, del promedio aritmético de las concentraciones que son contactadas durante el período de exposición. Aunque este valor puede ser menor que la concentración máxima contactada, se considera razonable ya que es poco probable que se contacte la concentración máxima durante un período prolongado. Si no se cuenta con mediciones directas de la concentración en el punto de contacto entonces se hacen estimaciones de estos valores usando los modelos de destino y transporte.

Tasa de contacto. Representa la cantidad de medio contaminado contactado por unidad de tiempo o por evento. Si se dispone de datos estadísticos de tasas de contacto se debe de seleccionar el límite superior de confianza percentil 90 o 95 del promedio. Si no se cuenta con información estadística, entonces se debe de seleccionar, por experiencia, un valor similar al del percentil 95. Por ejemplo; la tasa de contacto para tóxicos en el agua potable es de 2 litros por día. Este es el valor del límite superior de confianza percentil 95 del promedio de ingesta diaria de agua en adultos en Estados Unidos. En algunas ocasiones se introducen más términos en la ecuación para calcular esta cantidad. Por ejemplo en el contacto cutáneo con sustancias químicas disueltas o suspendidas en agua, la tasa de contacto se estima combinando la información del área corporal expuesta, la permeabilidad de la piel a ese compuesto y el tiempo de exposición. Frecuencia y duración de la exposición. Estas dos variables se utilizan para calcular el tiempo total de exposición. Los valores que pueden tomar dependen del sitio, sin embargo es muy difícil que existan estadísticas sobre un sitio en particular. En algunas ocasiones se pueden obtener valores estadísticos nacionales. Se debe de seleccionar un valor conservador para el tiempo de exposición. Por ejemplo; en algunos casos se pueden utilizar períodos de 30 años para el caso de residentes (valor esperado del tiempo de residencia en un lugar) y en otros casos, es más conveniente usar 70 años (expectativa de vida). Las frecuencias de exposición y las duraciones de las exposiciones deben de ser consistentes con las tasas de contacto seleccionadas. Si se usa una tasa de contacto basada en observaciones de largo plazo, como en el caso de contar con la tasa del consumo anual de pescado, entonces se deben de calcular la tasa de contacto y la frecuencia de exposición expresada en días y en días⁻¹ (365 días = 1año).

Masa corporal. Para niños se utiliza como valor de la masa corporal el valor estándar encontrado en las tablas de "peso para la edad". La exposición vitalicia se estima por un promedio ponderado por tiempo de exposiciones estimadas para todos los grupos etéreos. Cuando los contactos son, más o menos, constantes durante el período vital, como la ingesta de agua, se utiliza el valor de 70 Kg. como valor de la masa corporal.

Tiempo de premedicación. El tiempo de premedicación seleccionado depende del tipo de efecto tóxico que se esté evaluando. Cuando se evalúan exposiciones a tóxicos para el desarrollo, los insumos se calculan promediando sobre el periodo del evento de exposición. Para tóxicos agudos se promedia sobre el tiempo más corto que se conoce, en el que se puede producir un efecto, normalmente un día. Cuando se evalúan exposiciones de largo plazo a tóxicos no-cancerígenos las dosis se calculan promediando los insumos durante el período de exposición. Por ejemplo; dosis diarias crónicas o dosis diarias subcrónicas. Para cancerígenos, las dosis se calculan promediando la dosis total acumulada durante el periodo vital y se le llaman Dosis Diaria Vitalicia Promedio (DDVP). Esta diferencia se basa en la opinión científica actual de que los mecanismos de acción son diferentes. Se supone que el efecto de la exposición a un cancerígeno es básicamente el mismo si se tiene una exposición a una alta concentración por corto tiempo a que se tenga una exposición a baja concentración por un período prolongado. Esta suposición es menos justificable cuando las exposiciones son intensas y poco frecuentes, especialmente si la sustancia es un cancerígeno que ha mostrado que sus efectos dependen de la dosis y de la tasa.

Incertidumbres. Las principales fuentes de incertidumbre en el cálculo de la DS son:

- La variabilidad en los datos analíticos
- El uso de modelos para estimar algunas variables
- Uso de valores supuestos para algunos parámetros.

La estimación del efecto de las incertidumbres en el cálculo de las dosis suministradas es un aspecto muy importante en la evaluación de riesgos, ya que indica el nivel de confiabilidad que se tiene en la evaluación de la exposición y pueden influir significativamente en la toma de decisión sobre intervención en un sitio.

2.4 CARACTERIZACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD

La caracterización de los riesgos a la salud pública en un sitio contaminado consiste en determinar si es tolerable el nivel de riesgo de que se produzcan daños asociados a la exposición a los tóxicos presentes en el sitio. Para hacer lo anterior se evalúan las exposiciones que sufren los pobladores, lo cual, consiste en:

- Hacer la selección de las poblaciones que se consideran en riesgo y de los tóxicos capaces de producir esos riesgos, identificando las condiciones de exposición
- Cuantificar las exposiciones que tienen lugar, estimando las dosis suministradas/absorbidas
- Calificar la calidad de los resultados del cómputo de las exposiciones.

Por otro lado se evalúa la peligrosidad de los tóxicos presentes, lo cual consiste en:

- Obtener los índices de toxicidad, que estén basados en información confiable, para todos los tóxicos que se seleccionaron en la evaluación de la exposición, y sean aplicables a las condiciones presentes en el sitio.
- Calificar la calidad de la información obtenida.

En la mayoría de los sitios contaminados, los individuos están expuestos a varios tóxicos al mismo tiempo y cada uno de los tóxicos pueden llegar a hacer contacto con las poblaciones por más de una ruta. En esta sección se revisará cómo se integran ambos conocimientos para la evaluación de riesgos por exposición a sustancias tóxicas, tanto si se trata de exposiciones a una sola sustancia por una ruta, como de exposiciones múltiples. Los riesgos asociados a la exposición de sustancias no-cancerígenas, se evalúan por separado de los riesgos por exposición a cancerígenos. Las metodologías para evaluar estos dos modos de toxicidad química son diferentes. Para caracterizar efectos no-cancerígenos, las comparaciones se hacen entre las dosis de exposición estimadas para cada una de las sustancias y sus dosis de referencia y al cociente de estas dos cantidades (exposición /dosis de referencia), que se le conoce como Cociente de Peligro. Los efectos cancerígenos o sea , la probabilidad de que un individuo desarrolle cáncer por exposición vitalicia a una sustancia, se estima a partir de las dosis de exposición estimadas y la información sobre la probabilidad específica de desarrollar cáncer (riesgo de cáncer por unidad de dosis o factor de pendiente), para la sustancia de interés. Al producto del valor de la exposición por el factor de pendiente se le llama: Riesgo de Cáncer. Una evaluación de riesgos no se puede considerar

completa, a menos que las estimaciones numéricas del riesgo se califiquen, a la luz de las suposiciones más importantes que se hicieron para llegar a los resultados obtenidos y el análisis de las incertidumbres que se introdujeron en los resultados como producto de esas suposiciones.

Evaluación de la exposición

En la sección anterior se presentó cómo se transportan los tóxicos en el ambiente desde la fuente de emisión y cómo parte de esos tóxicos liberados llegan en estado activo a contactar a algunos miembros de las poblaciones en uno o más escenarios, y cómo se determina qué rutas son significativas. Se vio también, cómo se define y calcula la dosis que reciben los individuos expuestos. Se mencionó varias veces que los modelos matemáticos que normalmente se utilizan en estos cálculos pueden representar sobre-simplificaciones de la realidad. También se dijo, que muy frecuentemente no se tiene información propia del sitio y/o de la población que se está estudiando y, que en ese caso se tienen que asignar valores a los parámetros de los modelos, basándose en estadísticas nacionales o en base a la experiencia de los encargados de hacer la evaluación de riesgos. La presentación de toda esta información numérica y cualitativa acompañada de los juicios de valor sobre las suposiciones hechas en el proceso de obtenerla es lo que denominamos evaluación de la exposición. Es la información que se necesita para hacer la evaluación de riesgos. Información contenida Los resultados del estudio de la exposición que se necesitan son los siguientes:

- Concentraciones químicas de todas las sustancias tóxicas en el punto de exposición
- Frecuencia y duración de las exposiciones
- Clasificación de las exposiciones observadas de acuerdo al período de exposición (crónicas, subcrónicas y agudas) y la vía de exposición (oral, inhalación y cutánea)
- Características de la población expuesta identificando subpoblaciones especiales
- Características del sitio
- Descripción de las rutas de exposición significativas
- Dosis Suministradas y/o Absorbidas de cada sustancia por cada ruta significativa, por cada vía y por cada período de exposición
- Relación de las rutas completas que se clasificaron como no significativas y porqué. Posible efecto de las exposiciones que no se están evaluando
- Lista de las rutas de exposición que pueden contribuir a la exposición de los mismos individuos en forma simultánea
- Modelos de transporte y destino utilizados en el análisis de las rutas de exposición
- Suposiciones hechas en el proceso de modelaje de las exposiciones
- Valores utilizados para los parámetros de exposición y fuentes de información
- Identificación y caracterización de las incertidumbres.

Evaluación de las incertidumbres

La evaluación de las incertidumbres es un aspecto muy importante en la evaluación de riesgos. Algunas de las fuentes de incertidumbre se pueden cuantificar, a las otras se les da un tratamiento cualitativo, pero siempre se analizan. Es conveniente conocer las posibilidades de que las incertidumbres se magnifiquen a lo largo del proceso de evaluación. Identificación. Las incertidumbres más importantes son las siguientes:

- Calidad de los datos de muestreo. Por ejemplo; si los datos de concentración de un determinado tóxico en el suelo no provienen de muestras representativas
- Calidad de la información que se consultó para asignar categoría del uso actual del suelo y para hacer la estimación de las probabilidades de cambio del uso del suelo
- La eliminación de sustancias de la lista de tóxicos a considerar en el estudio
- La eliminación de rutas de exposición completas.

Se debe de revisar esta información para confirmar o revocar las decisiones que se hayan tomado antes. Los errores que se cometan en estos aspectos pueden llegar a invalidar los resultados del análisis de riesgos. Otras fuentes importantes de incertidumbre son las inherentes a la evaluación de la exposición de los individuos a todas las sustancias. Estas incertidumbres son introducidas por:

- Los datos de muestreo

- Los modelos usados para estimar concentraciones de exposición, en la ausencia de datos experimentales
- La selección de niveles de los parámetros de insumos que no estén basados en datos experimentales
- Las incertidumbres adicionales que se introducen cuando se combinan las exposiciones a varias sustancias por varias rutas de exposición.

A continuación se describen algunas formas de cómo evaluar las incertidumbres en forma cuantitativa, semicuantitativa y cualitativa. Método Cuantitativo. El método cuantitativo se puede aplicar cuando los modelos son sencillos y se conocen bien los valores de los parámetros de insumo. En este caso, el primer paso será la caracterización de las distribuciones de probabilidades de los valores de las variables y, el segundo será el estudio de la propagación de las incertidumbres de los valores de las variables, a través del proceso de cálculo, usando métodos analíticos (series de Taylor de primer orden) o por métodos numéricos (simulación Montecarlo). Los métodos analíticos son posibles cuando se trata de pocas variables con distribuciones conocidas y de funciones lineales. En los casos más complejos se usan los métodos numéricos. Los análisis de primer orden, con series de Taylor, están basados en la suposición de que la varianza total de la variable de salida del modelo, es una función de las varianzas de las variables individuales de entrada al modelo y que la sensibilidad de la variable de salida es una función de las variables de entrada. La sensibilidad de la variable de salida se define como la primera derivada de la función o modelo. La derivada se puede generar en forma analítica o numérica. En la simulación Montecarlo se estima una distribución de exposiciones o riesgos por medio de la resolución

repetitiva de las ecuaciones del modelo. Se necesita definir la distribución de probabilidades para cada variable del modelo. De la distribución de riesgos que resulta se puede seleccionar un determinado percentil (por ejemplo el 95 en el caso de distribución de exposiciones). Las técnicas cuantitativas requieren de la definición de las distribuciones de todas las variables de entrada y de la covarianza que existen entre ellas. El valor de estos métodos disminuye rápidamente, si no se conocen bien las distribuciones de una o más variables y, si se tienen que suponer los valores y las distribuciones de algunos de los parámetros. Las técnicas cuantitativas se vuelven más difíciles de documentar y revisar, a medida que aumenta el número de variables en el modelo.

El llevar a cabo el análisis cuantitativo de las incertidumbres a veces lleva a una falsa percepción de confiabilidad en los resultados. Aún en los análisis más completos no se puede estar seguro de que se tomaron en cuenta todas las fuentes de incertidumbre y que se tomaron en cuenta todas las covarianzas. Métodos Semicuantitativos. Con frecuencia la información disponible es insuficiente para describir la distribución de valores de las variables, pero sí se pueden conocer los rangos dentro de los cuales toman valores los parámetros. En esta situación se pueden hacer estudios de sensibilidad de la variable de salida, determinar cuáles variables tienen más influencia en los resultados y calcular los rangos dentro de los cuales puede tomar valores la variable de salida. Se calcula el rango de la variable de salida del modelo (exposición) que resulte de suponer las combinaciones de valores extremos o medios de los parámetros de entrada. La caracterización de las incertidumbres por medio de este método, se puede hacer presentando los rangos de las exposiciones o riesgos

calculados en el análisis de sensibilidad y, por la descripción de las limitaciones en los datos que se usaron para estimar rangos plausibles de las variables de entrada del modelo.

Método cualitativo. En la mayoría de los casos este es el método más adecuados para presentar el análisis de incertidumbres. Se describe en forma cuantitativa o cualitativa la incertidumbre de cada parámetro y se indica simplemente la influencia posible de estas incertidumbres en la estimación final del riesgo en base al conocimiento que se tenga de cada modelo. En seguida se hace un resumen de la información y las incertidumbres que pueden estar asociadas a esas informaciones, que es conveniente tener a la mano cuando se está haciendo este tipo de análisis:

- Lista de los parámetros de evaluación de la exposición tales como: velocidad de infiltración, duración de la exposición, factores de bioconcentración, peso corporal, etc.
- Lista de los valores usados para cada parámetro y la razón para seleccionar ese valor
- Distribución de valores de cada parámetro sean estos medidos o supuestos, considerando,
- Si es posible, los siguientes: rango total, tipo de distribución, media (geométrica o aritmética), desviación estándar y percentiles específicos (mediana, percentil 95)
- Incertidumbre en valores estadísticos usados en la evaluación de riesgos (por ejemplo, el error estándar de la media) o la falta de datos y calificadores

- Dirección y magnitud potencial de las desviaciones en las estimaciones de riesgos introducidas por las suposiciones hechas y por la falta de datos.

Las curvas de nivel de riesgo que se calculan en base de exposiciones modeladas, son útiles para visualizar el efecto posible de contaminaciones actuales o futuras sobre las comunidades que viven cerca o en el sitio.

2.5 EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD

En la primera parte se realiza un estudio, denominado Toxicología Ambiental, y se analizó qué pasa cuando un tóxico entra al organismo y cómo cada individuo expuesto tiene sistemas bioquímicos para responder a la agresión química, que mecanísticamente pueden ser iguales, pero que pueden ser cuantitativamente diferentes, dependiendo de diversos factores ya sean, ambientales o propios de cada organismo. Se presentaron los mecanismos por medio de los cuales los tóxicos causan daños, así como los factores que tienen influencia sobre esa respuesta. Lo presentado en esas secciones ayuda a explicar la respuesta tóxica y su variabilidad. También se vio cómo la magnitud de las respuestas tóxicas están determinadas por la cantidad del tóxico que llega activo al tejido blanco.

Evaluación de la toxicidad, es la selección de los valores adecuados de los parámetros que miden la peligrosidad de las sustancias tóxicas presentes en el sitio, acompañados por la calificación de la calidad de esa información.

El parámetro que se usa en evaluación de riesgos es el índice de toxicidad.

Información sobre toxicidad.

La información sobre toxicidad es crítica en el proceso de evaluación de riesgos, sin embargo, la cantidad de datos sobre toxicidad es muy limitada y no es fácil estimarla. La derivación e interpretación de los índices de toxicidad requiere de experiencia. La EPA acumula información sobre la potencialidad de que un determinado compuesto sea un tóxico (cancerígeno o no-cancerígeno). Puede provenir de estudios epidemiológicos controlados, estudios clínicos, estudios fármaco-toxicológicos con animales experimentales, así como, información de apoyo provenientes de estudios in vitro y estudios comparativos entre estructura y actividad. Los resultados de los estudios epidemiológicos bien diseñados y conducidos que muestran una correlación positiva entre un agente y una enfermedad, presentan la evidencia más convincente de que el compuesto es un tóxico para humanos. Las bases de datos sobre toxicidad contienen muy poca información de efectos tóxicos observados en humanos, porque normalmente las exposiciones no son intencionales y por lo tanto no son estudios controlados. Si no se cuenta con información proveniente de estudios con humanos, lo que se hace es inferir el potencial de una sustancia para producir efectos adversos en el hombre, a partir de información obtenida con mamíferos experimentales (ratas, ratones, conejos, cuervos, perros o monos). Hay ocasiones en que las observaciones con animales son de relevancia incierta para humanos. Se considera más probable que un agente tendrá efectos adversos en el hombre, si éstos se observan en diversos experimentos con animales de diferente especie, cepa, en ambos sexos, y por diferentes rutas de exposición. Se le da más credibilidad a los resultados, si se tiene información

proveniente de estudios de metabolismo comparado, que demuestren que la sustancia experimenta biotransformaciones similares en el animal de laboratorio y en el hombre. Los estudios de los efectos de un compuesto sobre poblaciones microbianas y células en cultivos de tejidos proporcionan información sobre su toxicidad. Por ejemplo; se refuerza la sospecha de que un compuesto es cancerígeno si se demuestra in vitro que produce daño al ADN, aberraciones cromosómicas, transformación de células y es mutagénico. Estos resultados también dan información sobre el mecanismo potencial de carcinogenicidad. Por otro lado, los resultados negativos en estos estudios de genotoxicidad de corta duración, no se consideran que son suficientes para desechar los resultados obtenidos en estudios de carcinogenicidad de larga duración con animales.

Los estudios de Estructura-Actividad (o sea la predicción de actividad toxigénica basada en el análisis de la estructura química) son otra fuente potencial de información de apoyo. En algunos casos, se usa la información sobre toxicidad de un compuesto para estimar la actividad de otro compuesto de estructura parecida para el que no existe información experimental. La EPA está estudiando la adopción de nuevos lineamientos para hacer la evaluación de riesgos de cáncer en sitios contaminados. La metodología actual está basada en los conocimientos que existían hace más de 10 años, está modificándose para dar mayor peso a los estudios de genotoxicidad, reflejando el incremento en la confianza que se tiene en el resultado de estos estudios, después del desarrollo, durante esta década, que han experimentado las distintas técnicas de laboratorio. El primer paso en la evaluación de la toxicidad es obtener la información sobre los daños que pueden producir los tóxicos presentes en el sitio. Se obtiene la

información sobre peso de la evidencia de que el compuesto es cancerígeno humano o tóxico para el desarrollo, así como los índices que corresponden a los distintos modos de acción de la sustancia (cancerígenos, no-cancerígenos, tóxicos para el desarrollo) correspondientes a los distintos períodos de exposición y vías de exposición. La mayoría de los índices de toxicidad publicados se calcularon en base a los niveles de efectos críticos observados experimentalmente, en donde se midieron las dosis suministradas y no las dosis absorbidas. Cuando se obtienen valores calculados usando dosis absorbidas, es necesario transformarlos a valores equivalentes en dosis suministradas. La EPA ha hecho el trabajo de analizar la información toxicológica de buena calidad que existe y la ha acumulado en varias tablas electrónicas para consulta en línea o en publicaciones periódicas. Estas tablas constituyen las mejores fuentes de información sobre índices de toxicidad disponible. Las más importantes son:

Sistema IRIS IRIS (Integrated Risk Information System) es una base de datos que contiene información actualizada sobre toxicidad y la normatividad para el uso de numerosas sustancias. Sólo está disponible para consulta en línea y se puede acceder desde la página electrónica de la EPA. IRIS contiene los valores verificados de las DdR y de los Factores de Pendiente y especifica el nivel de incertidumbre usados en la derivación de DdR. La base de datos consiste de una colección de archivos que se van actualizando a medida que la información científica se revisa. Se tiene un archivo por cada sustancia. Se agregan nuevos archivos a medida que la información va estando disponible. Hasta 1998, se cuenta con archivos para más de 500 sustancias.

Los archivos contienen la siguiente información cuantitativa arreglada en las siguientes categorías:

- DdR crónicas para vía oral e inhalada
- Factores de Pendiente y Unidades de Riesgo para exposición crónica por vía oral o por inhalación
- HA para agua potable
- Resúmenes de la normatividad que aplica la EPA
- Datos suplementarios sobre peligros agudos para la salud, así como información fisicoquímica
- Bibliografía sobre los estudios toxicológicos hechos con la sustancia

La base de datos IRIS no contiene información sobre toxicidad a niveles de exposición mayores que los efectos críticos. Con el propósito de ejemplificar el contenido de los archivos en la base IRIS se presenta en el apéndice la impresión del archivo del arsénico tal como aparecía a mediados de 1998.

Los índices que están esperando la decisión de los grupos de trabajo para ser declaradas como valores verificados se les conoce como índices interinos y no aparecen en IRIS. Tablas HEAST. Las tablas HEAST (Health Effects Assessment Summary Tables) contienen información sobre DdR y Factores de Pendiente interinos, así como otros datos de toxicidad de algunas sustancias. Tienen información bibliográfica sobre estudios de toxicidad. Estas tablas son de gran utilidad cuando la información que se necesita no se encuentra en IRIS. Las tablas se publican

trimestralmente. Otros Documentos. Cuando no se encuentra información, en las fuentes arriba mencionadas, sobre la toxicidad de la sustancia de interés, se pueden consultar otras publicaciones que contienen información general, tales como los documentos que especifican criterios de calidad de agua potable y pureza del aire. La ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) publica una serie de documentos que se llaman Perfiles Toxicológicos. Contienen información general sobre toxicidad y niveles de exposición asociados con letalidad, cáncer, genotoxicidad, neurotoxicidad, toxicidad para el desarrollo y la reproducción, inmunotoxicidad y toxicidad sistémica (hepática, renal, respiratoria, cardiovascular, gastrointestinal, hematológica, músculo-esquelética y dermo/ocular). Los Perfiles contienen información sobre los efectos tóxicos observados en el hombre y en los animales, por ruta de exposición y duración (aguda, intermedia, crónica). Los perfiles también incluyen capítulos sobre propiedades físicoquímicas y métodos analíticos. Los Perfiles Toxicológicos de ATSDR son adecuados para obtener información en forma rápida de los efectos adicionales a la salud que puedan ocurrir por exposiciones de mayor nivel que los que producen los efectos críticos. Es conveniente hacer notar que ATSDR y EPA definen en forma diferente algunas de las variables que entran en el cálculo de los índices de toxicidad. Es necesario tener cuidado al mezclar los datos provenientes de estas dos fuentes de información.

2.6 ESTIMACIÓN DE RIESGOS

Como se mencionó antes, el riesgo se calcula por separado para cancerígenos y no cancerígenos. Para este último caso se calculan los Cocientes de Peligro dividiendo el

valor de la dosis suministrada por cada ruta entre el valor de la dosis de referencia. Se deben seleccionar las DdR para los mismos períodos y vías de exposición que se usaron en la estimación de las dosis suministradas/absorbidas. La dosis suministrada para el cálculo de riesgos de cáncer se debe estimar para exposiciones por todo el período vital (70 años).

Los números que se comparen en la estimación de riesgos, además de ser válidos, deben ser consistentes entre sí.. Es necesario probar la validez de las suposiciones claves más comunes que se hicieron en los estudios de exposición y de toxicidad para cada tóxico y ruta de exposición evaluada. Estas suposiciones incluyen los períodos de promediación de las exposiciones, la vía de exposición y los ajustes de la absorción. El principio básico, en este caso, es asegurarse que las estimaciones de exposición correspondan tan cercanamente como sea posible con las suposiciones utilizadas en el desarrollo de los índices de toxicidad. Períodos de promediación de la exposición. Si los índices de toxicidad están basados en exposiciones vitalicias, entonces la evaluación de la exposición deberá estar expresada en los mismos términos. Para estimar riesgos de cáncer se deben usar promediaciones de exposiciones vitalicias, y si se tienen exposiciones más cortas, éstas deben expresarse en equivalentes de exposiciones vitalicias.

Para evaluar efectos no-cancerígenos para exposiciones no vitalicias, no se deben comparar DdR crónicas con exposiciones de más corta duración. En su lugar se deben usar DdR subcrónica o para exposiciones cortas. Las exposiciones usadas en los estudios de toxicidad deben ser semejantes a las duraciones de las exposiciones

evaluadas en el sitio, para que las estimaciones de los riesgos sean suficientemente conservadoras y protejan adecuadamente la salud humana, particularmente en los efectos subcrónicos y de corta duración. Si no se cuenta con datos de toxicidad para exposiciones de corta duración, se pueden utilizar las DdR crónicas como un valor inicial. Si la relación de la dosis de exposición de corta duración a la DdR crónica es menor a la unidad, entonces hay muy pocas probabilidades de que se presenten efectos adversos. Si este cociente es mayor que 1, se deben localizar o producir valores de DdR para el período adecuado, y así confirmar la existencia de una amenaza significativa para la salud.

Se debe confirmar que los índices de toxicidad para cada ruta de exposición sean consistentes con la vía de ingreso del tóxico ambiental (o sea oral con oral, inhalación con inhalación, etc.). Cuando las sustancias tienen efecto en el sistema de ingreso, no es posible extrapolar los índices de toxicidad de una vía a otra. Por ejemplo; un índice de toxicidad basado en la aparición de tumores localizados en los pulmones, que resultan solamente de la inhalación de la sustancia, no será apropiado para estimar el riesgo cuando en el sitio sólo se observa una exposición cutánea. En la actualidad, sólo se considera (por la EPA) como apropiado que se extrapolen a exposición dérmica, índices desarrollados con exposiciones orales. No se recomienda que se extrapolen índices derivados por exposición por inhalación para usarse en evaluación de riesgos por exposición oral, aunque en algunas ocasiones sí se hace. Las DdR de inhalación (DdRi) obtenidas en IRIS, normalmente estarán expresadas como concentraciones en el aire ambiente (unidades: mg/m^3) y no como dosis administradas ($\text{mg}/\text{Kg} \cdot \text{día}$). Será necesario transformar las unidades para que sean las mismas unidades en las que se

calculen las dosis suministradas estimadas en la evaluación de la exposición. Se tiene que multiplicar la DdRi por 20 para considerar el volumen de aire inhalado por una persona por día expresado en metros cúbicos, y dividir por 70 que es peso promedio de la población expresado en kilogramos.

Ajustes a la absorción. Debe de corroborarse que las exposiciones y los índices de toxicidad estén ambos expresados como dosis suministradas o como dosis absorbidas. Con la excepción de las exposiciones dérmicas, los índices en las tablas de la EPA están referidos a las dosis suministradas. En el caso de las exposiciones cutáneas los índices se calculan con las dosis absorbidas. Los ajustes que hay que hacer para transformar de un tipo de dosis a la otra, dependen de la información de toxicidad disponible. La evaluación de exposición por exposición cutánea está expresada como los miligramos de la sustancia absorbida por Kg. de peso corporal por día. Es necesario derivar un índice de toxicidad basado en dosis absorbidas. Hay algunas sustancias como el TCE, para las cuales los índices de toxicidad están basados en dosis absorbidas. En este caso las exposiciones se tendrán que modificar para que reflejen dosis absorbidas.

En algunas ocasiones, es conveniente, corregir por diferencias entre las eficiencias de absorción por medio de exposición por ejemplo; alimentos, suelos o agua por vía oral y agua o partículas por inhalación, aunque no siempre se recomienda hacerlo. Sólo si se tienen argumentos de peso que justifique la corrección. Los valores de DdR y FP para ingestión (vía oral) publicados, normalmente suponen ingestión en solución acuosa.

CAPITULO 3

RESTAURACIÓN AMBIENTAL

3.1 PROYECTO DE CORRECCIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES

La limpieza de un sitio que contenga sustancias tóxicas sólo se justifica si la presencia de los tóxicos representa un peligro para la salud de la población. Esto quiere decir que antes de proceder a eliminar o controlar las sustancias tóxicas en el ambiente, se deben evaluar los riesgos que representan, si no se les controla en forma adecuada..

La restauración ambiental de un sitio contaminado, o sea la reducción de las exposiciones a niveles tolerables, puede ser un trabajo muy grande y de alto costo cuya magnitud depende fundamentalmente de lo siguiente:

- Características del sitio
- Aspectos legales y normativos
- Disponibilidad de tecnologías adecuadas para tratar el problema.

Así pues, el proceso de limpiar un sitio debe estar perfectamente justificado y diseñado con todo cuidado. Antes de iniciar trabajos de restauración ambiental es necesario hacer un proyecto que defina el proceso que se va a seguir y, estime la relación costo/beneficio de la restauración. La elaboración del proyecto normalmente incluye trabajo de campo en el sitio contaminado, trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete. El trabajo de campo consiste fundamentalmente en la caracterización del escenario de exposición, incluyendo el muestreo del sitio y la identificación de las poblaciones en peligro potencial.

El trabajo de laboratorio consiste en el análisis de las muestras ambientales y la realización de las pruebas de tratabilidad de las muestras de medios contaminados que se desean limpiar. Las pruebas de tratabilidad tienen por objeto, determinar experimentalmente si la tecnología que se seleccione para restaurar el sitio es realmente la adecuada para hacer el trabajo. En algunas ocasiones, cuando no se encuentra publicada la información toxicológica necesaria y no se pueden modelar estimaciones confiables, se tienen que hacer estudios toxicológicos de laboratorio. El trabajo de gabinete consiste fundamentalmente en la obtención y procesamiento de información, selección y uso de modelos matemáticos para predecir transporte y propiedades de las sustancias tóxicas. Con el trabajo de campo y de laboratorio, más la información obtenida se hace la evaluación de riesgos y se toma la decisión de intervenir o no el sitio. En caso de que se decida la intervención, se establecen las metas de reducción de los niveles de exposición, se analizan las alternativas tecnológicas disponibles para destruir o confinar las sustancias peligrosas, seleccionando la más adecuada. Se termina el proyecto de remediación con la elaboración del plan de operaciones en el que se establecen los trabajos a realizar desde la preparación del terreno, la limpieza de los medios que contienen las sustancias tóxicas, hasta el cierre del sitio. La elaboración de los proyectos de restauración es un trabajo multidisciplinario que requiere de aportaciones de científicos, ingenieros y técnicos de muy diversas disciplinas (toxicólogos, químicos, médicos, meteorólogos, geólogos, hidrólogos, etc.) con experiencia amplia en el campo de evaluación de riesgos y en restauración ambiental.

El proyecto de restauración consta de los siguientes estudios:

- Visión global del proyecto
- Investigación para la restauración
- Estudio de viabilidad

El propósito de este estudio es definir, con la información disponible antes de hacer trabajo de campo, la extensión y tipo, de investigación y análisis que se deben de realizar en un sitio dado. El estudio de Visión Global del proyecto consta de lo siguiente:

- Una estimación preliminar de la complejidad del proyecto.
- El desarrollo de un modelo conceptual del sitio en el que se consideren en forma cualitativa las fuentes de contaminación, las rutas de exposición y los receptores potenciales
- La identificación de las decisiones que se espera tomar con el propósito de:
 - 1) Definir tipo y cantidad de información que se va a necesitar
 - 2) Diseñar los estudios que se van a hacer para recolectar y/o generar esa información
- La identificación de las actividades de modelaje-sitio-específicas que se van a hacer para asegurarse que la obtención de información esté siempre dirigida a apoyar las actividades de evaluación de riesgos y que se seleccionen modelos congruentes con los datos que sean factibles de obtener o generar.

3.2 INVESTIGACIÓN PARA LA RESTAURACIÓN

Se define como IR, al trabajo que se necesita para producir y/o captar la información relevante para el estudio de caracterización de riesgos. La investigación para la restauración, no es un proyecto de investigación científica que pretenda la descripción a detalle de la fisiografía del sitio y la sociología de las poblaciones humanas relacionadas con él. Sólo se pretende la obtención de la información indispensable para determinar si el sitio debe ser intervenido y en su caso, cómo debe hacerse esa intervención. Si el problema es grave se tiene que intervenir a corto plazo y no hay tiempo que perder captando detalles sobre el sitio que no son relevantes para su restauración. En este estudio, que se le conoce también como "caracterización del sitio", se lleva a cabo la recolección y análisis de muestras de campo de acuerdo al plan desarrollado en el estudio de visión global. Se procesa la información recolectada y generada hasta llegar a la conclusión del ERLB (evaluación de riesgos de línea base) y la realización de las pruebas de tratabilidad. Los resultados de la ERLB se usan para:

- Documentar la magnitud del riesgo en el sitio y las causas primarias de ese riesgo
- Ayudar a determinar si es necesario intervenir en el sitio
- Determinar los niveles residuales de tóxicos que se pueden quedar en los sitios
- Establecer y modificar las metas preliminares de restauración
- Establecer las metas definitivas de restauración
- Fundamentar la decisión de "no-acción", cuando sea lo apropiado

- Establecer bases de comparación en la evaluación de las distintas alternativas de restauración
- Determinar los riesgos esperados durante el proceso de restauración.

La ERLB es la parte del proyecto de restauración que fundamenta la decisión de intervenir o no un sitio. Por razones didácticas se presenta la investigación de restauración y el estudio de viabilidad como si fueran pasos secuenciales, sin embargo en la práctica son procesos interactivos y concurrentes. La información obtenida en los IR influye sobre la selección de las alternativas tecnológicas a considerar en los EV. Por otro lado, la selección del conjunto de tecnologías a evaluar en los EV, influye fuertemente en la cantidad y tipo de información que se tiene que generar en la IR. La información que se produce en el proyecto de restauración es la siguiente:

- Evaluación técnica de los peligros que representa un sitio con desechos peligrosos sin control
- Caracterización de las posibles rutas de exposición
- Evaluación de las alternativas de restauración (incluyendo las ventajas y desventajas relativas)
- Selección de la alternativa más adecuada, incluyendo el análisis de los criterios de selección.

3.3 ESTUDIOS DE VIABILIDAD

Los Estudios de Viabilidad (EV) proporcionan una evaluación de las alternativas de restauración, incluyendo el análisis de las debilidades y ventajas de cada una de las tecnologías, así como los criterios utilizados para seleccionar una alternativa sobre las demás. La integración de la lista de tecnologías posibles de utilizarse en la restauración del sitio se hace en forma concurrente con la investigación de restauración. El desarrollo y análisis de alternativas así como, el establecimiento de las metas de restauración se afinan y modifican a medida que se progresa en la investigación de restauración, y la información generada va estando disponible.

El primer paso en la elaboración de los EV es definir los objetivos de las acciones de restauración. Éstas se deben enfocar a los contaminantes y medios de interés en el sitio, a las rutas potenciales de exposición identificadas y a las metas preliminares de restauración que se establecieron. Las metas preliminares de restauración (MPR) proporcionan los objetivos de largo plazo en el análisis y selección de alternativas de restauración. Estas metas deben de diseñarse para:

- Cumplir con los Requerimientos Aplicables, Relevantes y Apropriados (RARA). Los RARA son las concentraciones límites establecidas por las diferentes reglamentaciones ambientales, por ejemplo; los niveles máximos permisibles en agua potable, etc. Pueden ser diferentes de un país a otro.
- Disminuir los riesgos residuales a niveles que satisfagan los requerimientos de protección de la salud pública

Las MPR se deben de establecer desde el inicio del trabajo, antes de hacer el proyecto de restauración (IR/EV), para que desde un principio se puedan visualizar las alternativas tecnológicas e iniciar el diseño del proceso de limpieza ambiental. Las MPR se modifican o ratifican de acuerdo a los resultados que se obtengan en la ERLB y se convierten en Metas de Restauración. Los estándares que se deben de llenar en el proceso de restauración están especificados en la legislación ambiental y sus reglamentos. En el caso de México se deberán llenar las normas de calidad ambiental que establezcan la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la Secretaría de Salud y la Secretaría del Trabajo.

En el caso de Estados Unidos a la ley que establece estos principios se le denomina CERCLA. Su reglamento está publicado en el Código Federal de Reglamentos (Volumen 40, parte 300) y se conoce como Plan Nacional de Contingencias (NPC, por sus siglas en inglés). La sección 300.450 del NCP contiene las disposiciones que especifican cómo establecer los niveles de contaminación a que se debe llegar en el proceso de limpieza ambiental.

El NCP establece nueve criterios de evaluación para seleccionar una tecnología de restauración, que incluyen dos criterios de tolerancia que definen los niveles tolerables de tóxicos que pueden quedar en el sitio después del proceso de limpieza (criterios 1 y 2), dos criterios de modificación que no están basados en evaluación de riesgos (criterios 8 y 9) y cinco criterios de balance (criterios 3-5).

1. Protección de la salud y el ambiente
2. Cumplimiento de los RARA (al menos que se puedan excusar)
3. Definitividad y efectividad en el largo plazo
4. Reducción de toxicidad, movilidad o volumen durante y al final del tratamiento
5. Efectividad en el corto plazo
6. Factibilidad
7. Costo
8. Aceptación por autoridades locales
9. Aceptación por la comunidad.

TABLA 3. 1 NOMBRES Y GENERALES

También establece que se deben favorecer las alternativas tecnológicas que reducen en forma significativa y definitiva el volumen, la toxicidad y la movilidad de los tóxicos ambientales y que la tecnología de restauración que se seleccione debe asegurar, al máximo posible, que se obtendrá una solución definitiva al problema con una relación costo/beneficio aceptable . La EPA ha publicado varias directrices que se deben seguir para planear y evaluar las distintas etapas del proceso de restauración en un sitio "Superfund". Las MPR se deben desarrollar en el estudio de visión global del proyecto de restauración o al inicio del IR/EV. Esta determinación temprana de las MPR facilita el desarrollo de alternativas tecnológicas y permite que el esfuerzo se centre en la selección del remedio más efectivo.

Para desarrollar las MPR se requiere la siguiente información sobre el sitio:

- Medios potencialmente importantes,
- Tóxicos potencialmente importantes y
- Usos probables del suelo en el futuro

Esta información se genera en el estudio de visión global. Una vez que se cuenta con esa información se procede a localizar los RARA. Si no se cuenta con los RARA entonces las MPR se basan en una evaluación preliminar de los riesgos. Se seleccionan los índices de toxicidad de las sustancias potencialmente importantes y se suponen valores plausibles para las exposiciones). Vale la pena recordar que, las MPR establecidas en esta última forma son sólo directrices iniciales, no establecen que el proceso de limpieza deberá alcanzar esas metas. Sólo se podrán convertir en metas de restauración después de que se analicen en el IR/EV.

Para calcular las metas de restauración se utilizan las mismas ecuaciones con las que se calculan los riesgos, pero en este caso se fija el nivel de riesgo y se calcula la concentración del tóxico que produce ese riesgo predeterminado. Para cancerígenos se fija como meta que el incremento en la probabilidad de que se produzca un cáncer no sea mayor a 1×10^{-6} . Para no-cancerígenos se fija el valor del Índice de Peligro en 1. Lo único que se tiene que hacer es despejar la concentración y el valor que se obtiene es la Meta Preliminar de Restauración para esa sustancia en ese medio. Las ecuaciones, la definición de los parámetros y los valores que normalmente se asignan a esos parámetros se presentan en las tres tablas que aparecen en las tres páginas que siguen.

Ecuaciones para calcular MPR

Agua potable	Uso Residencial
Cancerígenos:	$MPR = 365MTRc / FD(IKSi + ASo) = 1.7 \times 10^{-4} / (2So + 7.5Si)$
No cancerígenos:	$MPR = 365MTRnc / FD(IKRi -1 + ARo -1) = 73 / (7.5 Ri -1 +2Ro -1)$
Suelo.	Uso Residencial
Cancerígenos:	$MPR = 365TRc / (AcFSo \times 10^{-6}) = 0.64/So$
No cancerígenos:	$MPR = 365TRncRo \times 10^{-6} / FAc = 2.7 Ro \times 10^5$
Suelo.	Uso Comercial / Industrial
Cancerígenos	$MPR = 365MTRc / FD (ASo \times 10^{-6} + ISi(K -1 + Kp -1))$ $MPR = 2.9 \times 10^{-4} / (5 So \times 10^{-6} + Si (20/K + 4.3 \times 10^{-9}))$
No cancerígenos	$MPR = 365MTRnc / FD (A / Ro \times 10^{-6} + (I / Ri) \times (K -1 + Kp -1)$ $MPR = 102 / ((5 \times 10^{-9} / Ro) + Ri-1 (20K -1 + 4.3 \times 10^{-9}))$

TABLA 3. 2 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LAS MPR

Si las MPR para suelo contaminado es mayor que Csat, entonces se usa Csat como MPR.

$$MPR = Csat = sHPa + sHf$$

Factor de Volatilización Suelo/Aire $K = 3.14zD^{1/2} LVh / (2EDefPa \times 10^{-9}) Sup$

Donde:

$$z = EDef / (E + Pi^{-1} (1 - E) pe)$$

Factor de Emisión de Partículas: $Kp = VhL \times 10^9 / (1 - cv)(Vm/Vi) SupF(x)t$

Tasa Ingesta suelo corregida por la edad: $Ac = (A-6 D-6 / M-6) + (A+6 B+6 / M+6)$

CAPITULO 3 RESTAURACION AMBIENTAL

SÍMBOLO	UNIDADES	VALOR USUAL	DEFINICIÓN
MPR	mg/L	*	Meta Preliminar de Restauración, igual a C
C	mg/L		Concentración del tóxico
Rc	**	10 ⁻⁶	Meta de Riesgo. Exposición a cancerígenos
Rnc	**	1	Meta de Riesgo. Exp. a no-cancerígenos
M ₊₆	Kg.	70	Masa corporal. Adultos
M ₋₆		15	Masa corporal. Menores
T	año	70	Tiempo de exposición (vitalicia)
F	días/año	350	Frecuencia de exposición. Residencial
		250	Frec. de exp. Comercial/Industrial
D	año	30	Duración de la exposición. Residencial
		25	Dur. de la exp. Comercial/Industrial
D ₋₆		6	Dur. de la exp. Suelo. Menores de 6 años
D ₊₆		24	Duración de la exposición. Suelo. Mayores
S _o	Kg. x día/mg	*	Factor de pendiente. Vía oral
S _i	Kg. x día/mg	*	Factor de pendiente. Vía respiratoria
R _o	mg/Kg./día	*	Dosis de Referencia. Vía oral
R _i	mg/Kg./día	*	Dosis de Referencia. Vía respiratoria
I	m ³ /día	15	Tasa de inhalación. Residencial (interiores)
		20	Tasa de inhalación en el trabajo
A	L/día	2	Tasa de ingesta de agua
A ₋₆	mg/día	200	T. de ingesta de suelo. Menores de 6 años
A ₊₆	mg/día	100	T. de ingesta de suelo. Mayores de 6 años

CAPITULO 3 RESTAURACION AMBIENTAL

	mg/día	50	T. de ingesta de suelo. Comercial/Industrial
Ac	mg-año/Kg-día	114	T. de ingesta de suelo. Corregida por edad
K	** L/m	3 0.5	Factor de volatilización en agua.
	m ³ /Kg	*	Factor de volatilización. Suelo/aire
K _p	m ³ /Kg	4.63x10 ⁻⁹	Factor de emisión de partículas
* Propiedad de la substancia			** Adimensional

TABLA 3. 2 PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LAS MPR.

Definición de variables. Exposición a suelo.

Símbolo Unidades Valor Usual Definición

Csat mg/Kg. *** Concentración de saturación en suelo

Corg Fracción *** Contenido de C orgánico en el suelo

Pa L/Kg. * Coeficiente de partición suelo/agua

Pi g/cm³ 41(Hr/Pa) Coeficiente de partición suelo/aire

Po L/Kg. * Coeficiente de partición del C orgánico

s mg/L * Solubilidad en agua

H L/Kg. *** Humedad del suelo

Hf Fracción *** Humedad del suelo

L m 45 Longitud del área contaminada

V m/s 2.25 Veloc. del viento en zona de mezclado

h m 2 Altura de difusión

Sup m 2 2025 Area de contaminación

Def cm² /s d x E 0.53 Difusividad Efectiva

d cm² /s * Difusividad molecular

E *** Porosidad del suelo

Hr atm-m² /mol * Constante de la ley de Henry

pe g/cm³ 2.65 Densidad verdadera del suelo

Te s 7.9 x 10⁸ Intervalo de exposición

g x m² /h 0.036 Fracción respirable

cv ** 0 Fracción con cobertura vegetal

Vm m/s 4.5 Velocidad media anual del viento

VI m/s 12.8 Velocidad límite a 10m

F(x) ** 0.0497 Función que depende de (Vm/VI)

* Propiedad de la sustancia

** Adimensional

*** Propiedad del sitio

Como se mencionó anteriormente, las MPR se van modificando a medida de que se va contando con la información generada en el IR/EV. Cuando se tienen los resultados de la ERLB se comparan los resultados obtenidos (identificación de los medios y sustancias relevantes así como los usos actuales y futuros del suelo) con las suposiciones que se hicieron en el estudio de visión global. Es probable que se tengan que agregar o eliminar sustancias a la lista preliminar y que también se tengan que establecer metas diferentes. Las metas basadas en la ERLB deben satisfacer los dos criterios de tolerancia y se pueden modificar en la fase final de selección del remedio de acuerdo a los demás criterios y también en base a los factores que resulten de considerar las incertidumbres, las exposiciones y la factibilidad técnica. Las metas de restauración finales se establecen hasta que se ha llegado a la fase final de selección de la tecnología más apropiada y se les cambia el nombre llamándoseles ahora

"niveles de restauración", para enfatizar el hecho de que son requisitos obligatorios y no sólo metas deseables. Una vez que se han establecido los objetivos de la restauración, se procede a diseñar las acciones generales de respuesta. Se incluyen los tratamientos, confinamientos, excavaciones, bombeo y otras acciones que se deben cumplir para satisfacer los objetivos establecidos. El proceso de desarrollar las alternativas de restauración del sitio consta de dos acciones importantes, la determinación de los volúmenes o áreas de desechos o medios ambientales que se tienen que tratar utilizando la información sobre la naturaleza y extensión de la contaminación, las RARA, los estudios de transporte y destino de los contaminantes y la información sobre toxicidad, la comparación de las tecnologías disponibles para identificar aquéllas que sea más efectivas para tratar los contaminantes y medios de interés en el sitio. Existe la base de datos VISITT que se puede consultar directamente en Internet.

Con esta información se integra la lista de alternativas de restauración para tratar el total del sitio o para realizar unidades de operación específicas. La restauración se puede fraccionar en Unidades de Operación (UO). Las UO son acciones discretas que en su conjunto están dirigidas a obtener al final una restauración total de todo el sitio.

Pueden ser acciones dirigidas a una porción geográfica o a un problema específico del sitio (v.g. tanque y tambos, acuíferos contaminados) o al sitio completo. Son actividades intermedias (v.g.; bombeo y tratamientos de aguas subterráneas contaminadas para retardar el movimiento de la pluma de contaminación) y que lógicamente tienen que ser seguidas de otras acciones o UO para atacar el problema total.

Una respuesta inmediata puede ser; hacer una UO para atacar un problema apremiante que se agravaría si no se tratara, o realizar una acción coyuntural limitada para reducir significativamente, en forma rápida, un riesgo importante. La conveniencia de dividir o no dividir, las actividades de restauración en UO, está determinada por las interrelaciones que existen entre los problemas del sitio y por la necesidad o deseo de iniciar actividades a corto plazo. Si los problemas están muy interrelacionados es posible que sea más conveniente atacar el problema en forma integral. Si los problemas se pueden fraccionar, entonces será más conveniente diseñar un conjunto de acciones secuenciales dirigidas a UO, con lo cual es posible que se logre una disminución más rápida del nivel de riesgo.

3.4 ANÁLISIS DETALLADO DE ALTERNATIVAS

En caso de que se genere un número muy grande de alternativas tecnológicas, para hacer operable el estudio de viabilidad, es posible que sea conveniente reducir el número de las alternativas que se analizarán en detalle. Este proceso de eliminación se puede hacer siempre y cuando se asegure que el análisis se lleve a cabo con las alternativas más prometedoras. La evaluación de la protección global que proporciona una alternativa se debe enfocar en cómo se logra la protección, en qué tiempo y cómo reduce los riesgos en el sitio. En este paso se pondera cada una de las alternativas utilizando los criterios de evaluación que especifiquen las reglamentaciones existentes. Los resultados se presentan en forma tal, que sea posible hacer comparaciones entre las alternativas y se puedan identificar los ajustes que se tienen que hacer en el proceso de selección.

En los Estados Unidos se usan los criterios establecidos en el NCP. En la evaluación se toman en cuenta las normas y consideraciones técnicas que la experiencia ha demostrado que son importantes en la selección de alternativas de restauración.

Los criterios que sirven para la conducción del análisis detallado de alternativas del Estudio de Viabilidad son la base para la selección de los procedimientos de restauración. Algunos de los criterios de selección están basados en el estudio de caracterización de riesgos así que, esta información es fundamental para seleccionar los procedimientos de restauración. El criterio de permanencia y efectividad a largo plazo es la evaluación de las actividades de restauración en base al riesgo residual en el sitio, después de que se han cumplido los objetivos de la acción de restauración. Se debe evaluar la efectividad de los controles que se tendrán que aplicar para manejar el riesgo que representan los residuos del tratamiento y/o desechos no tratados, que se vayan a dejar en el sitio, así como los volúmenes y naturaleza de estos materiales. Se deben considerar los impactos sobre la salud y el ambiente si el tratamiento falla.

La evaluación de la efectividad a corto plazo se enfoca en los impactos de la alternativa, durante la fase de operación, mientras se cumplen los objetivos de las acciones de restauración. se juzgan las alternativas con respecto a los efectos potenciales sobre la salud humana y el ambiente que puedan ser consecuencia de las acciones de implementación durante la restauración y al tiempo que se tarda en lograr la protección.

En la década de los 80 y de los 90 se trabajó intensamente en el desarrollo de tecnologías para eliminar los tóxicos ambientales. Inicialmente, la limpieza de un sitio consistía en el traslado del material contaminado a otro lugar donde era confinado o se incineraba. Estas alternativas normalmente encuentran gran oposición en las comunidades cercanas a las instalaciones de recepción y cremación. El desarrollo tecnológico en destoxificación ambiental se ha orientado hacia el diseño de procesos físicos, químicos, biológicos o combinaciones de ellos que tengan las siguientes características:

a) Que transformen los tóxicos ambientales en sustancias menos peligrosas para el hombre ya sea porqué :

- Los destruya completamente
- Disminuya su toxicidad
- Disminuya su concentración en los medios que entran en contacto con las poblaciones humanas
- Los modifique químicamente y el cambio introducido disminuya la probabilidad de que se produzcan exposiciones efectivas

b) Los riesgos para la salud durante el proceso de limpieza deben de ser tolerables

c) los riesgos remanentes, después de terminada la restauración, deben ser iguales o menores que los establecidos en las metas de restauración.

d) que la transformación se lleve a cabo en el sitio mismo donde se encuentran los tóxicos, de ser posible sin tener que desplazar, dentro del sitio, el medio contaminado (técnicas insitu).

e) que logren la disminución o eliminación del peligro para la salud en tiempos y costos razonables.

En el caso de los sitios "Superfund" de los Estados Unidos, la EPA determina que tecnología se debe de utilizar en la limpieza del sitio. Normalmente recomienda, si es posible, el uso de tecnología de desarrollo reciente. Política que tiene el propósito de que al mismo tiempo que se trabaja en la eliminación de riesgos para la salud y en la conservación de la calidad del medio ambiente, se impulse el desarrollo científico y la innovación tecnológica en el área de remediación ambiental. Las tecnologías de restauración se clasifican en dos grandes grupos:

1. Técnicas tradicionales o establecidas y
2. Técnicas innovadoras.

Las primeras son técnicas desarrolladas antes de 1980 y que se han probado que son efectivas y de uso común a escala de campo. Como ejemplo de estas técnicas están la inmovilización por vitrificación y cementación en instalaciones de confinamiento y la incineración de medios contaminados en hornos de cremación de residuos tóxicos. Las segundas son técnicas propuestas más recientemente y que se pueden encontrar en diferentes etapas de desarrollo:

etapa de concepto (idea, investigación, pruebas de laboratorio)

tecnología incipiente (prueba a escala reducida)

tecnología utilizable (estudio piloto, estudio de demostración, uso limitado a gran

escala). Existen varias bases de datos que se van actualizando periódicamente y están accesibles vía Internet. En tales bases se proporciona información técnico-económica y sobre el estado de desarrollo de las diferentes técnicas de tratamiento de tóxicos ambientales, así como de las empresas propietarias de ellas. Por ejemplo; existe la base denominada VISITT, la base Bfss, la Enciclopedia de Técnicas Innovadoras de Restauración, etc., las cuales se pueden acceder desde las páginas electrónicas de la EPA, del Departamento de Energía y del Departamento de Defensa del Gobierno de Estados Unidos. En la actualidad se cuenta con información de más de 100 tecnologías diferentes que se basan principalmente en los siguientes procesos:

3.5 MÉTODOS BIOLÓGICOS

Biorestauración

También se le conoce con el nombre de "medidas biocorrectivas". Consisten en el uso de microorganismos para degradar las sustancias tóxicas, de ser posible, convirtiéndolas en bióxido de carbono, agua y sales minerales inocuas. Los microorganismos normalmente utilizan los compuestos orgánicos tóxicos como fuente de carbono, aunque existen procesos basados en la degradación sintrófica de los tóxicos. En la degradación sintrófica, también denominada cometabolismo, el microorganismo no utiliza el compuesto tóxico ni como fuente de carbono ni como fuente de energía, sino que obtiene ambos a partir de otras sustancias. En el caso del

sintrofismo, la degradación no reporta un beneficio aparente para el microorganismo y es el producto de reacciones catalizadas por enzimas que tienen otros usos en el organismo. Por ejemplo; la degradación de TCE por metanotrofos y por *Nitrosomonas europaea*, es la oxidación de este tóxico por las monooxigenasas que los organismos usan para metabolizar sus substratos naturales, metano y amoniaco respectivamente. La biorestauración se usa para la eliminación de tóxicos en suelo y agua.

La biorestauración in situ consiste, en modificar las condiciones fisicoquímicas en la zona contaminada para que se incremente, tanto el número de microorganismos capaces de degradar los tóxicos presentes, como su tasa metabólica. El propósito es incrementar la velocidad de degradación de los tóxicos. Las ventajas principales de estos procesos son:

- No producen polvos tóxicos durante el proceso de limpieza, porque no se tiene que excavar y desplazar el suelo contaminado
- Se pueden tratar grandes cantidades de tierra a la vez.

La desventaja principal es:

- Que el tratamiento in situ es más lento que los procesos ex situ y pueden durar varios años en el caso de compuestos que se biodegradan muy lentamente.
- No se pueden aplicar en suelos muy estratificados y arcillosos debido a que estas condiciones no favorecen la buena distribución del aire en toda la zona contaminada.

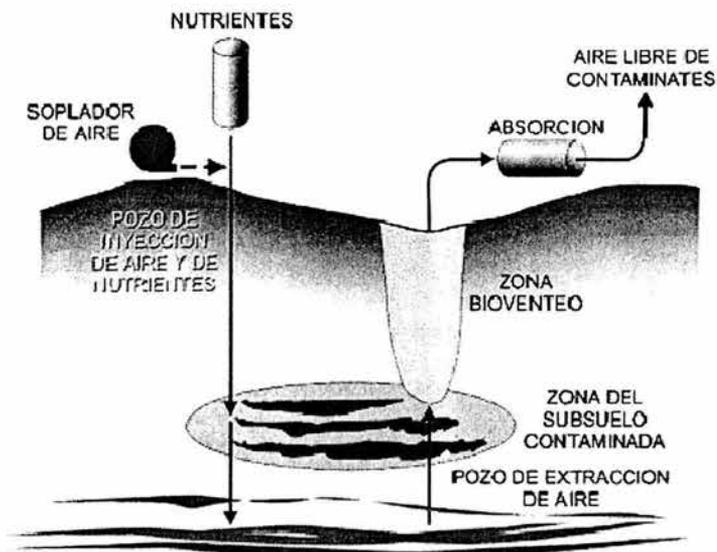


Figura 3.1 PROCESO DE BIOREMEDIACIÓN IN SITU DE AGUA Y SUELO.

Los métodos in situ pueden ser aerobios o anaerobios. En el primer caso las diferencias entre las técnicas estriban en la forma de suministrar el oxígeno necesario para el crecimiento celular. Se perforan pozos de inyección hasta la zona contaminada por donde se introduce aire o soluciones de peróxido de hidrógeno, así como los elementos nutritivos que necesitan los organismos, principalmente fuentes de nitrógeno y fósforo. La cantidad, ubicación y profundidad de los pozos depende de las características del suelo y subsuelo. Normalmente se utiliza agua oxigenada cuando el acuífero ya se encuentra contaminado y es necesario tratarlo. Cuando la zona contaminada es muy somera, se pueden usar aspersores para aplicar el agua oxigenada.

Biorestauración in situ de acuíferos Subterráneos

Los métodos in situ consisten en acelerar el crecimiento de los microorganismos biodegradadores presentes en la zona de humedad saturada y normalmente se trata de eliminar los tóxicos presentes en las dos fases del acuífero. Se perfora un pozo hasta el acuífero, se extrae agua contaminada, se le agregan nutrientes y se satura con oxígeno. La solución se inyecta al acuífero donde los microorganismos degradan los tóxicos. El principal problema que se tiene con esta técnica es que el agua inyectada puede no distribuirse adecuadamente en toda la zona contaminada. Otra forma de biodegradar compuestos orgánicos volátiles presentes en los acuíferos subterráneos, consiste en inyectar aire por abajo del nivel freático y acarrear los tóxicos volátiles, los cuales son degradados por los microorganismos del suelo a medida que la corriente de aire que transporta los tóxicos pasa a través del lecho de suelo. A este proceso se le conoce como "bioventeo".

Biorestauración ex situ de suelo

Las técnicas ex situ se utilizan para tratar contaminaciones que no se pueden eliminar eficientemente in situ, ya sea porque la sustancia no se puede degradar o por las características del suelo contaminado, o bien porque el tratamiento se deba terminar en un lapso relativamente corto. Se extrae el suelo contaminado y se le somete a tratamientos que pueden ser en fase semisólida o en fase sólida. En el primer caso se prepara un lodo fluido agregando agua, nutrientes y cultivos densos de

microorganismos. El tratamiento se hace en bioreactores aireados y agitados en condiciones controladas.

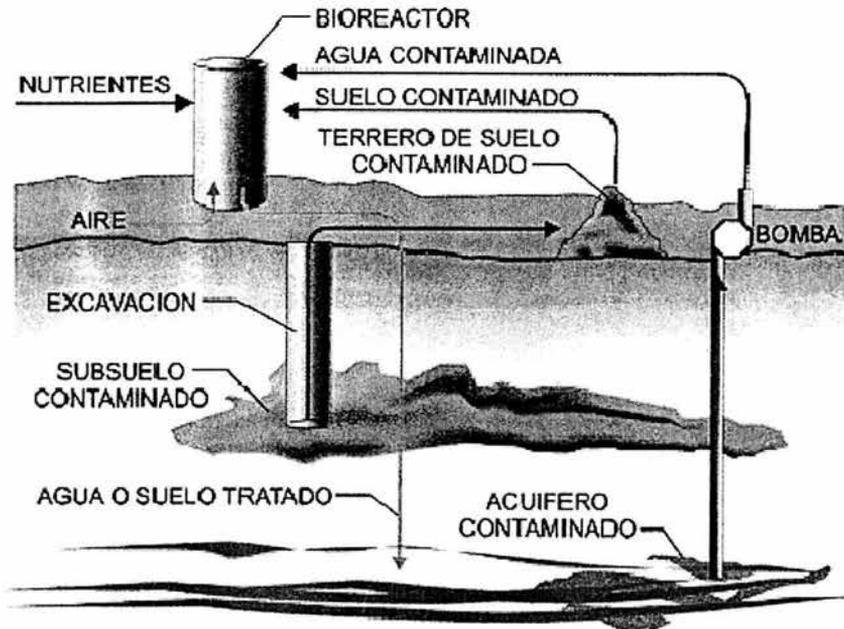


Figura 3.2 BIORESTAURACIÓN EX SITU DE AGUA Y SUELO.

El tratamiento en fase sólida consiste fundamentalmente en apilar el suelo contaminado en lugares acondicionados para este propósito. Lo que se trata de evitar es que los tóxicos puedan emigrar del sitio de tratamiento, ya sea a la atmósfera (vapores o polvos) o al suelo (por filtraciones). Los terreros se humedecen regándolos con agua con nutrientes, se inoculan con cultivos de microorganismos y se ventean agregándoles aire en la base del montículo de suelo contaminado. En algunas técnicas,

para facilitar la aireación se agregan pajas u otros materiales orgánicos que le dé una consistencia menos compacta al terrero en tratamiento.

Fitorestauración

Consiste en utilizar cultivos de plantas para eliminar tóxicos presentes en agua y suelo. Se han utilizado para eliminar iones metálicos, plaguicidas, disolventes, explosivos, derrames de hidrocarburos (tanto crudos como compuestos poliaromáticos) y lixiviados de basureros tóxicos. Las plantas pueden fijar los tóxicos o bien pueden metabolizarlos tal como lo hacen los microorganismos en los procesos de biorestauración.

Fitoextracción

Es la captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas. Hay plantas que absorben selectivamente grandes cantidades de metales acumulando en los tejidos concentraciones mucho más altas que las presentes en el suelo o en el agua. Este proceso se ha utilizado para eliminar hidrocarburos de agua y suelo con cultivos alfalfa, álamos, enebro. En la zona contaminada se plantan las especies que se seleccionan. Cuando las plantas crecen se recolectan y se incineran. Las cenizas se pueden lavar para recuperar los metales o bien, pueden confinarse en vertederos de tóxicos, con la ventaja de que ocuparán un espacio mucho menor que el que se usaría si se desechara el suelo contaminado.

Rizofiltración

Es similar a la fitoextracción, pero en lugar de cultivar las plantas en el suelo, se cultivan en invernaderos por procesos hidropónicos. Las plantas se cultivan en tanques con agua contaminada y los tóxicos quedan fijados en sus raíces. A medida que las raíces se saturan del tóxico se van cortando y eliminando. Este método se probó satisfactoriamente para eliminar iones radioactivos en las lagunas contaminadas en el accidente de la planta nuclear de Chernobyl. Usaron plantas de girasol.

Fitodegradación

Es un proceso por medio del cual las plantas degradan compuestos orgánicos. Los compuestos son absorbidos y metabolizados. Muy frecuentemente los metabolitos que producen tienen actividad de fitohormonas (aceleran el crecimiento de las plantas). Se han encontrado plantas que degradan residuos de explosivos, disolventes clorados como el TCE, herbicidas, etc. Las plantas también favorecen la degradación microbiana en la rizósfera. La flora microbiana del suelo es más abundante en las cercanías de las raíces, por lo que los procesos similares a la biodegradación tienen lugar a una velocidad mayor que en el resto del suelo, sin necesidad de estimular artificialmente la actividad microbiana.

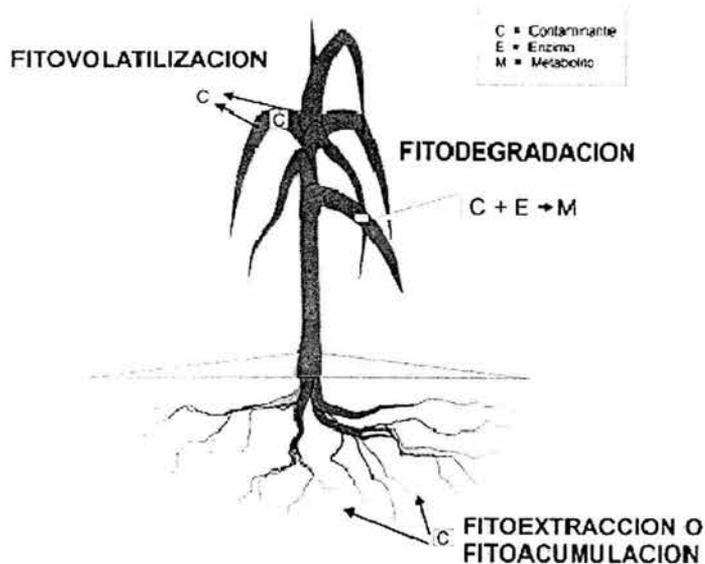


Figura 3.3 FITO-RESTAURACIÓN.

Bombeo biológico

Cuando las raíces de los árboles llegan hasta el manto fríasico absorben una gran cantidad de agua. Hay una variedad de álamo (*Populus deltoides*) que absorbe más de un metro cúbico de agua por día. Esta característica de los árboles se puede utilizar para impedir que las aguas superficiales contaminadas lleguen a los acuíferos que se usan para suministro de agua potable, o bien para que se prevenga que aguas contaminadas lleguen a sitios donde pudieran causar problemas.

Fitovolatilización

Cuando los árboles absorben agua contaminada con compuestos orgánicos volátiles, eliminan la gran mayoría del COV en la evotranspiración de las hojas. Los álamos transpiran aproximadamente el 90% del TCE que absorben. El resultado neto de este proceso es, el que los árboles transfieren a la atmósfera el TCE que se encuentra en el acuífero.

Deshalogenación

Es un proceso por medio del cual, se reduce el número de átomos de halógeno que se encuentra en una molécula orgánica. Los compuestos polihalogenados son tóxicos y, la disminución del número de halógenos en la molécula disminuye su toxicidad. En la industria y en la agricultura se han usado un número considerable de compuestos polihalogenados y no siempre se han manejado adecuadamente. Por ejemplo; a) los bifenilos policlorados se usaron en los transformadores de alta tensión, porque son buenos conductores térmicos y al mismo tiempo, son aislantes eléctricos y no son inflamables, b) DDT se usó como insecticida en la agricultura y en el control de insectos vectores de enfermedades c) TCE, PCE, etc. se han usado como disolventes de grasas en el lavado en seco y en el desengrase de partes mecánicas y eléctricas, d) se usan compuestos clorados en el saneamiento de agua, etc. Para utilizar la deshalogenación química es necesario extraer el suelo contaminado y eliminarle las partículas mayores (piedras, palos, etc.). Esto hace necesario que en el sitio se disponga de una área adecuada para hacer esta tarea.

Polietilenglicol-potasa

En este proceso, la tierra contaminada con bifenilos policlorados se mezcla con el reactivo APEG (Poli Etilén Glicol Alcalino) y se calienta, a 150° C durante 4 horas, en una retorta. El compuesto policlorado reacciona con el APEG substituyendo los átomo de cloro por residuos de poli etilén glicol. Los átomos de cloro aparecen como ion cloruro. Los gases y vapores que se producen en el reactor se pasan a un condensador y los no condensables se pasan a un filtro de carbón activado antes de emitirlos a la atmósfera. El agua condensada se usa en el paso de lavado de la tierra tratada. La mezcla de tierra tratada y APEG se envían a un separador donde se recupera el APEG que no reaccionó y se recicla a la retorta. La tierra tratada se lava usando los condensados de la retorta, las aguas de lavado se tratan y se descartan. La tierra tratada se regresa a su lugar de origen después de comprobar que la concentración de los tóxicos llegó al nivel deseado. No se puede usar para tratar grandes cantidades de desechos, ni desechos con concentraciones de los contaminantes mayores al 5%.

Deshalogenación catalítica

La tierra contaminada se mezcla con bicarbonato de sodio, en una relación de 5/1 y se calienta a 400°C. Los compuestos orgánicos se volatilizan, la tierra que sale del reactor se considera limpia y se envía de nuevo al sitio de donde se extrajo. No se tiene que recuperar ningún reactivo de la tierra tratada. Los vapores que se producen pasan a un reactor, donde tiene lugar la deshalogenación catalítica del tóxico. El catalizador es hidróxido de sodio.

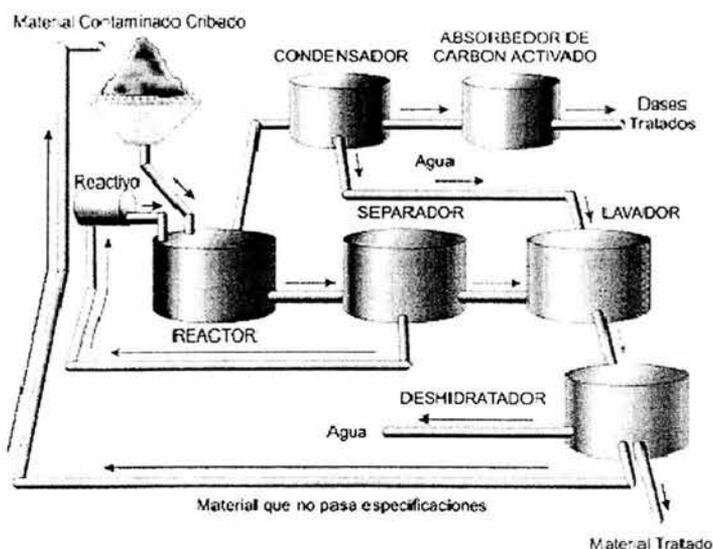


Figura 3.4 DESHALOGENACIÓN. REMEDIACIÓN EX SITU.

El equipo que se usa es transportable, se puede llevar al sitio contaminado, lo que evita la transportación de desechos peligrosos. El equipo es más fácil de armar que los incineradores. La deshalogenación catalítica se puede usar para eliminar bifenilos policlorados, plaguicidas, algunos herbicidas y dioxinas.

Muros de tratamiento

El proceso consiste en hacer pasar la corriente de agua contaminada por una pared reactiva permeable. El tóxico disuelto en el agua, al pasar por el lecho, reacciona con el empaque, transformándose en un compuesto no tóxico o en un compuesto insoluble

que queda atrapado en el lecho. El resultado es que el agua contaminada que llega a la pared reactiva al salir ya no lleva tóxicos disueltos. Para construir los muros reactivos se hace una zanja transversal a la dirección del flujo del acuífero contaminado, la zanja se empaca con el material que va a reaccionar con el tóxico. Generalmente se mezcla el ingrediente activo del empaque con un material poroso, para que presente una resistencia al flujo, menor que el suelo que lo rodea. Se recomienda que se construyan paredes laterales impermeables que dirijan el flujo hacia el muro de tratamiento. El ingrediente activo del muro se selecciona de acuerdo a la sustancia o sustancias que se desee eliminar. Son tres los mecanismos de eliminación: degradación, precipitación y sorción.

Barreras de degradación

Causan reacciones químicas que descomponen el tóxico presente en el agua del acuífero y lo convierten en una sustancia inocua. Por ejemplo; los muros de polvo de hierro producen la deshalogenación reductiva de compuestos policlorados, tales como el TCE, PCE, DCE, TCA. Si se agrega paladio al hierro, se puede incrementar el número de compuestos que se pueden tratar. En este proceso el polvo de hierro se va disolviendo muy lentamente; se estima que las barreras de polvo de hierro durarán en operación varios años, antes de tener que reempacarlas. Los muros se pueden empacar con sustancias nutritivas para microorganismos, de tal manera que la pared actúa como un bioreactor.

Barreras de precipitación

En estas barreras, los iones metálicos presentes en el agua se pueden precipitar y los compuestos insolubles quedan atrapados en la barrera. Por ejemplo; al hacer pasar aguas ácidas contaminadas con plomo por una barrera de piedra caliza, el agua se neutraliza, el plomo se precipita y el resto de la barrera actúa como filtro.

Lo mismo se hace con aguas contaminadas con Cromo VI que es muy tóxico y se reduce a Cromo III que es insoluble.

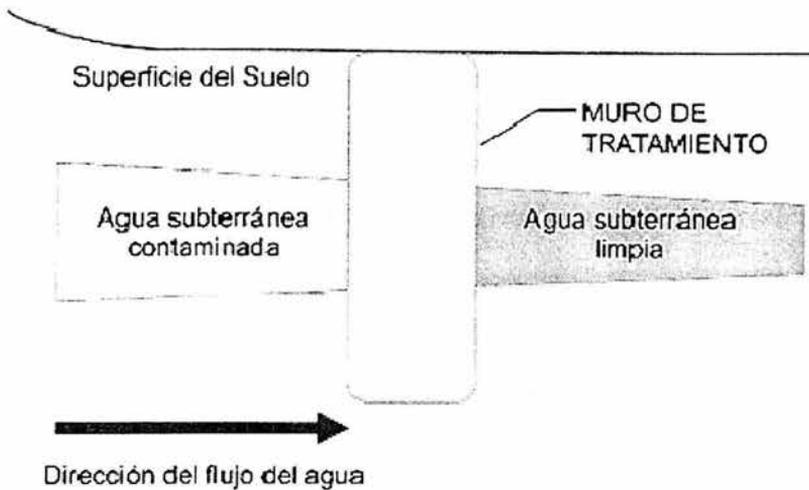


Figura 3.5 MUROS DE TRATAMIENTO.

Extracción

Son procedimientos que se pueden hacer in situ o ex situ, normalmente no degradan el tóxico, sino que lo transfieren del medio contaminado a otro, donde puede ser destruido, utilizando cualquiera de los métodos químicos o biológicos que se describieron anteriormente, o bien pueden incinerarse o confinarse. Normalmente la transferencia de un medio a otro va acompañada de una reducción considerable del volumen de material a tratar o confinar.

Enjuague del suelo in situ

El procedimiento consiste en disolver los tóxicos absorbidos en las partículas de suelo utilizando soluciones de lavado. Para lograr lo anterior se perforan pozos de inyección y extracción, cuya localización y profundidad depende de las condiciones del sitio. Por los pozos de inyección se introduce agua a la que se le puede agregar ácidos (clorhídrico o nítrico), bases (hidróxido de sodio o amoníaco), detergentes, disolventes orgánicos (alcohol etílico) o mezclas de ellos. Por los pozos de extracción se colectan las aguas de lavado, las cuales se tratan para eliminarles los tóxicos extraídos y volverlas a utilizar en la preparación de soluciones de lavado. Las soluciones ácidas y alcalinas se usan para extraer compuestos inorgánicos y orgánicos polares que no se pueden extraer con agua. Los detergentes y los disolventes orgánicos se usan para ayudar en la eliminación de sustancias no polares.

Extracción de vapores

Es el procedimiento de desarrollo reciente que más se ha utilizado en la eliminación de compuestos orgánicos volátiles en sitios "Superfund".

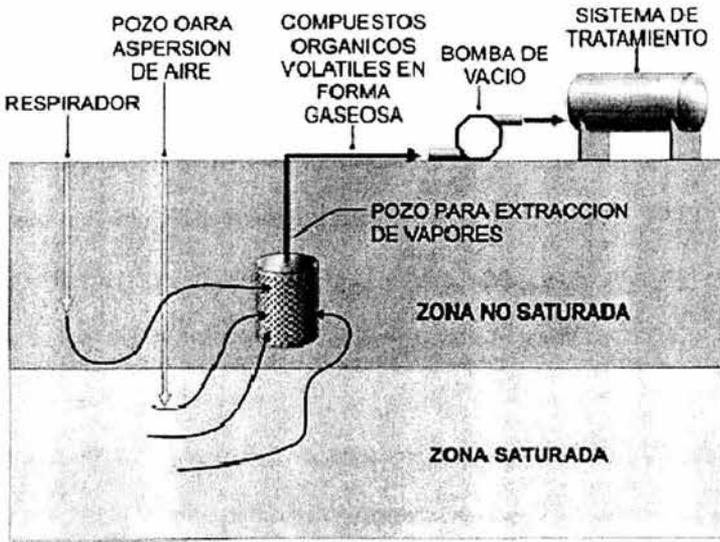


Figura 3.6 PROCESOS DE EXTRACCIÓN IN SITU.

Frecuentemente la extracción de vapores se combina con biodegradación de tal manera que, los tóxicos al ir ascendiendo por el suelo en la zona no saturada de humedad, se encuentran con condiciones que favorecen la degradación aeróbica de los compuestos orgánicos. Esto se logra disminuyendo la velocidad de aireación para que los vapores tengan un tiempo de residencia lo suficientemente largo, como para que alcancen a degradarse antes de llegar a los tubos de salida. En este caso al procedimiento se le denomina biovento. Este procedimiento se utiliza en la eliminación de derrames de combustibles (hidrocarburos) y se está haciendo investigación para

ampliar su uso en procesos cometabólicos como, en la eliminación de compuestos clorados volátiles con cultivos de metanotrofos y amoniaco-oxidantes. Para acelerar la eliminación de los compuestos menos volátiles, se ha tratado el incremento de la temperatura de la zona contaminada, inyectando aire caliente y/o vapor, utilizando microondas o introduciendo electrodos y aplicando una corriente eléctrica. También se ha experimentado con la extracción simultánea de vapores y aguas contaminadas para hacer su tratamiento en la superficie. La extracción de vapores se puede usar para tratar tanto suelos como acuíferos contaminados con compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles. Se tratan mejor los sitios con suelos porosos.

Lavado del suelo

Es un procedimiento ex situ en el que el suelo contaminado se remueve y se le eliminan las partículas mayores (piedras, palos, etc.). El suelo cribado se lava con soluciones acuosas similares a las descritas anteriormente. En la primera fase del lavado se separan las arcillas y limos de las arenas y gravas. Normalmente la fracción gruesa está libre de sustancias extrañas absorbidas y se pueden usar directamente para rellenos. Las arcillas y limos se descontaminan utilizando cualquiera de los métodos descritos que sean apropiados para eliminar el tipo de tóxico presente. Las arcillas tratadas se pueden usar como relleno o confinarse en vertederos de tóxicos. Lo que se logra con esta técnica es reducir el volumen de material que se procesa o confina. Esta técnica se aplica principalmente en suelos arenosos donde la cantidad de arcilla y limo es baja y se vuelve significativa la reducción de material procesado.

Extracción con disolventes

Es también un proceso de lavado de suelo ex situ en el que se usan disolventes orgánicos en lugar de soluciones acuosas. Los pasos de preparación del material a tratar, es el mismo que se usa en todos los procesos ex situ, y que consiste en excavar para extraer el suelo contaminado y, el cribado para eliminar las partículas mayores. El suelo cribado se trata en reactores en los que se agrega el disolvente orgánico y si el proceso es continuo entonces se agrega suficiente agua para que el material contaminado se pueda bombear. Después de dejar en contacto el lodo y el disolvente, durante el tiempo que sea necesario se procede a la separación de las distintas fases. Los tóxicos se distribuyen entre las distintas fases. Los compuestos orgánicos, como los bifenilos policlorados se encontrarán en la fase orgánica, los iones inorgánicos en la fase acuosa o en la fase sólida. La fase orgánica se puede tratar con otros disolventes, hasta que se tengan fracciones que se puedan tratar fácilmente, o se puedan volver a utilizar en los procesos de fabricación de donde provienen o en otros usos.

Desorción térmica

Es un procedimiento ex situ que consiste en calentar en un horno rotatorio la tierra contaminada extraída por excavación y cribada . El tóxico se evapora y se recolecta, ya sea para reutilizarse o para destruirse. La temperatura de operación, el tiempo de residencia y la forma de aplicar el calor (calentamiento directo con gases de combustión o calentamiento indirecto a través de las paredes) depende de las características del tóxico. Normalmente no se usa este proceso de limpieza con suelos muy húmedos, ya

que el agua se evapora en el horno, incrementando los costos y complicando la recolección de los tóxicos volatilizados. Se ha utilizado en la limpieza de suelos contaminados con COV, COSV (compuestos orgánicos semivolátiles), bifenilos policlorados, hidrocarburos poliaromáticos y plaguicidas. Se ha usado para limpiar suelos de refinerías, coquerías, fábricas de pinturas y sitios de tratamiento de madera.

CAPITULO 4

**CASO DE ESTUDIO DE UNA POSIBLE
CONTAMINACIÓN CON BPC`S**

4.1 ANTECEDENTES

Como vimos en el capítulo uno los PCBS son compuestos altamente resistentes a la biodegradación por lo que pueden acumularse en los ecosistemas, las empresas que en el pasado manejaron este tipo de sustancias, actualmente deben demostrar que sus instalaciones se encuentran libres de estas sustancias, para obtener este certificado una empresa del ramo de transformadores busco la ayuda de una empresa con experiencia internacional en estos casos, la empresa es conocida con el nombre de MORGAN SHAFFER.

La corporación Morgan-Shaffer fue creada en 1965 para servicios de análisis químicos, en 1968 Hydro Québec busca su ayuda para desarrollar nuevas técnicas más confiables para el análisis de aceite de transformadores, juntos desarrollan el análisis de gases disueltos para la norma ASTM. A través del tiempo se ha visto la necesidad de incrementar las pruebas a los aceites, por lo que se ha vuelto rutina el análisis de inhibidores y pcbs, siendo este último uno de los servicios que más demanda está teniendo.

en este capítulo describiremos la metodología y resultados de el análisis que se realizó para obtener el certificado de limpieza.

4.2 PLANTEAMIENTO DE LA METODOLOGÍA SEGUIDA.

La investigación se dividió en tres partes cada una dirigida a investigar la limpieza de el suelo, de la tierra y el agua de los pozos de la planta, el suelo se analizó por ser el primer sospechoso de una posible contaminación ya que los derrames de aceite son frecuentes durante el desensamble de los transformadores, pensando en posibles derrames de aceite que pudieran pasar por alguna grieta o filtración a la tierra esta también fue analizada, el criterio para la selección de los lugares a ser investigados fue que en el pasado se trabajara con askareles en ellos, En la figura 4.1 podemos ver un plano de las naves donde fueron empleados askareles,

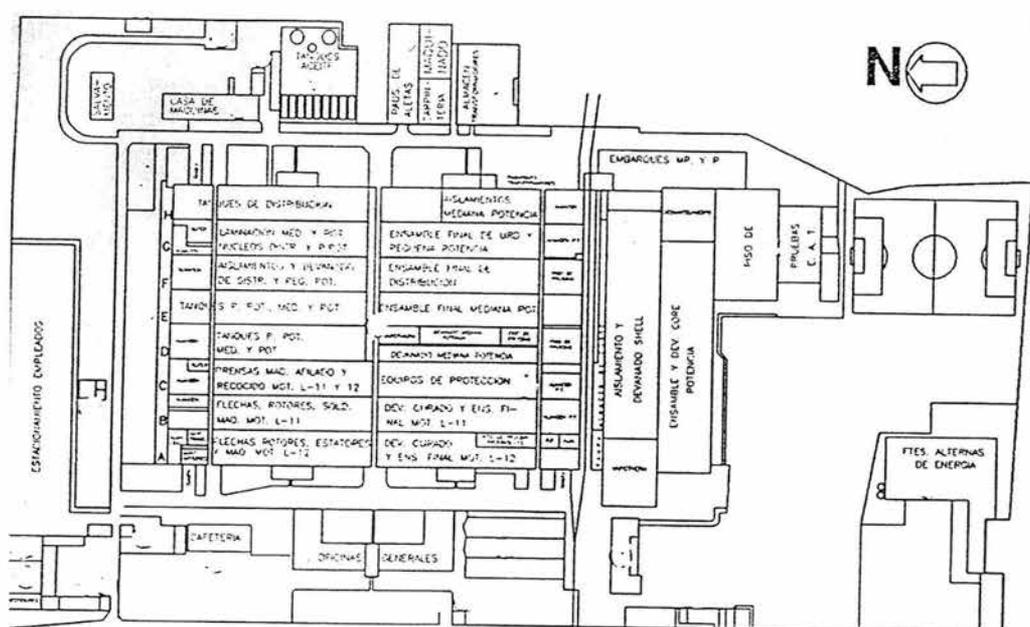


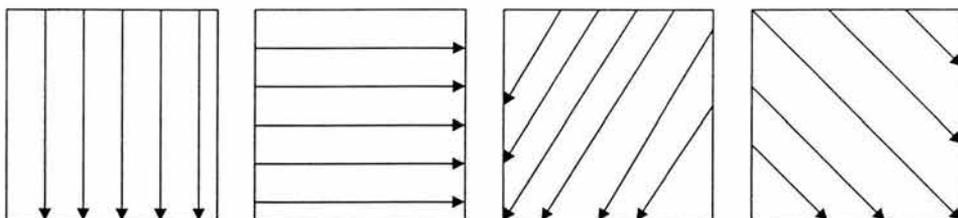
Figura 2.1 PLANO DE LA PLANTA

4.2 PROCEDIMIENTO PARA LAS TOMAS DE MUESTRAS.

El procedimiento para la toma de muestras fue proporcionado por Morgan-Shaffer y fue el siguiente:

MUESTRAS SUPERFICIALES

1.- se procedió a marcar una área de 15 x 15 cm², sobre el suelo y se realiza un barrido en las siguientes direcciones:



1.- HACIA ABAJO

2.- HACIA LA
DERECHA

3.- DIAGONAL
HACIA ABAJO
IZQUIERDA

4.- DIAGONAL
HACIA ABAJO
DERECHA

2.- El barrido se realizo con una escamita de algodón desinfectado e impregnado de hexano, este barrido fue realizado en cada uno de los 10 puntos que se muestrearon, y que se muestran en la figura 4.2.

MUESTRAS BAJO EL CONCRETO

Se procedió a marcar una área de 15 x 15 cm², sobre el suelo y se retiró el concreto armado, se extrajeron cinco centímetros de tierra, antes de obtener la muestra de tierra con paletas de madera esterilizadas, las muestras de tierra fueron guardadas en frascos esterilizados también.

4.3 PROCEDIMIENTO PARA LAS TOMAS DE MUESTRAS.

Las localizaciones aproximadas de los puntos en los que se tomaron las muestras, están representados en la figura 4.2, de la forma siguiente: los números del 1 al 4 y 15, 15Bis, 16, 16BIS, se encuentran en la nave de devanado marcada con la letra D y las cotas de distancias marcadas respecto al pasillo central.

El número 5 se encuentra en el área de fabricación de tanques, a la distancia marcada en la figura, los puntos 6,7,8,14 y 14BIS se encuentran en el área de ensamble final, nave F a las distancias mostradas en el dibujo, los puntos 9 y 10 se encuentran en el área de calderas y almacenamiento del aceite.

Los números 14,15,16 corresponden a muestras de tierra y las muestras marcadas con un BIS son muestras obtenidas de la parte inferior de las planchas de concreto.

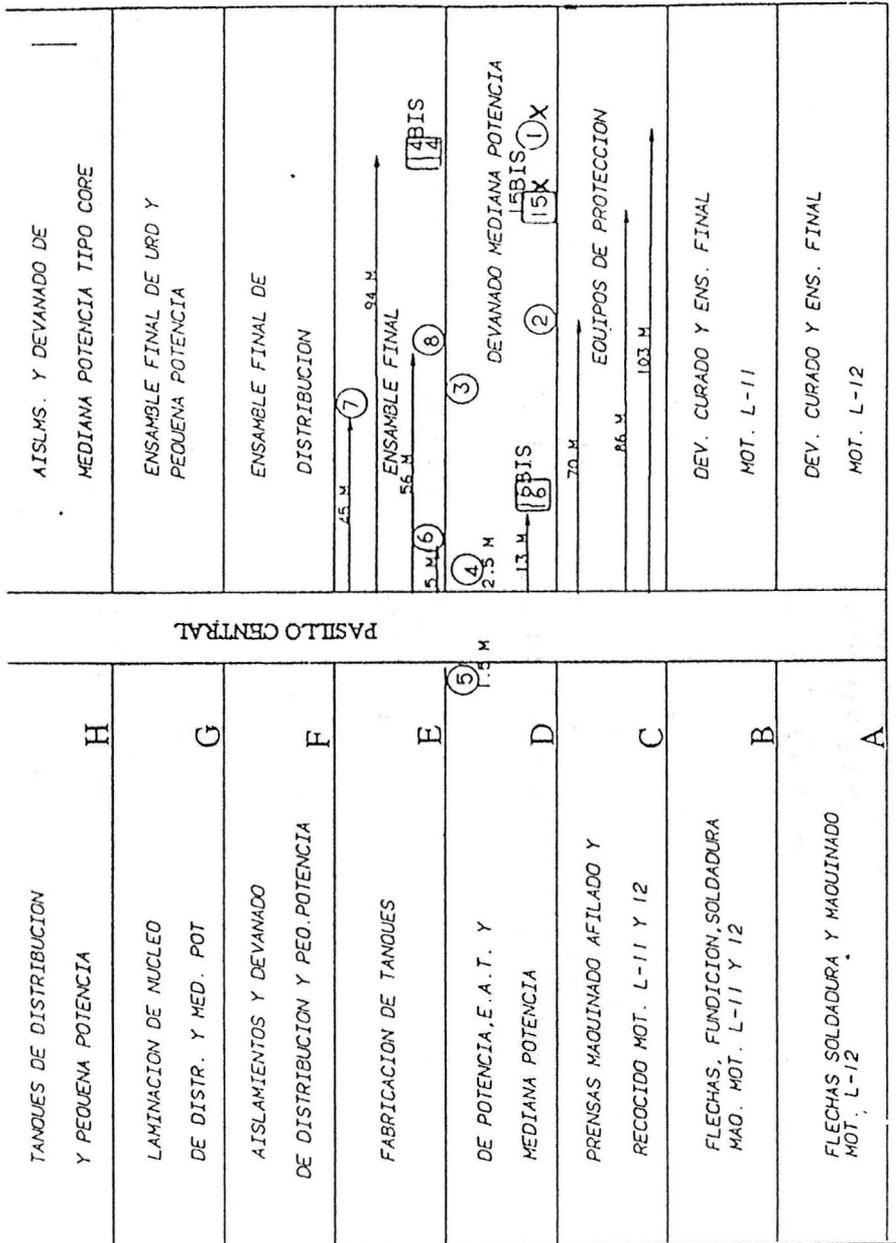


Figura 2.2 PUNTOS DE MUESTREO

4.4 TABLAS DE RESULTADOS .

En la tabla 4.1 se muestran los resultados de los análisis obtenidos, y se hace un comparativo con los valores recomendados por EPA, En la tabla de valores de las muestras superficiales la notación UG corresponde a microgramos

No.	MUESTRA	CIÓN MEDIDA EN UG	VALOR EN UG/100Cm ²	VALOR MAXIOMO POR CUADRODE	RECOMENDACIÓN DE LA EPA
1	NAVE D	20	8.88	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²
2	NAVE D	19	8.44	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²
3	NAVE D	21	9.33	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²
4	NAVE D	20.7	9.20	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²
5	NAVE D	18.9	8.40	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²
6	NAVE E	8.44	8.44	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²
7	NAVE E	10	4.44	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²
8	NAVE E	22	9.7	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²
9	CALDERAS	0.88	0.39	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²
10	TANQUES	20.6	9.15	22.5 UG	<10 UG/100Cm ²

TABLA 4. 1 RESULTADOS DE LAS MUESTRAS SUPERFICIALES

En la tabla 4.2 se muestran los valores obtenidos para la tierra que se mando a analizar, en esta tabla se puede ver que las muestras numero 12 y 15 marcan un resultado de 500 PPM igualando de esta forma los valores máximos recomendados por

CAPITULO 4 CASO DE ESTUDIO DE UNA POSIBLE CONTAMINACIÓN CON PSB'S

EPA, para tener la seguridad de que las zonas donde se registraron 500 PPM realmente estuvieran contaminadas se tomaron dos muestras mas, con la diferencia de que estas fueron tomadas a 11in de profundidad. En esta tabla las concentraciones fueron registradas en partes por millón (PPM)

No.	MUESTRA	CONCENTRACIÓN EN PPM	RECOMENDACIÓN DE LA EPA
11	(14 BIS) NAVE E	7.40	<10 PPM
12	(15 BIS) NAVE E	500.00	<10 PPM
13	(16 BIS) NAVE E	7.00	<10 PPM
14	NAVE E	7.40	<10 PPM
15	NAVE D	500.00	<10 PPM
16	NAVE D	7.00	<10 PPM
X	REPETIDA	18.00	<10 PPM
X	REPETIDA	43.00	<10 PPM

TABLA 4. 2 RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE TIERRA

En la tabla 4.3 se muestran los valores de concentración y los valores recomendados por EPA, del analisis del agua realizados a los dos pozos con los que cuenta la empresa.

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS .

De los resultados mostrados en la tabla 4.1 podemos ver que ninguno rebasó los permitidos por EPA, calculados para cada cuadro el valor máximo para cada cuadro de $15 \times 15 = 225 \text{ Cm}^2$ se calculo de la siguiente manera :

$$\frac{10 \times 225}{100} = 22.5 \text{UG}$$

Estos 22.5 microgramos son los permitidos para cada cuadro. Se emplearon las recomendaciones de EPA porque en nuestro país hasta la fecha no se ha regulado estos muestreos (superficie, tierra, agua).

En la tabla 4.2 podemos ver que las muestras numero 12 y 15 sobrepasan los limites recomendados, pensando de que probablemente se fuera un error o para asegurarse de que estos sean puntos aislados se tomaron dos muestras mas marcadas con una x y los resultados fueron diferentes entrando dentro de los limites, la concentración en este caso se esta registrando en PPM, al ser esta una de las unidades mas comunes cuando se habla de concentraciones es necesario aclarar que las Partes por Millón son una relación que expresa las partes de soluto que se hallan contenidas en un millón de partes de solución. Así, las partes por millón son equivalentes a los gramos de soluto por metro cúbico de solución, a los gramos de soluto por tonelada de solución o a los miligramos de soluto por kilogramo de solución.

Ahora, como esta forma de expresar la concentración de una solución se utiliza particularmente para soluciones diluidas y como un kilogramo de agua equivale a un litro en términos de volumen, generalmente las partes por millón se aproximan a los miligramos por litro. Gramos de soluto mg Soluta

Las partes por millón son la forma como se expresa normalmente la concentración de sustancias como hierro, manganeso, sulfatos, nitratos, grasas y aceites y metales pesados en el agua. Para algunas sustancias aún menos frecuentes en el agua, tales como los hidrocarburos aromáticos, los fenoles los pesticidas, el mercurio, el plomo, etc., las ppm resultan ser una unidad aun muy grande. En estos casos se emplean las partes por billón y de ser necesario, las partes por trillón.

La tabla numero tres demuestra la limpieza de los pozos, este muestreo se realizo a sugerencia de MORGAN SCHSFFER pues durante sus años de experiencia ha visto pozos contaminados por filtración de los mantos freáticos.

El método por el que se analizaron las muestras es el que marca la ASTM D4059, con un umbral de detección de 2 microgramos para las muestras de tierra y de 10 ppm para las muestras de agua, en este Método se uso un cromatógrafo de gases, aunque la explicación del principio de funcionamiento del cromatógrafo desarrollaría otro trabajo como este solo presento algunas graficas a modo de ejemplo de las que pueden ser obtenidas, cabe resaltar que estas graficas no corresponder a ningún dato de los presentados anteriormente.

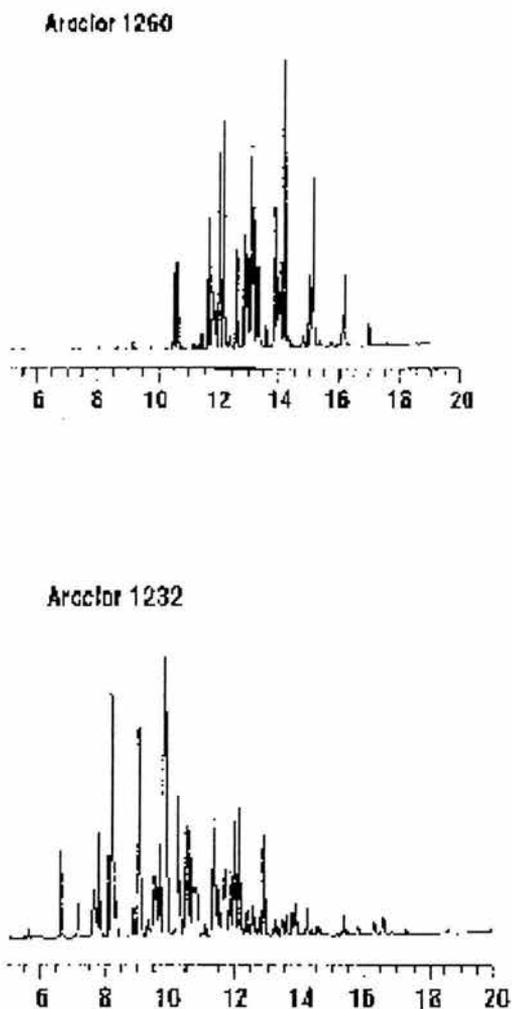


Figura 2.4 ESPECROGRAFIAS

Podemos observar que la búsqueda de estos compuestos en variadas matrices (agua, suelos, aceites, residuos sólidos, etc.) con tratamientos de muestra diferentes, resulta por demás compleja, ya sea tanto analítica como interpretativamente, por lo que se

hace necesario poseer el equipo y el personal profesional debidamente adiestrado para la realización e interpretación de dichos análisis.

Los solutos viajan a través de la columna a diferentes ratas. El soluto que viaja más rápido, deja (eluye) la columna primero, para luego ser seguido por el resto de solutos en su correspondiente orden. Debe existir una migración diferencial para que la separación ocurra.

Luego de salir de la columna, cada soluto entra a un detector calentado. Se obtiene una señal electrónica generada por la interacción de la soluto con el detector. El tamaño de la señal es registrada por un sistema de datos y graficada contra el tiempo transcurrido desde el momento de la inyección para producir un cromatograma.

Un cromatograma ideal tiene los picos (señales) distribuidos en el espacio de tal manera que estén lo más cerca uno de otro sin que ningún pico se solape. Cualquier pico que se solape se dice que co-eluye. El tiempo y el tamaño del pico son importantes ya que son las propiedades que se utilizan para identificar y medir la cantidad del componente en la muestra. El tamaño del pico resultante se corresponde con la cantidad del componente en la muestra. Un pico más grande se obtiene en la medida en que se incrementa la concentración del componente en la muestra. Si la columna y todas las condiciones operacionales se mantienen constantes, un compuesto siempre viaja a través de la columna a la misma rata. Así que un compuesto pueden ser

identificado por el tiempo que este requiere en atravesar la columna (llamado el tiempo de retención).

La identidad de un compuesto no puede ser determinada únicamente por su tiempo de retención. Un cantidad conocida de un estándar puro y auténtico tiene que ser analizado, de tal manera que se obtengan su tiempo de retención y el tamaño de pico. Este valor es comparado con los resultados obtenidos para la muestra desconocida, par determinar si el compuesto está presente (comparando los tiempos de retención) y su cantidad (comparando el tamaño de los picos). Si alguno de los picos se solapa, la medición exacta de esos picos no es posible. Si dos picos tienen el mismo tiempo de retención, la identificación exacta tampoco es posible. Por lo tanto es necesario que ningún pico se solape o co-eluya.

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este trabajo se ha resaltado la importancia de tener un desarrollo tecnológico armonioso con el medio que nos rodea, pues de lo contrario podemos llegar a perjudicar generaciones de vidas humanas y animales, por desgracia esta forma de concientización no es parte de la formación de futuros ingenieros que egresan de la Enep Aragon., en cambio en escuelas privadas si se esta viendo y haciendo algo para solventar esta carencia incorporando en sus planes de carreras materias como: Desarrollo sustentable , Administración de los recursos no renovables, por mencionar algunas. En lo particular pienso que si no nos queremos quedar a tras en la mejor formación de Ingenieros debemos de actualizar los planes de estudios, con lo cual daríamos mejores armas para competir con otras escuelas.

En respaldo a lo anteriormente mencionado podemos confirmar con este trabajo la necesidad de ingenieros familiarizados con la terminología ambiental para no recurrir a empresas extranjeras como fue el caso que se trato en el capitulo cuatro, en el que se pudo ver como los resultados obtenidos muestran que los niveles de pcb's de esta empresa se encuentran por debajo de la norma empleada, la norma que se empleo fue la EPA, esta fue seleccionada ante la nula regulación de sustancias peligrosas que existe en nuestro país.

ANEXO

EPA Es la Agencia de Protección al Medio Ambiente, la agencia federal responsable de regular peligros ambientales.

NTP Es el Programa Nacional de Toxicología que examina los productos químicos y revisa las evidencias de cáncer.

IARC Es la Agencia Internacional para las Investigaciones sobre el Cáncer, un grupo científico que clasifica los productos químicos según su potencial de causar cáncer.

OSHA Es la Administración de Salud y Seguridad Ocupacionales, que adopta y hace cumplir las normas de salud y seguridad.

PEOSHA Es la Ley de Salud y Seguridad Ocupacionales para los Empleados Públicos, una ley estatal que determina los peligros para los empleados públicos de New Jersey.

BIBLIOGRAFÍA

- Summary of environmental criteria for Polychlorinated Biphenyls (pcb's), report EPS 4/HA/1
- Code of federal regulations, parts 700 to 789
- Electrical insulating Oils, Herbert G. Erdman, ASTM
- "Directrices para la identificación de PCB y materiales que contengan PCB". UNEP (1999).
- "PCB Transformers and Capacitors from Management to Reclassification and Disposal". UNEP (2002).
- "Eastern and Western South America- Regional Report". Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances. GEF (2002)
- "Encuesta sobre Tecnologías Actualmente Disponibles para la destrucción de PCB sin incineración". UNEP (2000).
- "Informe de evaluación sobre COPs". IPCS/ IOMC (1995)
- "PCBs Recent Advances in the Environmental Toxicology and Health Effects". Larry W. Robertson and Larry G. Hansen (2000).
- "Hazardous Substance Fact Sheet". New Jersey Department of Health and Senior Services (1996).